

## ABSTRAKSI

Adies Anggrahito, 2007, **Pengaruh Penambahan Endapan Limbah Batuan Terhadap Waktu Ikat Awal dan Waktu Ikut Akhir dalam Pasta Semen**, Skripsi, Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.  
Pembimbing : Ir. Ristinah S.,MT dan Ir. Edhi Wahyuni S., MT

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan endapan limbah batuan terhadap waktu ikat pasta. Waktu ikat yang dibahas dalam penelitian ini adalah waktu ikat awal dan akhir pasta semen yang dicampur dengan endapan limbah batuan dengan variasi tertentu.. Ide untuk melakukan penelitian terhadap waktu ikat awal dan akhir pasta semen dengan penambahan endapan limbah batuan ini didapatkan dari hasil uji pendahuluan mengenai komposisi kimia endapan limbah batuan yang sebagian besar terdiri atas *Ca* dan *Si*. Selain itu penduduk sekitar juga menggunakan endapan ini untuk dicampur pada pengecoran beton. Untuk mengetahui kebenaran dugaan tentang pengaruh penggunaan endapan limbah batuan tersebut, maka peneliti melakukan penelitian mengenai waktu pengikatan awal dan akhir pasta semen. Pasta semen yang digunakan dalam penelitian adalah pasta semen yang diberi endapan limbah batuan. Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu semen portland (PC) type I yang diproduksi PT. Semen Gresik dan bahan campuran tambahan endapan limbah batuan yang diperoleh dari Pabrik pengrajin batu alam desa Junrejo kota Batu Malang. Untuk mengetahui perilaku waktu ikat pasta dengan penambahan endapan limbah batuan maka variasi prosentase endapan limbah batuan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan akan dibandingkan dengan prosentase endapan limbah batuan 0%. Metode penelitian, alat serta bahan yang dipakai dalam melakukan penelitian ini berdasarkan pada standar ASTM, yaitu menggunakan alat vicat untuk melakukan uji waktu ikat awal dan akhir pasta. Yang menjadi variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi penambahan endapan limbah batuan dalam pasta semen. Dan yang menjadi variabel tak bebas adalah waktu ikat awal dan waktu ikat akhir semen Jumlah total benda uji untuk 7 variasi prosentase penambahan endapan limbah batuan adalah 49 benda uji. Berdasarkan analisa data disimpulkan bahwa penambahan endapan limbah batuan berpengaruh kepada waktu ikat awal dan akhir pasta semen dan endapan limbah batuan. Dari persamaan regresi hubungan prosentase endapan limbah batuan dan waktu ikat awal pasta semen dan endapan limbah batuan, dapat ditentukan bahwa prosentase endapan limbah batuan sebesar 10.56% dari berat semen menghasilkan waktu ikat awal optimum 85.149 menit dan prosentase endapan limbah batuan sebesar 12.22 % dari berat semen menghasilkan waktu ikat akhir optimum 182.84 menit.



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Beton hingga saat ini masih merupakan bahan struktur yang paling banyak digunakan untuk pembuatan bangunan fisik seperti rumah, gedung, jembatan dan lain sebagainya. Meskipun tidak tertutup kemungkinan juga bahan-bahan yang lain seperti baja, kaca, alumunium, tembaga juga tengah dikembangkan untuk alternatif sebagai bahan struktur pengganti beton

Semen portland merupakan salah satu bahan untuk pembuatan beton. Selain itu, beton juga dibentuk dari agregat halus, agregat kasar dan air. Dalam proses pembuatan beton, semen portland berfungsi sebagai perekat. Campuran antara semen portland dan air saja akan membentuk pasta yang disebut pasta semen. Dengan diamati secara perlahan-lahan, pasta semen tersebut akan menjadi kaku dan keras. Proses pengerasan dari pasta ke massa yang keras disebut dengan setting time atau waktu ikat. Lamanya waktu ikat yang terjadi pada pasta semen sangatlah tergantung pada jenis dan sifat bahan-bahan yang menyusun pasta tersebut.

Peranan semen dalam pembuatan beton sangatlah penting, suatu perkembangan yang lebih lanjut telah menggunakan berbagai macam bahan baru seperti kerak baja, batu-batuan alam dan bahkan limbah buangan diuji coba untuk mendapatkan beton yang lebih kuat dari segi struktur dan lebih ekonomis dari segi biaya. Karena itu dianggap perlu untuk melakukan pengembangan teknologi dan bahan untuk mendapatkan alternatif bahan baku baru, dalam hal ini alternatif yang dicoba adalah menggunakan endapan limbah batuan dari pabrik pengrajin batu alam di desa Junrejo, kota Batu sebagai campuran semen yang dimaksudkan, air dan pasir karena secara fisik mempunyai karekteristik bahan yang cukup baik. Limbah ini berbentuk serbuk halus berwarna putih yang didapat dari endapan air pembilasan hasil pemotongan dan penghalusan batu-batuan alam yang digunakan sebagai bahan baku utama dan selanjutnya limbah ini dapat disebut sebagai endapan limbah batuan.

Oleh penduduk sekitar endapan limbah batuan ini banyak dimanfaatkan sebagai bahan pencampur agregat beton meskipun mereka sendiri masih kurang yakin dan mengerti karakteristik beton hasil campuran agregat dengan endapan limbah batuan tersebut Penduduk disekitar pabrik sering memaanfaatkan endapan limbah batuan ini

sebagaimana bahan campuran adukan beton untuk mengurangi jumlah semen dalam adukan. Salah satu faktor yang mendasari keyakinan tersebut adalah karena limbah ini jika telah kering akan mengeras seperti semen serta memiliki daya ikat yang relatif kuat antara partikel-partikel butirannya. Hal ini dapat diketahui dan dipelajari dari komposisi mineral batuan tersebut yang tersusun dari kalsit, silikat, dolomit, sedikit kwarsa dan juga mika.

Pada penelitian ini peneliti akan mencoba memakai bahan pengganti sebagian semen berupa endapan limbah batuan untuk dicampur dengan semen menjadi semen pasta pada suatu penambahan prosentase tertentu untuk mengetahui tentang uji konsistensi normal semen dan waktu pengikatan awal dan akhir pasta semen. Endapan limbah batuan ini juga akan diuji kelayakannya dengan serangkaian semen test yang diharapkan akan dapat diketahui analisa kehalusan butiran, berat jenis butiran, penyerapan agregat halus. Mengingat endapan limbah batuan ini yang sudah tidak lagi memiliki nilai dari segi ekonomi dan memiliki persediaan yang sangat melimpah maka besar harapan bahwa limbah ini nantinya dapat benar-benar di manfaatkan sebagai bahan alternatif struktur bangunan dan oleh sebab itulah penelitian ini dilaksanakan.

### **1.2 Rumusan Masalah**

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

- “Apakah ada pengaruh variasi penambahan kadar endapan limbah batuan pada pasta terhadap waktu pengikatan awal dan akhir semen ?”
- “Bagaimana hubungan antara penambahan prosentase kadar endapan limbah batuan dengan waktu pengikatan awal dan akhir semen?”

### **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. Pasta yang dimaksud dalam penelitian ini adalah pasta hasil pencampuran dari air, semen dan bahan tambahan endapan limbah.
3. Pengaruh semen dan air dianggap konstan, sedangkan variasi penambahan endapan limbah dan variasi waktu pengamatan merupakan variabel.

4. Material yang digunakan:
  - Semen Gresik Tipe I dengan pertimbangan mudah didapatkan di pasaran dan biasa digunakan di lapangan. Untuk semen tidak dilakukan penelitian khusus.
  - Air bersih yang berasal dari Perusahaan Air Minum (PDAM), Kodya Malang.
  - Endapan limbah batuan yang digunakan diperoleh dari Pabrik Pengrajin Batu Alam Desa Junrejo Kota Batu Malang Jawa Timur.
  - Penambahan endapan limbah batuan berdasarkan prosentase berat semen dengan variabel penambahan: 0%, 5%,10%, 15%, 20%, 25% dan 30%
  - Pengaruh kelembaban dan suhu udara dianggap sama pada semua perlakuan.
5. Jumlah benda uji untuk tiap variasi campuran masing-masing 7 buah.
6. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat Jarum Vicat.
7. Waktu pengamatan penurunan jarum *vicat* dilakukan dengan pertambahan 15 menit.
8. Tidak ada pembahasan tentang reaksi kimia antara endapan limbah, semen dan air.

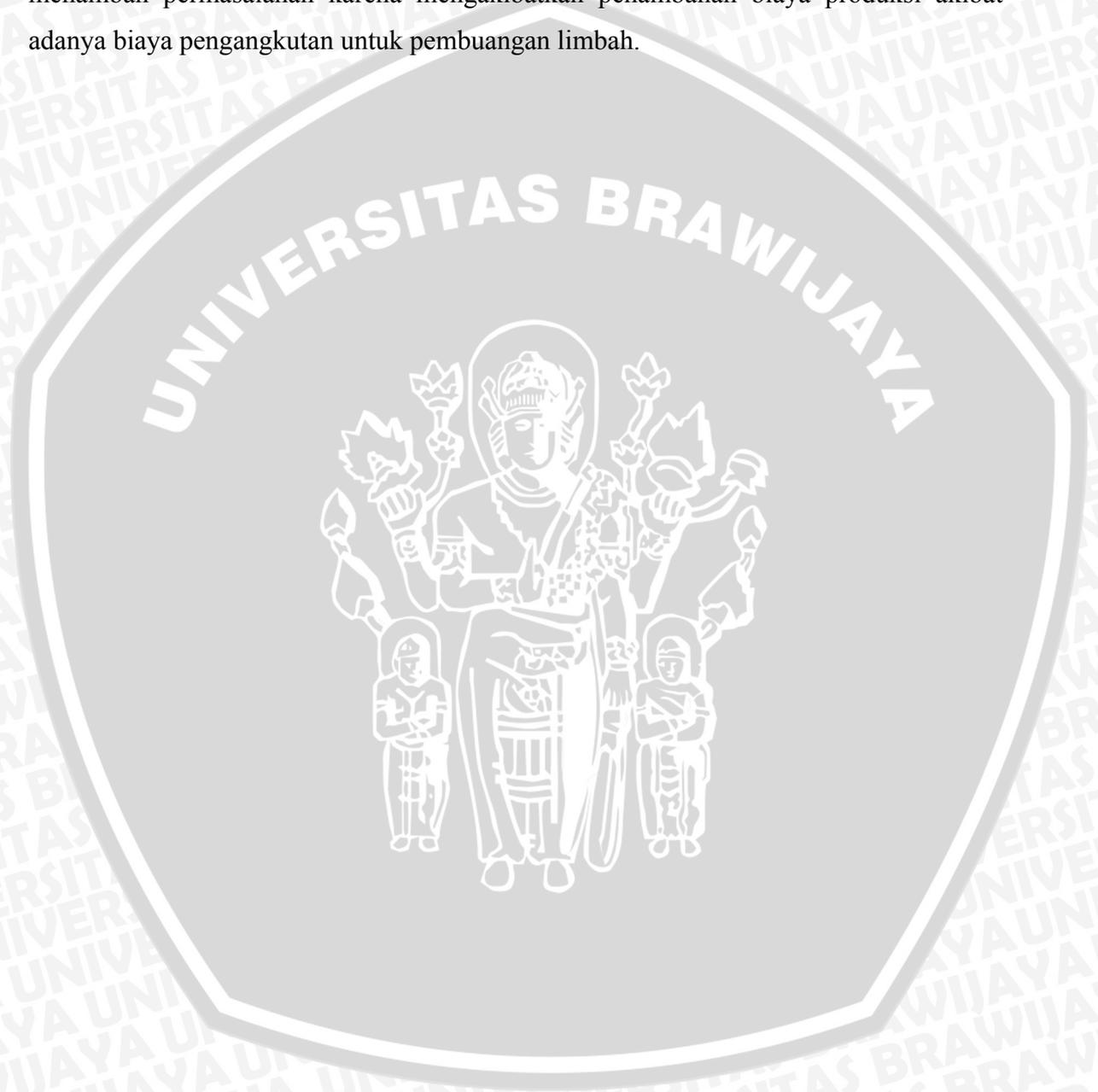
#### 1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui kelayakan endapan limbah batuan sebagai bahan pengganti sebagian semen berdasarkan hasil analisa kehalusan butiran, berat jenis butiran, penyerapan agregat halus dan juga pengaruh variasi penambahan endapan limbah batuan terhadap waktu pengikatan awal dan akhir semen, sehingga didapatkan hubungan antara prosentase penambahan kadar endapan limbah dengan waktu pengikatan awal dan akhir semen.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dilakukan adalah memberikan tambahan pengetahuan kepada peneliti, praktisi dan masyarakat di sekitar desa Junrejo Kota Batu Malang tentang pengaruh penambahan endapan limbah dalam pasta semen terhadap waktu ikat awal dan akhir semen. Selain itu, penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan mengenai komposisi penambahan endapan limbah batuan yang tepat agar menguntungkan bagi penggunaannya.

Sehingga nantinya penggunaan endapan limbah batuan ini aman dan dapat dimanfaatkan sebagai alternative bahan pengganti sebagian semen untuk meningkatkan sifat-sifat beton dan mengurangi biaya dapat tercapai bahan baku alternatif ataupun sebagai campuran beton. Mengingat selama ini endapan limbah batuan tersebut oleh pemilik pabrik sudah dianggap tidak memiliki nilai ekonomi lagi dan hanya malah menambah permasalahan karena mengakibatkan penambahan biaya produksi akibat adanya biaya pengangkutan untuk pembuangan limbah.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Endapan limbah batuan

##### 2.1.1 Definisi

Pada proses pembuatan marmer sebagai bahan lantai atau perabotan rumah tangga, banyak menghasilkan pecahan-pecahan kecil dan serbuk atau endapan limbah batuan pada proses pemotongan dan pemolesan. Pada pemotongan awal batu marmer 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 yang telah kering udara akan berbentuk serbuk halus seperti abu berwarna putih dengan kemerahan dan selanjutnya disebut sebagai endapan limbah batuan. Penggunaan endapan limbah sebagai bahan pengganti sebagian semen pada beton diharapkan akan dapat mengurangi penggunaan semen pada beton sehingga menghasilkan beton yang lebih ekonomis dengan kekuatan yang tidak jauh berbeda. Terdapat 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 sekali dalam menghasilkan limbah batuan tersebut akan tetapi memiliki teknologi yang memadai untuk bisa mengetahui pemanfaatan limbah tersebut lebih lanjut. Salah satu jenis batuan tersebut memiliki karakteristik 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 dikelompokkan pada jenis batuan dari kelompok gabro yaitu batuan aphanitik yang disebut batuan basalt. Komposisi mineralogi dan kimia dari basalt banyak kesamakannya dari gabro terutama dalam komposisi kimia. Analisis kimia dari batuan basalt dari tholeitik dan high alkalin. (Dody Setia Graha, 1987;109).

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<sup>2</sup>. 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<sup>2</sup>. 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<sup>2</sup>. Sehingga limbah batuan (LB) layak digunakan sebagai agregat alternatif pengganti agregat kasar pada campuran beton.

2. Limbah batuan halus.

Batuan halus yang dihasilkan oleh paberik pengerajin batuan alam junrejo hampir sama batuan kasar tapi lebih sama batuan 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 lahan buangan hingga mengendap.

Iswansyah(2007) telah melakukan penelitian tentang endapan dari limbah cair ini. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa variasi umur pengujian dan prosentase penambahan endapan limbah batuan sebagai pengganti sebagian berat semen berpengaruh terhadap nilai kuat tekan mortar. Peningkatan kuat tekan terjadi karena celah-celah antara agregat dan pasta semen dapat terisi dengan baik oleh endapan limbah batuan, terutama pada prosentase optimum yang diperoleh dari penelitian ini.

### 2.1.2 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 beku dalam dan batuan metamorf jika dilihat dari proses terbentuknya, komposisi mineral dan susunan mineralnya. Batuan metamorf sendiri adalah batuan yang terbentuk oleh proses metamorfisme pada batuan yang telah ada lebih dulu.

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

Selanjutnya endapan limbah batuan harus juga memenuhi persyaratan lain supaya dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen. Misalkan persyaratan terhadap pengotoran, kehalusan, berat jenis, tingkat penyerapan (absorpsi), konsistensi normal semen.

Karakteristik yang terdapat pada endapan limbah batuan antara lain :

1. Warna.

Warna putih dari endapan limbah batuan dihasilkan dari hasil sisa pemotongan dan penghalusan batu marmer, warna ini didominasi oleh kalsium oksida (CaO) sebagai mineral utamanya. Warna tersebut dapat bervariasi dari putih cerah sampai putih keabuan dan kemerahan. Warna keabu-abuan merupakan kandungan senyawa besi dalam endapan limbah batuan

2. Sifat kimiawi

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Endapan limbah batuan

Komposisi	Jumlah
Ca	35 %
Si	25 %
Unsur Lain + <i>Loss Of Ignition</i>	40 %

Sumber: Hasil penelitian Laboratorium Kimia MIPA Universitas Brawijaya

### 3. Sifat fisik

Endapan limbah batuan ini di dapat dari limbah hasil proses produksi pabrik batu alam di desa Junrejo kota Batu Malang. Batu-batuan alam yang merupakan bahan baku utama pabrik ini melewati proses pemotongan, penghalusan dan penyeleksian untuk selanjutnya akan diproses menjadi bahan mentah pembuatan tegel keramik dan eksterior rumah. Hasil pembilasan dari sisa penghalusan mesin yang digunakan dalam proses produksi ini selanjutnya akan dibuang sebagai limbah.

Endapan limbah ini setelah kering akan berbentuk serbuk halus berwarna putih hitam keabu-abuan menyerupai kapur yang jika telah kering akan mempunyai tingkat daya ikat relatif kuat. Oleh sebagian penduduk di sekitar pabrik endapan limbah batuan ini digunakan sebagai bahan pencampur pada beton untuk mengurangi pemakaian semen yang harganya semakin tinggi dengan tingkat pencampuran mencapai 30% dari berat total semen.

#### a). Susunan besar butir

Susunan besar butir atau gradasi endapan limbah batuan sangat bervariasi. Gradasi endapan limbah batuan dipengaruhi oleh tingkat kekerasan batuan andesit dan 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.

## 2.2 Semen

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.

Bahan baku pembentuk semen adalah :

- 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 (SO<sub>3</sub>), dibatasi antara 2,5 dan 3 %. Jumlah yang berlebihan, kurang baik.

- Alkali Na<sub>2</sub>O dan K<sub>2</sub>O (komposisi kecil)

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

Tabel 2.2. Komposisi Kimia Semen

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

Tabel 2.3. Pengujian Fisika Semen

Spesifikasi Teknis				
Jenis Pengujian		SNI	ASTM	Hasil Uji PCI
		15-2049-94	C 150-02	
		PC Jenis 1	PC Type 1	
<b>Pengujian Fisika :</b>				
Kehalusan :				
- Dengan Alat Blaine	(m <sup>2</sup> /Kg)	≥ 280	≥ 280	320
Waktu Pengikatan dengan alat Vicat				
- Awal	(menit)	≥ 45	≥ 45	148
- Akhir	(menit)	≤ 375	≤ 375	245
Kekekalan dengan alat autoclave :				
- Pemuaian	(%)	≤ 0,80	≤ 0,80	0,060
- Penyusutan	(%)	-	-	-
Kuat Tekan :				
- 3 hari	(Kg/cm <sup>2</sup> )	≥ 125	≥ 122	230
- 7 hari	(Kg/cm <sup>2</sup> )	≥ 200	≥ 194	320
- 28 hari	(Kg/cm <sup>2</sup> )	-	-	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 persentase C<sub>3</sub>S. Jika perawatan kelembaban terus berlangsung, kekuatan akhirnya akan lebih besar apabila persentase C<sub>2</sub>S semakin besar. C<sub>3</sub>A mempunyai kontribusi terhadap kekuatan beberapa hari setelah pengecoran karena bahan ini yang lebih dahulu mengalami hidrasi. (Edward G. Nawy, 1990 : 9)

Semen untuk bahan beton adalah semen hidroulis yaitu bahan semen yang dapat mengikat setelah dicampur dengan air dan mengeras. Oleh karena itu semen yang digunakan dalam pembuatan beton adalah Semen Portland (PC). Berdasarkan ASTM semen terbagi menjadi beberapa jenis yaitu :

1. Semen type I (Ordinary Portland Cement) : biasa digunakan untuk bangunan beton biasa dan tidak memerlukan persyaratan khusus
2. Semen type II (Modified Portland Cement) : Semen Portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang, digunakan untuk pembetonan masal dan biasa.

3. Semen type III (Rapid Hardening Portland Cement) : Semen Portland yang penggunaannya memerlukan kekuatan yang tinggi pada fase permulaan setelah pengikatan terjadi, digunakan untuk pembetonan di musim dingin.
4. Semen type IV (Low Heat Portland Cement) : Semen Portland yang penggunaannya memerlukan hidratisasi rendah, digunakan dalam bangunan yang terendam.
5. Semen type V (Sulphate Resisting Portland Cement) : Semen Portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat/air laut.

### 2.3 Air

Air diperlukan pada pembuatan mortar agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen, untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Air yang digunakan untuk membuat beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, zat organik, atau bahan-bahan lain yang merusak beton dan baja tulangan.

Prasyarat air untuk campuran beton :

- Air tawar yang dapat diminum
- Air yang tidak mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, zat organik, atau bahan-bahan lain yang merusak beton dan baja tulangan
- Air yang bereaksi netral terhadap kertas lakmus
- Bila terdapat keraguan dianjurkan untuk mengadakan pengetesan bahan air.
- Prasyarat air untuk beton dan hasil pengetesan di laboratorium :
  - ↳ Sulfat –  $\text{SO}_4$  -----  $\leq 1000 \text{ mg/l}$
  - ↳ Chlorida –  $\text{Cl}$  -----  $\leq 500 \text{ mg/l}$
  - ↳ Angka  $\text{KMnO}_4$  -----  $\leq 1500 \text{ mg/l}$
  - ↳ Ph----- 4,50 – 8,20

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. Semakin tinggi mutu beton yang ingin dicapai umumnya menggunakan nilai w.c.r. rendah, sedangkan di pihak lain, untuk menambah daya workability (kelecekan, sifat mudah dikerjakan) diperlukan nilai w.c.r. yang lebih tinggi.

## 2.4 Pasta Semen

Jika semen Portland diberi air, air akan berangsur-angsur mengadakan persenyawaan dengan senyawa-senyawa semen. Bagian dari senyawa semen akan larut membentuk senyawa dengan air, yaitu membentuk gel (agar-agar). Suatu semen yang baru saja bercampur dengan air (pasta semen), merupakan suatu massa plastis yang terdiri dari butiran semen dan air. Setelah pasta semen mulai mengeras, tampaknya bervolume tetap. Hasil pengerasan ini terdiri dari hidrat senyawa-senyawa semen yang ada yang berupa agar-agar, kristal-kristal kapur padat, sedikit senyawa lain, dan butiran semen yang tidak bersenyawa dengan air.

Senyawa  $C_3S$  dan  $C_2S$  bila bercampur dengan air akan membentuk agar-agar sebagai senyawa kalsium silikat hidrat dan membebaskan sebagian kapur. Senyawa  $C_3A$  dan  $C_4AF$  juga bersenyawa dengan air, membentuk senyawa trikalsium aluminat hidrat. Air yang ada didalam agar-agar dapat melanjutkan hidrasi bagi butir semen yang belum bersenyawa bila jumlah air dari luar berkurang. Persenyawaan air dengan semen tidak terjadi dalam waktu yang singkat. Derajat pengerasan ini terutama dipengaruhi oleh susunan senyawa semen, kehalusan dari butiran semen, jumlah air yang dicampurkan, dan jumlah air yang ada disekitar butiran semen.

Jika digunakan suatu jenis pasta semen tertentu, variasi-variasi pasta semen pada adukannya memperlihatkan hal-hal sebagai berikut:

1. Makin banyak jumlah pasta semen, mengakibatkan adukan beton makin encer, harga makin mahal, makin mudah mendapatkan permukaan yang halus atau licin, tetapi makin besar susut pengerasannya.
2. Makin kurang jumlah pasta semen, berakibat adukan makin kaku atau kasar, harganya makin murah, makin sulit pengisian rongga-rongga, makin kasar permukaannya, makin kurang susut pengerasannya.
3. Jumlah pasta semen yang terlalu kurang sehingga tidak semua rongga terisi penuh, menghasilkan adukan kasar yang sukar di tempatkan dan mudah terjadi sarang-sarang kerikil.

## 2.5 Reaksi Hidrasi

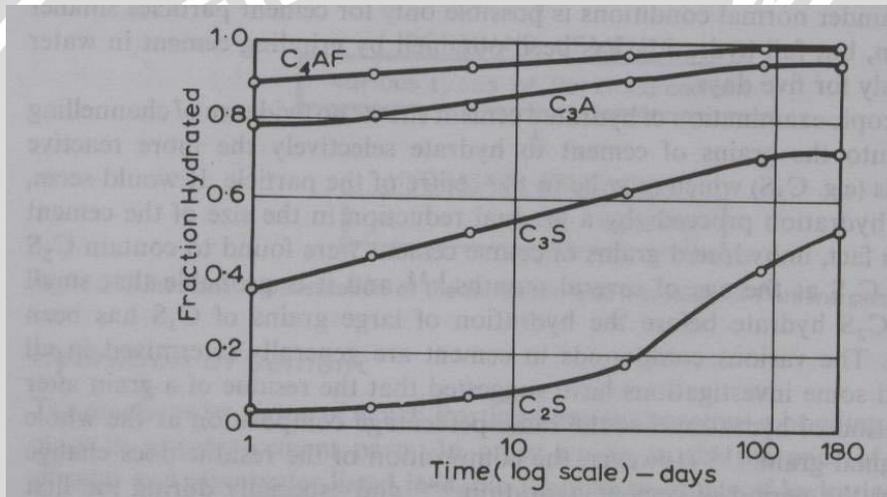
Semen jika terkena air akan bereaksi membentuk suatu bahan yang lengket seperti lem (bonding agent), akhirnya mengeras. Peristiwa ini disebut hidrasi. Sifat

reaksi dari senyawa di atas adalah bersifat exotermis. Sifat ini menandakan panas dilepas ketika terjadi pengikatan dan pengerasan semen.

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 2.2 Perkembangan hidrasi dari senyawa

## 2.6 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:

- $\frac{1}{2}$  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

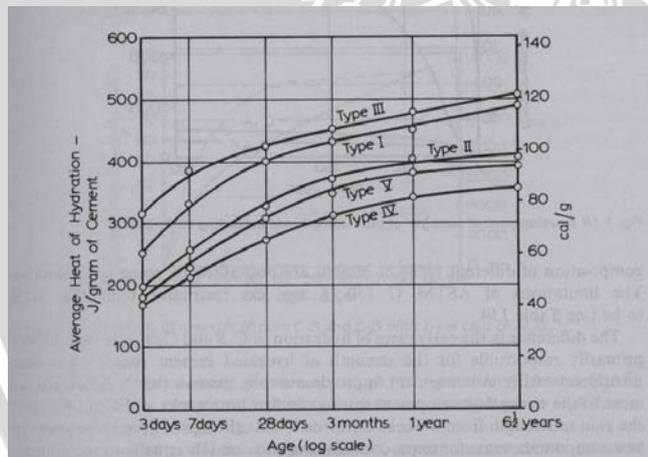
Panas hidrasi tergantung dari komposisi kimiawi semen dan besarnya kira-kira sama dengan jumlah panas hidrasi dari masing-masing senyawa individual bila

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.



Gambar 2.3 Panas yang diakibatkan hidrasi dari bermacam-macam semen

## 2.7 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.

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.

Selama proses pengerasan dari pasta ke massa yang keras seperti batu, semen mengalami dua tipe setting time :

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 responsive 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 di udara 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  $23^{\circ}\text{C}$

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

## 2.8 Hipotesis Penelitian

Dari uraian diatas dapat diambil hipotesis penelitian sebagai berikut :

- a. Variasi penambahan kadar endapan limbah batuan pada pasta berpengaruh terhadap waktu pengikatan awal dan akhir semen.
- b. Ada hubungan antara besar prosentase kadar endapan limbah batuan yang ditambahkan dalam pasta semen dengan waktu ikat awal dan waktu ikat akhir pasta semen.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang. Waktu penelitian dimulai pada bulan Desember 2006 sampai dengan Januari 2006.

#### 3.2 Peralatan dan Bahan

Sebelum melakukan penelitian, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah persiapan alat dan bahan.

##### a. Persiapan alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Alat vicat
- Jarum initial
- *Conical Ring Mold*
- Timbangan ketelitian 0.01 gram
- Alat Pengaduk
- Plat Kaca
- Gelas ukur 100 mL
- *Stop Watch*
- Sarung Tangan Karet
- Pisau Pemotong (*spatula*)

##### b. Bahan yang diperlukan adalah:

- Semen Gresik tipe I
- Bahan pengganti endapan limbah batuan
- Air bersih dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kotamadya Malang.

##### c. Persiapan Bahan

- Endapan Limbah Batuan yang dipergunakan untuk penelitian didapatkan dari Pabrik Pengrajin batu alam desa Junrejo kota Batu Malang Jawa Timur

- Endapan Limbah Batuan dipilih adalah yang memiliki tekstur halus (serbuk), kering, tidak menggumpal dan berwarna seragam.
- Sebelum dipakai pada campuran pasta semen endapan limbah batuan harus terlebih dahulu di jemur panas matahari untuk mendapatkan endapan limbah yang kering, tidak menggumpal seperti batu dan lolos syarat uji kehalusan yaitu maksimal 22% tertahan saringan no.200.

### 3.3 Rancangan Penelitian

Benda uji ini berupa pasta semen yang dimasukkan dalam *conical ring mold* dengan ukuran diameter bagian atas  $60 \pm 3$  mm, diameter bagian bawah  $70 \pm 3$  mm dan tinggi  $40 \pm 1$  mm. Benda uji terdiri dari enam variasi prosentase kadar endapan limbah batuan dan beberapa variasi waktu pengamatan. Variasi prosentase endapan limbah batuan yang ditambahkan dalam pasta semen yaitu sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 0% sebagai kontrol. Sedangkan waktu pengamatan dilakukan setiap penambahan waktu 15 menit sampai waktu ikat akhir semen terjadi. Penelitian ini menggunakan benda uji sebanyak 7 buah untuk setiap perlakuan, sehingga jumlah total benda uji yang akan dibuat adalah 49 buah. Pengujian untuk mendapatkan waktu ikat awal dan akhir semen ini dilakukan dalam satu rangkaian pengujian. Pada pengujian ini, masing-masing benda uji akan diamati penurunannya setiap penambahan waktu 15 menit sampai waktu ikat awal dan akhir semen didapatkan. Kadar air yang digunakan untuk pasta menggunakan kadar air dari hasil pengujian konsistensi normal semen.

Rancangan pembuatan benda uji Waktu Ikat Semen jika ditabelkan adalah sebagai berikut:

No	Penambahan endapan limbah batuan (%)	Jumlah benda uji
1	0	7
2	5	7
3	10	7
4	15	7
5	20	7
6	25	7
7	30	7
Jumlah		49

Tabel 3.1 Tabel rancangan pembuatan benda uji waktu ikat semen

### **3.4 Prosedur Penelitian**

#### **3.4.1 Pengambilan Bahan**

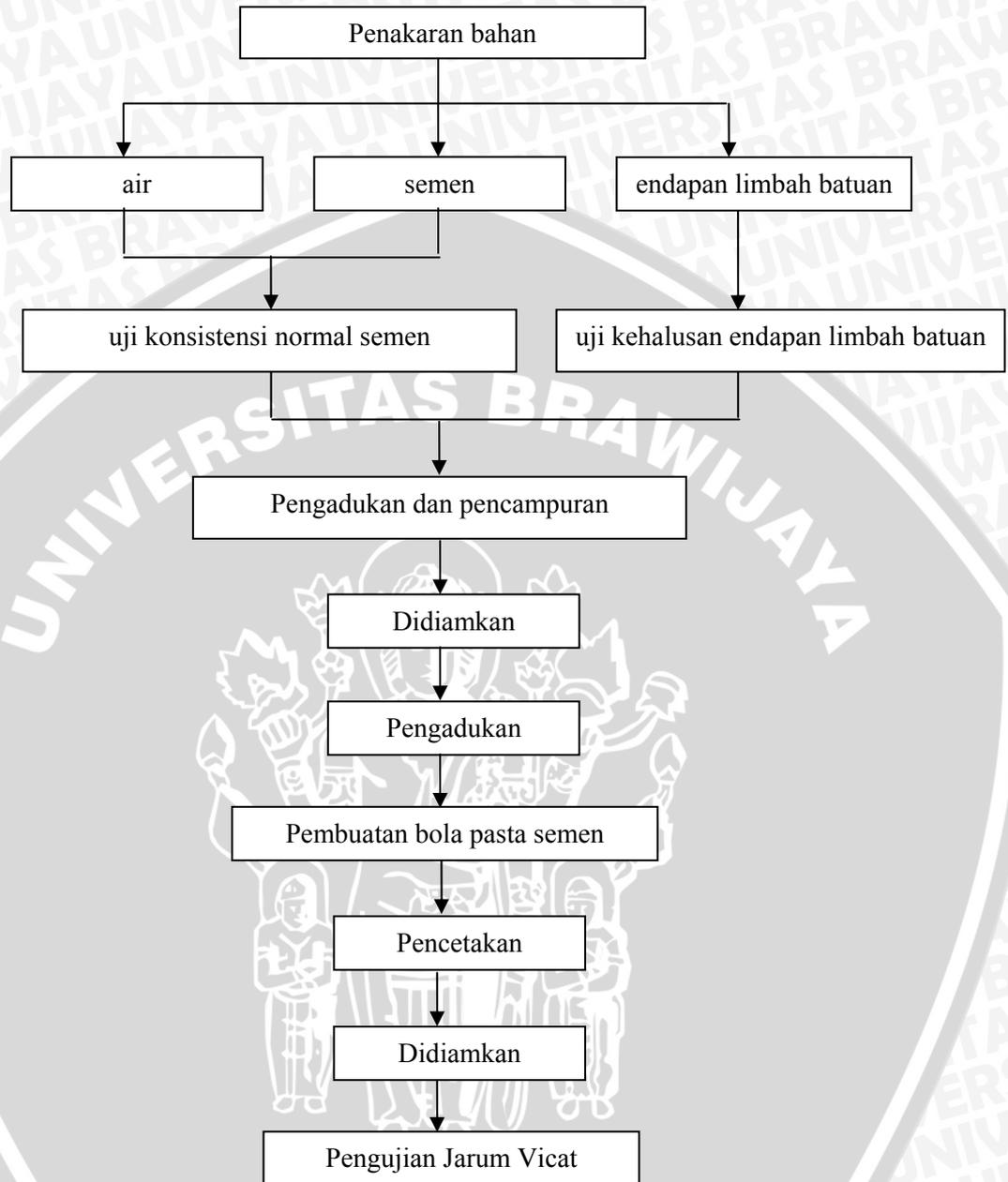
Pengambilan bahan dilakukan dari pabrik pengrajin batu alam di desa Junrejo kota Batu Malang Jawa Timur yang dilakukan secara manual yaitu diambil secara langsung dari lapangan. Berupa endaan limbah batuan berbentuk setengah basah (terlihat kering tetapi dipegang basah). Pengambilan bahan dipilih yang memiliki tekstur halus (serbuk), lalu dikeringkan secara terbuka dibawah sinar matahari dan ditumbuk biar tidak menggumpal serta berwarna seragam, di masukan saringan yang dapat lolos saringan, syarat uji kehalusan dapat lolos saringan no 100 dan tertahan no 200.

#### **3.4.2 Pengujian Bahan**

Pengujian bahan diprioritaskan terhadap agregat halus karena agregat merupakan hasil alam yang tidak dapat diprediksi sifat maupun karakteristiknya. Agregat halus yang digunakan adalah pasir biasa yang berasal dari Malang, Jawa Timur. Pengujian bahan tidak dilakukan terhadap semen dan air karena data sifat dan karakteristiknya telah diperoleh.

#### **3.4.3 Diagram Alir Penelitian**





Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian

### 3.4.3.1 Prosedur Uji Kehalusan Endapan limbah batuan

Untuk melakukan uji kehalusan semen dilakukan beberapa tahapan sebagai berikut:

- Saringan No 100 ditimbang (dicatat sebagai W1)
- Saringan No 200 ditimbang (dicatat sebagai W2)

- Semen diambil sebanyak 6500 gram (dicatat sebagai W3)
- Saringan disusun, saringan No 100 ditempatkan pada posisi paling atas, kemudian dibawahnya ditempatkan saringan No 200, dan pada susunan paling bawah ditempatkan PAN.
- Semen yang telah disiapkan dimasukkan kedalam saringan No 100 kemudian ditutup.
- Susunan saringan tersebut digoncangkan selama kurang lebih 10 menit dengan cara manual atau menggunakan sieve shaker.
- Saringan No 100 dan semen yang tertahan didalamnya ditimbang (dicatat sebagai W4)
- Saringan No 200 dan semen yang tertahan didalamnya ditimbang (dicatat sebagai W5)
- Perhitungan kehalusan semen menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F1 = \frac{W4 - W1}{W3} \times 100\%$$

$$F2 = \frac{W5 - W2}{W3} \times 100\%$$

- Semen memenuhi syarat kehalusan apabila:
  - ✓ Tertahan saringan No 100 → 0%
  - ✓ Tertahan saringan No 100 → 22% (maksimum)

Jika dengan percobaan diatas endapan limbah batuan tidak memenuhi syarat kehalusan semen, maka dilakukan upaya lain dengan prosedur sebagai berikut:

- Saringan disusun, saringan No 100 ditempatkan pada posisi paling atas, kemudian dibawahnya ditempatkan saringan No 200, dan pada susunan paling bawah ditempatkan PAN.
- Endapan limbah batuan yang telah disiapkan dimasukkan kedalam saringan No 100 kemudian ditutup.
- Susunan saringan tersebut digoncangkan selama kurang lebih 10 menit dengan cara manual atau menggunakan sieve shaker.

- Endapan limbah batuan yang tertahan didalam saringan No 100 disisihkan.
- Endapan limbah batuan yang tertahan didalam saringan No 200 ditempatkan pada wadah.
- Endapan limbah batuan yang ada pada PAN juga ditempatkan di wadah yang lain.
- Untuk penggunaan endapan limbah batuan sebagai pengganti semen dalam pasta digunakan endapan limbah batuan yang ada di PAN dengan porsi 80% dan endapan limbah batuan yang tertahan saringan No 200 sebanyak 20%.

#### 3.4.3.2 Prosedur Uji Konsistensi Normal Semen

Untuk melakukan uji konsistensi normal semen digunakan alat-alat yang meliputi:

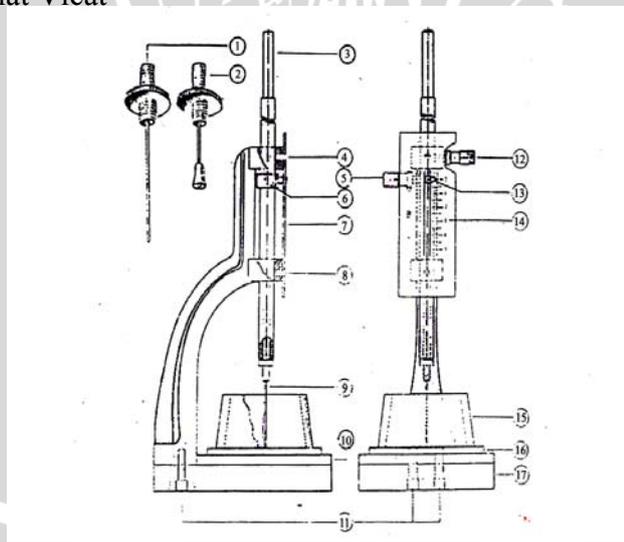
- Perlengkapan alat vicat dan jarum penetrasi yang digunakan adalah *final needle*. *Final needle* mempunyai ukuran diameter 1 mm dan panjang 50 mm. *Final needle* ini merupakan jarum penetrasi yang menekan pasta semen secara langsung. *Final needle* mempunyai bentuk yang berbeda dengan *initial needle*, yaitu pada bagian ujung jarum berbentuk kerucut. Pada saat *final needle* berpenetrasi ke pasta, maka yang pertama kali berpenetrasi adalah bagian alas kerucut tersebut.
- *Conical Ring Mold* untuk digunakan sebagai alat untuk meletakkan pasta semen yang dipenetrasi oleh alat vicat. *Conical Ring Mold* ini berbentuk konus yang berlubang pada kedua ujungnya. Diameter dalam pada bagian bawah mempunyai ukuran 70 mm, diameter dalam pada bagian atas mempunyai ukuran 60 mm, sedangkan ketinggiannya 40 mm.

Dalam pengujian konsistensi normal semen dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

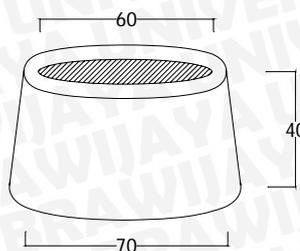
- Semen ditimbang sebanyak 300 gram
- Contoh semen tersebut dimasukkan ke dalam mangkok pengaduk
- Air dimasukkan sebanyak 28% dari berat contoh semen
- Campuran ini diaduk hingga merata selama 62 menit

- Dibuat pasta yang berbentuk seperti bola dengan tangan. Pasta ini kemudian dilemparkan dari tangan kiri ke tangan kanan sebanyak 6 kali dengan jarak 615 cm
- Pasta tersebut dimasukkan ke dalam lubang besar cincin dan ditekan kedalam hingga cincin penuh dengan pasta.
- Kelebihan pasta pada lubang cincin diratakan dengan pisau pemotong (*spatula*).
- Pelat kaca diletakkan pada lubang besar cincin kemudian dibalikkan, kelebihan pasta pada lubang kecil diratakan dengan pisau pemotong (*spatula*).
- Cincin diletakkan di bawah *final needle* dan kemudian *final needle* tersebut diletakkan tepat di atas tengah bagian permukaan pasta.
- *Final needle* dijatuhkan dan penurunannya selama 30 detik dicatat.
- Percobaan diatas diulangi sebanyak 4 kali dengan kadar air yang berbeda-beda.
- Dari hasil percobaan diatas dibuat grafik kadar air terhadap penurunan.
- Konsistensi normal didapat pada penurunan 10 mm dari grafik.

Gambar 3.2 Alat Vicat



Gambar 3.3 Ring Mold

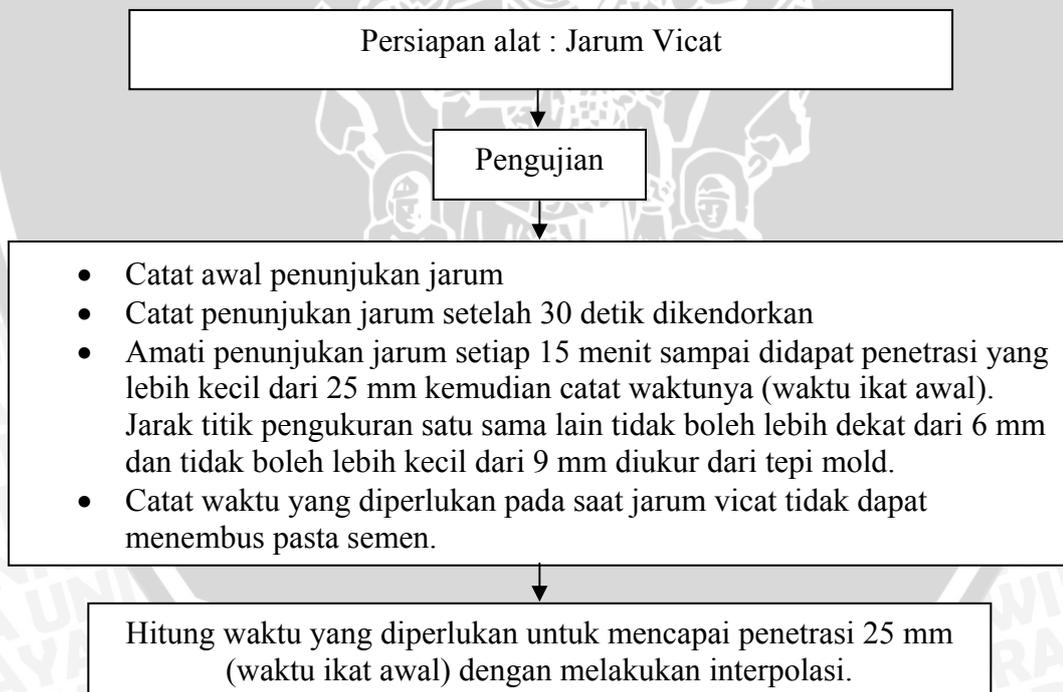


Keterangan:

- |                              |                          |
|------------------------------|--------------------------|
| 1. initial needle            | 10. plat ebonit          |
| 2. final needle              | 11. baut penguat tiang   |
| 3. pluyer                    | 12. baut pengunci pluyer |
| 4. baut plat skala           | 13. jarum penunjuk skala |
| 5. baut pengikat jarum skala | 14. angka skala          |
| 6. baut pengikat jarum skala | 15. conical ring         |
| 7. plat skala                | 16. plat kaca            |
| 8. baut plat skala           | 17. landasan             |
| 9. jarum penetrasi           |                          |

### 3.4.4 Prosedur Pengujian Waktu Ikat Semen

Untuk lebih mudah memahami prosedur pengujian waktu ikat semen digambarkan pada diagram berikut:



Gambar 3.4 Bagan Pengujian Waktu Ikat Semen

Untuk menguji waktu ikat awal dan waktu ikat akhir semen digunakan alat-alat yang meliputi:

- Perlengkapan alat vicat dan jarum penetrasi yang digunakan adalah *initial needle*. *Initial needle* mempunyai ukuran diameter 1 mm dan panjang 50 mm. *Final needle* ini merupakan jarum penetrasi yang menekan pasta semen secara langsung, sehingga penurunan jarum dapat dibaca.
- *Conical Ring Mold* untuk digunakan sebagai alat untuk meletakkan pasta semen yang dipenetrasi oleh alat vicat. *Conical Ring Mold* ini berbentuk konus yang berlubang pada kedua ujungnya. Diameter dalam pada bagian bawah mempunyai ukuran 70 mm, diameter dalam pada bagian atas mempunyai ukuran 60 mm, sedangkan ketinggiannya 40 mm.

Dalam pengujian waktu ikat pasta semen yang dicampur endapan limbah batuan dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- Semen ditimbang sebanyak 300 gram (jika ditambahkan endapan limbah batuan, maka endapan limbah batuan dimasukkan sesuai dengan persentasenya, dan berat semen dikurangi sesuai dengan berat endapan limbah batuan yang ditambahkan)
- Contoh semen (berserta endapan limbah batuan) tersebut dimasukkan ke dalam mangkok pengaduk
- Air suling dimasukkan sebanyak yang sesuai dengan persentase air yang digunakan untuk mencapai konsistensi normal, yaitu 25%.
- Didiamkan selama 30 detik agar air meresap ke dalam semen
- Campuran tadi diaduk selama 30 detik lalu bagian samping mangkok dibersihkan dari pasta semen yang menempel.
- Kemudian diaduk kembali selama satu menit.
- Dengan menggunakan sarung tangan karet, pasta semen dibuat menjadi bentuk bola lalu dilemparkan dari tangan kiri ke tangan kanan sebanyak 6 kali dengan arah horisontal dengan jarak 15 cm.
- Pasta tersebut dimasukkan ke dalam lubang besar cincin dan ditekan ke dalam hingga cincin penuh dengan pasta.
- Permukaan bawah diratakan dengan pisau pemotong (*spatula*) lalu sisi bawah tersebut (diameter besar) diletakkan pada pelat kaca.

- Permukaan atas diratakan dengan pisau pemotong (*spatula*) lalu dihaluskan dan diupayakan supaya tidak sampai terjadi pemadatan pada saat pemotongan.
- Didiamkan selama 30 menit.
- *Initial needle* diletakkan tepat menyentuh permukaan pasta semen dengan cara mengendurkan dan mengencangkan baut jepit.
- Awal penunjukan jarum dicatat.
- Jarum dijatuhkan dan penurunannya selama 30 detik dicatat.
- Penetrasi dilakukan setiap 15 menit sampai mencapai penurunan yang lebih kecil dari 25 mm.  
Jarak titik pengukur satu dengan yang lain tidak boleh lebih kecil dari 9 mm yang diukur dari tepi mold.
- Dari hasil percobaan diatas dibuat grafik penurunan terhadap waktu.
- Dengan melakukan interpolasi dapat ditentukan waktu yang diperlukan untuk mencatat penetrasi 25 mm.
- Nilai tersebut menunjukkan waktu ikat awal.
- Waktu ikat akhir adalah pada saat jarum vicat tidak dapat menembus pasta semen tersebut.

### 3.5 Variabel Penelitian

Variabel Penelitian yang diuji adalah sebagai berikut :

- a. Variabel bebas (*independent variable*) dalam penelitian ini adalah variasi penambahan endapan limbah batuan dalam pasta semen.
- b. Variabel tak bebas (*dependent variable*) dalam penelitian ini adalah waktu ikat awal dan waktu ikat akhir semen.

### 3.6 Analisis Data Penelitian

Untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan endapan limbah batuan dalam pasta semen, dilakukan analisis data yang meliputi:

1. Perhitungan waktu ikat semen
2. Analisis regresi (dilakukan untuk mengetahui hubungan antara prosentase endapan limbah batuan dengan waktu ikat awal dan akhir semen)
3. Analisis varian satu arah ( untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh prosentase endapan limbah batuan)

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Analisa Bahan Yang Akan Digunakan

##### 4.1.1. Semen

Dalam penelitian ini jenis semen yang digunakan adalah semen Portland Type I produksi PT. Semen Gresik. Jenis semen ini sudah umum digunakan sehingga dalam penelitian ini tidak dilakukan analisis secara total terhadap semen yang digunakan, dengan pertimbangan semen tersebut merupakan hasil fabrikasi dan sudah didapatkan data-data mengenai Semen Portland Type I produksi PT. Semen Gresik tersebut.

##### 4.1.2. Air

Air yang digunakan sebagai bahan penelitian untuk membuat benda uji adalah air dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kodya Malang.

Dalam penelitian ini tidak dilakukan penelitian terhadap air yang digunakan.

##### 4.1.3. Endapan Limbah Batuan

Pada penelitian ini penggunaan endapan limbah batuan berfungsi sebagai bahan pengganti sebagian semen. Hal ini merupakan alternatif untuk memanfaatkan limbah dan juga bertujuan untuk mengurangi penggunaan semen portland karena endapan limbah batuan dianggap dapat digunakan sebagai pengganti semen.

Pada endapan limbah batuan telah dilakukan pengujian-pengujian secara detail yang meliputi beberapa data mengenai komposisi endapan limbah batuan di Laboratorium Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang. Pengujian yang dilakukan pada bahan endapan limbah batuan hanya meliputi pengujian terhadap komposisi kandungan kapur ( $\text{CaO}$ ) dan juga silika ( $\text{SiO}_2$ ) dimana kedua mineral tersebut merupakan mineral paling dominan yang terkandung pada semen

Ketentuan pengujian terhadap kehalusan endapan limbah batuan berdasarkan ASTM adalah saringan No 200. Karena prosedur pengujian kehalusan endapan limbah batuan diidentikkan dengan uji kehalusan semen. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa endapan limbah batuan merupakan

bahan yang digunakan sebagai pengganti sebagian semen, jadi seharusnya endapan limbah batuan mempunyai kehalusan yang sama dengan semen.

Dari percobaan yang telah dilakukan oleh peneliti, endapan limbah batuan yang diperlakukan dengan prosedur uji kehalusan semen, didapatkan hasil pada tabel 4.1 sebagai berikut:-

Nomor Contoh		Berat (gram)
Berat saringan No 100	W1	365
Berat saringan No 200	W2	286
Berat Endapan Limbah Batuan	W3	500
Berat endapan tertahan saringan no 100	W4	411.8
Berat endapan tertahan saringan no 200	W5	350.9

- ❖ Prosentase endapan limbah batuan yang tertahan saringan No 100  
→ sebesar 9.72 %
- ❖ Prosentase endapan limbah batuan yang tertahan saringan No 200  
→ sebesar 12.98 %

Uraian diatas menunjukkan hasil yang tidak sesuai dengan persyaratan kehalusan semen. Hal ini disebabkan karena endapan limbah yang diambil ada sebagian yang telah bercampur dengan limbah batuan kasar yang juga dihasilkan dari mesin penghancur batuan. Berdasarkan hal tersebut maka peneliti melakukan upaya lain agar endapan limbah batuan yang akan digunakan sebagai pengganti semen dalam percobaan dapat sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan untuk kehalusan semen. Sehingga dilakukan upaya lain dengan tidak mencampurkan endapan limbah batuan yang tertahan saringan No 100, tetapi hanya mencampurkan endapan limbah batuan yang tertahan saringan No 200 dan endapan limbah batuan yang lolos saringan No 200.

Prosentase endapan limbah batuan yang digunakan sebagai pengganti semen adalah sebesar 5%,10%, 15%, 20%, 25% dan 30%. Sesuai dengan tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh penggunaan variasi endapan limbah batuan terhadap waktu ikat awal dan akhir semen, maka waktu ikat awal dan akhir semen dengan berbagai prosentase penambahan endapan limbah batuan tersebut juga dibandingkan dengan waktu ikat awal dan akhir semen dengan prosentase endapan limbah batuan 0%.

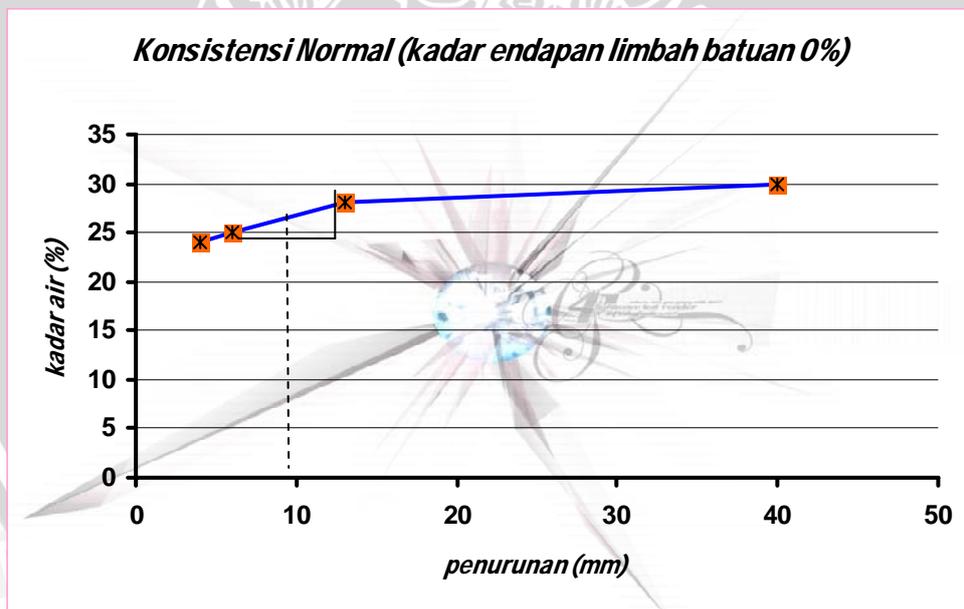
## 4.2. Pengujian Konsistensi Normal Semen

Pada pasta semen dilakukan pengujian konsistensi normal semen. Pengujian konsistensi normal semen menggunakan alat uji vicat. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan prosentase kadar air terhadap pasta semen.

Pengujian untuk mendapatkan konsistensi normal semen yang telah dilakukan di laboratorium menghasilkan data pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Nomor benda uji	Kadar air (%)	Penurunan (mm)
1	24	4
2	25	6
3	28	13
4	30	40

Berdasarkan data-data hasil pengujian diatas maka didapatkan grafik hubungan antara penurunan jarum penetrasi terhadap kadar air pada gambar 4.1 sebagai berikut:



Dari grafik diatas kemudian dilakukan interpolasi untuk mendapatkan kadar air yang diperlukan untuk menurunkan jarum penetrasi sebesar 10 mm. Interpolasi tersebut menghasilkan kadar air sebesar 26.74% atau dibulatkan sebesar 27 % dari berat semen. Jadi konsistensi normal semen didapatkan sebesar 27 %.

#### 4.3. Pengujian Waktu Ikat Awal dan Akhir Semen

Persenyawaan semen Portland dengan air akan menghasilkan pasta semen yang nantinya akan mengeras. Dalam proses pengerasan pasta semen ini mengalami dua tahap waktu ikat yaitu waktu ikat awal dan waktu ikat akhir.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian waktu ikat awal dan akhir pada pasta semen. Pengujian waktu ikat awal dan akhir pasta semen ini dilakukan dengan menggunakan alat vicat. Kadar air yang digunakan untuk membuat pasta adalah kadar air yang didapatkan dari hasil uji konsistensi normal semen yaitu sebesar 27% berat semen.

Pengujian waktu ikat pasta semen yang dicampur endapan limbah batuan yang telah dilakukan di laboratorium menghasilkan data pada tabel 4.3 sebagai berikut:



**TABEL PENURUNAN ALAT VICAT**

waktu (menit)	Penurunan (mm)													
	Prosentase <i>Endapan Limbah Batuan</i>													
	0%							5%						
	BU 1	BU 2	BU 3	BU 4	BU 5	BU 6	BU 7	BU 1	BU 2	BU 3	BU 4	BU 5	BU 6	BU 7
0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
15	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
30	38	39	40	37	36	39	40	38	39	40	37	40	38	39
45	35	39	38	29	34	32	38	37	39	39	35	36	34	37
60	29	37	36	27	31	26	36	30	34	33	30	31	32	35
75	28	35	35	25	28	24	32	28	28	31	27	28	29	31
90	27	33	32	22	25	19	27	26	24	30	24	25	26	27
105	25	30	28	20	21	14	23	24	21	27	20	19	21	24
120	24	25	21	17	18	10	15	21	18	19	14	15	16	21
135	23	22	19	14	11	6	10	20	16	18	10	11	12	17
150	21	16	14	9	7	1	7	19	13	14	6	6	8	13
165	17	10	7	3	2	0	4	14	8	9	3	4	5	7
180	10	8	2	0	0		1	4	1	5	0	1	1	3
195	4	1	0,5				0	1	0	2		0	0	0
210	1	0	0					0		0				
225	0													
240														
255														
270														

waktu (menit)	Penurunan (mm)													
	Prosentase Endapan Limbah Batuan													
	10%							15%						
	BU 1	BU 2	BU 3	BU 4	BU 5	BU 6	BU 7	BU 1	BU 2	BU 3	BU 4	BU 5	BU 6	BU 7
0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
15	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
30	37	38	37	35	39	40	39	40	40	36	35	39	39	40
45	34	35	31	31	36	37	35	39	40	34	31	38	36	37
60	31	31	24	28	32	34	31	33	35	32	30	36	32	34
75	28	29	15	26	26	25	26	28	29	30	26	30	28	26
90	24	26	10	20	23	22	21	20	25	26	24	29	25	24
105	20	22	8	14	20	19	17	16,5	18	21	22	23	21	20
120	18	16	6	8	15	14	13	15	15	17	16	20	17	16
135	12	10	4	6	11	10	9	10	13	14	12	17	13	12
150	8	3	2	3	8	5	5	3	8	9	10	14	10	9
165	5	1	2	1	4	2	1	2	3	4	3	4	5	6
180	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1
195	0				0					0			0	0
210														
225														
240														

waktu (menit)	Penurunan (mm)													
	Prosentase Endapan Limbah Batuan													
	20%							25%						
	BU 1	BU 2	BU 3	BU 4	BU 5	BU 6	BU 7	BU 1	BU 2	BU 3	BU 4	BU 5	BU 6	BU 7
0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
15	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
30	40	36	40	40	40	37	38	40	39	39	40	39	40	39
45	39	34	38	38	38	34	35	39	37	37	39	37	38	36
60	37	32	36	33,5	35	32	32	38	34	32	36	32	36	33
75	30	31	35	31	29	30	28	26	29	26	30	29	31	30
90	28,5	30	32	30	27	29	24	22	23	20	26	26	27	28
105	25	25	29	27	22	26	20	19	20	18	22	24	25	25
120	19	20	26	24	20	21	16	15	17	16	17	20	21	22
135	17	16	21	19	17	11	11	13	14	10	12	16	27	18
150	4	9	16	11	13	7	9	9	10	6	8	11	13	12
165	1	3	12	7	8	4	3	5	6	2	3	8	8	4
180	0	1	3	1	2	0	0	1	1	0	0	3	1	0
195		0	0	0	0			0	0			1	0	
210												0		
225														

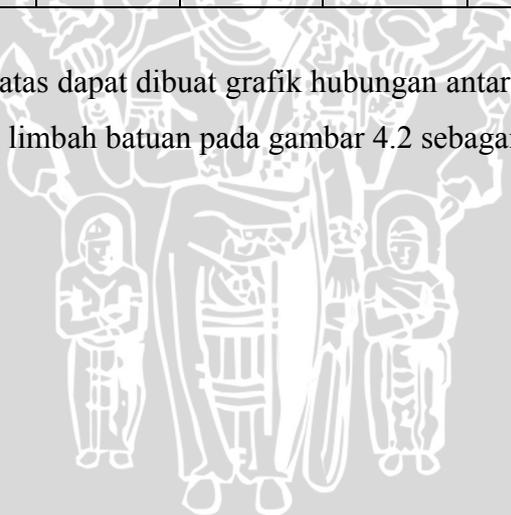
waktu (menit)	Penurunan (mm)						
	Prosentase Endapan Limbah Batuan						
	30%						
	BU 1	BU 2	BU 3	BU 4	BU 5	BU 6	BU 7
0	40	40	40	40	40	40	40
15	40	40	40	40	40	40	40
30	40	40	40	40	40	40	40
45	40	40	40	40	40	40	40
60	40	40	39	40	39	40	40
75	40	39	36	40	35	38	38
90	40	35	30	37	35	34	35
105	40	33	27	33	32	30	31
120	35	32	20	25	30	27	28
135	32	31	17	19	24	24.5	25
150	20	24	14	16	21	19	23
165	17	20	6	13	18	16	20
180	14	17	4	8	16	11	16
195	10	7	4	4	10	3	9
210	4	2	2	0	2	0	2
225	1	0	0		0		0
240	0						

#### 4.3.1. Pengujian Waktu Ikat Awal

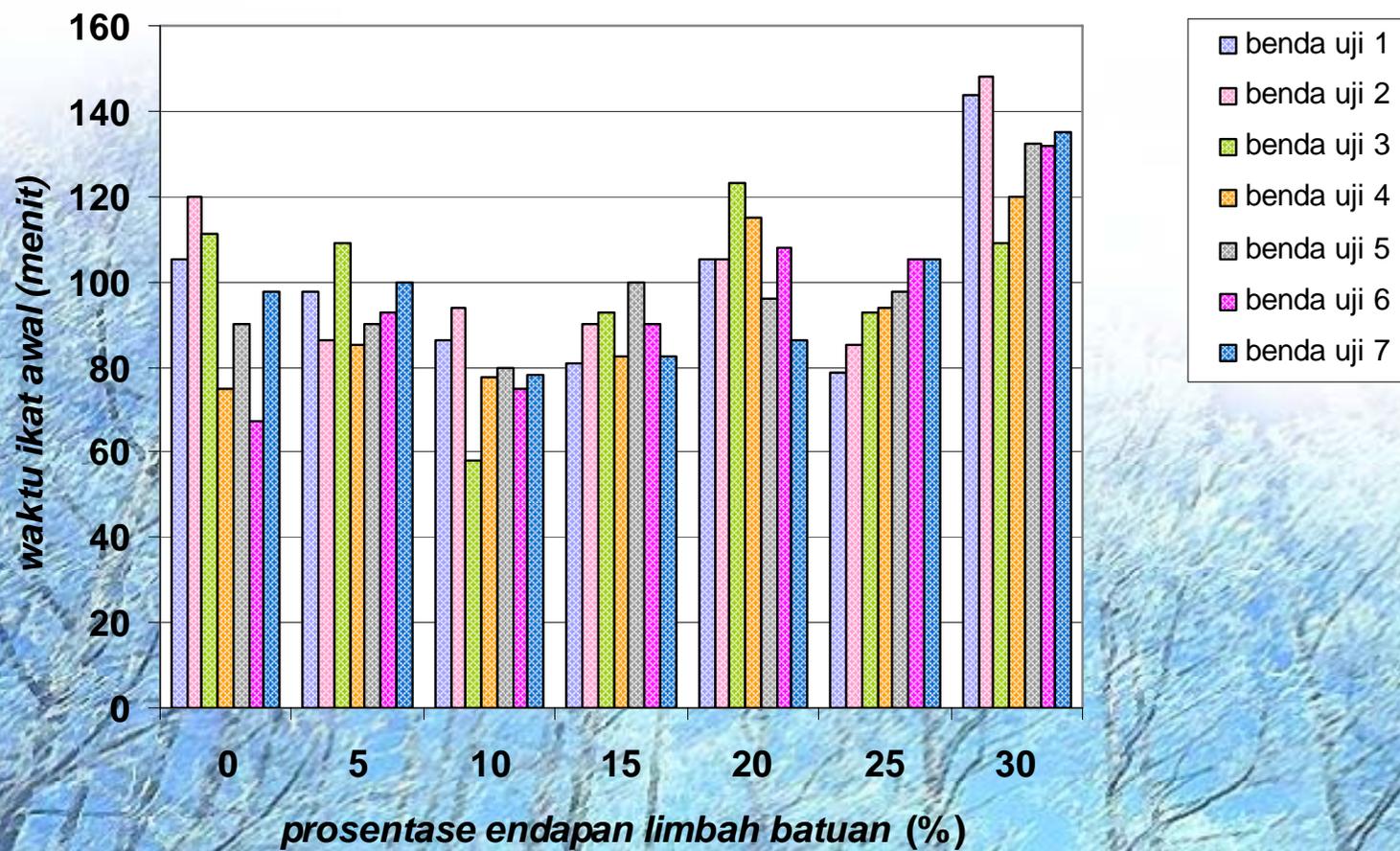
Berdasarkan data-data hasil pengujian diatas maka didapatkan waktu ikat awal pasta pada tabel 4.4 sebagai berikut:

Benda Uji	Waktu Ikat Awal (menit)						
	Endapan Limbah Batuan 0%	Endapan Limbah Batuan 5%	Endapan Limbah Batuan 10%	Endapan Limbah Batuan 15%	Endapan Limbah Batuan 20%	Endapan Limbah Batuan 25%	Endapan Limbah Batuan 30%
	1	105	97.5	86.25	80.625	105	78.75
2	120	86.25	93.75	90	105	85	147.85714
3	111.429	108.75	57.857	93	123	92.5	109.28571
4	75	85	77.5	82.5	115	93.75	120
5	90	90	80	100	96	97.5	132.5
6	67.5	93	75	90	108	105	132
7	97.5	100	78	82.5	86.25	105	135

Dari data diatas dapat dibuat grafik hubungan antara waktu ikat awal dan prosentase endapan limbah batuan pada gambar 4.2 sebagai berikut:



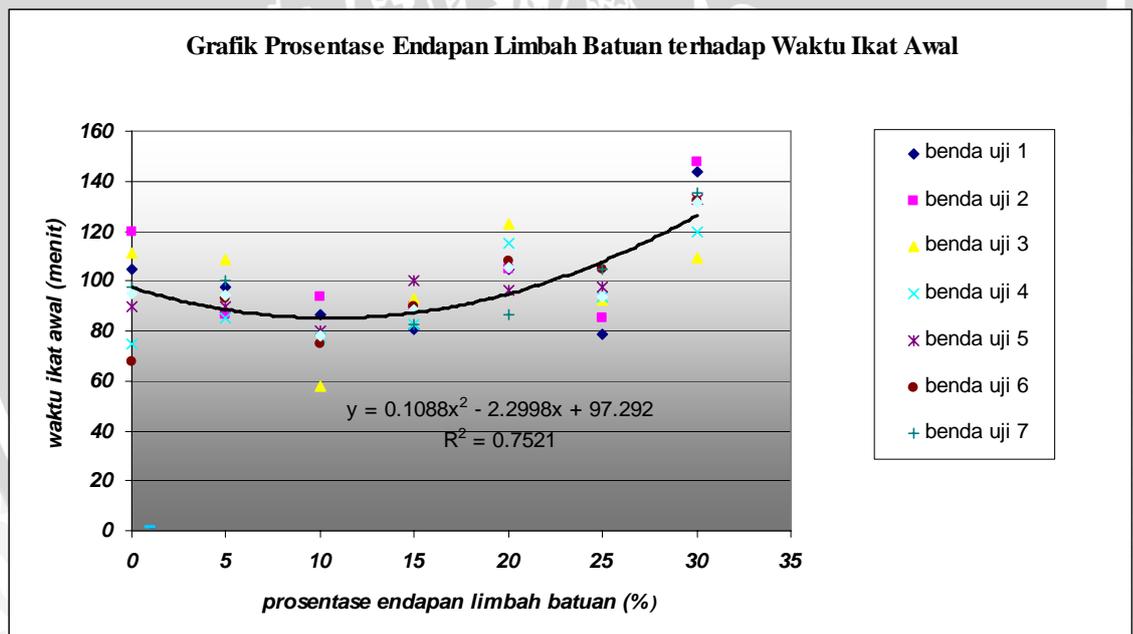
**Grafik Prosentase Endapan Limbah Batuan terhadap Waktu Ikat Awal**



Berdasarkan uraian diatas, besarnya varibel Y (waktu ikat awal pasta) yang diterangkan oleh variabel bebas (X) menurut persamaan regresi yang diperoleh merupakan besarnya keterandalan model. Nilai keterandalan model yang nilainya sama dengan koefisien determinasi dinyatakan dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ). Sedangkan koefisien (R) menyatakan besarnya derajat keeratan hubungan antar variabel.

Besarnya nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) berkisar antara 0 sampai dengan 1, sedangkan nilai koefisien (R) berkisar antara -1 sampai dengan 1. Jika nilai koefisien determinasi semakin mendekati angka 1 maka model yang digunakan semakin tinggi keterandalannya dan jika mendekati angka 0 makin rendah derajat keterandalannya.

Regresi hubungan antara waktu ikat awal dengan variasi prosentase endapan limbah batuan untuk seluruh benda uji adalah seperti pada gambar 4.3 sebagai berikut :

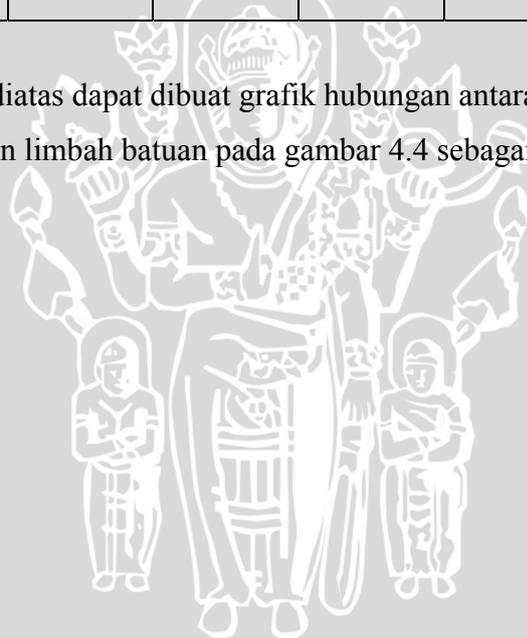


#### 4.3.2. Pengujian Waktu Ikat Akhir

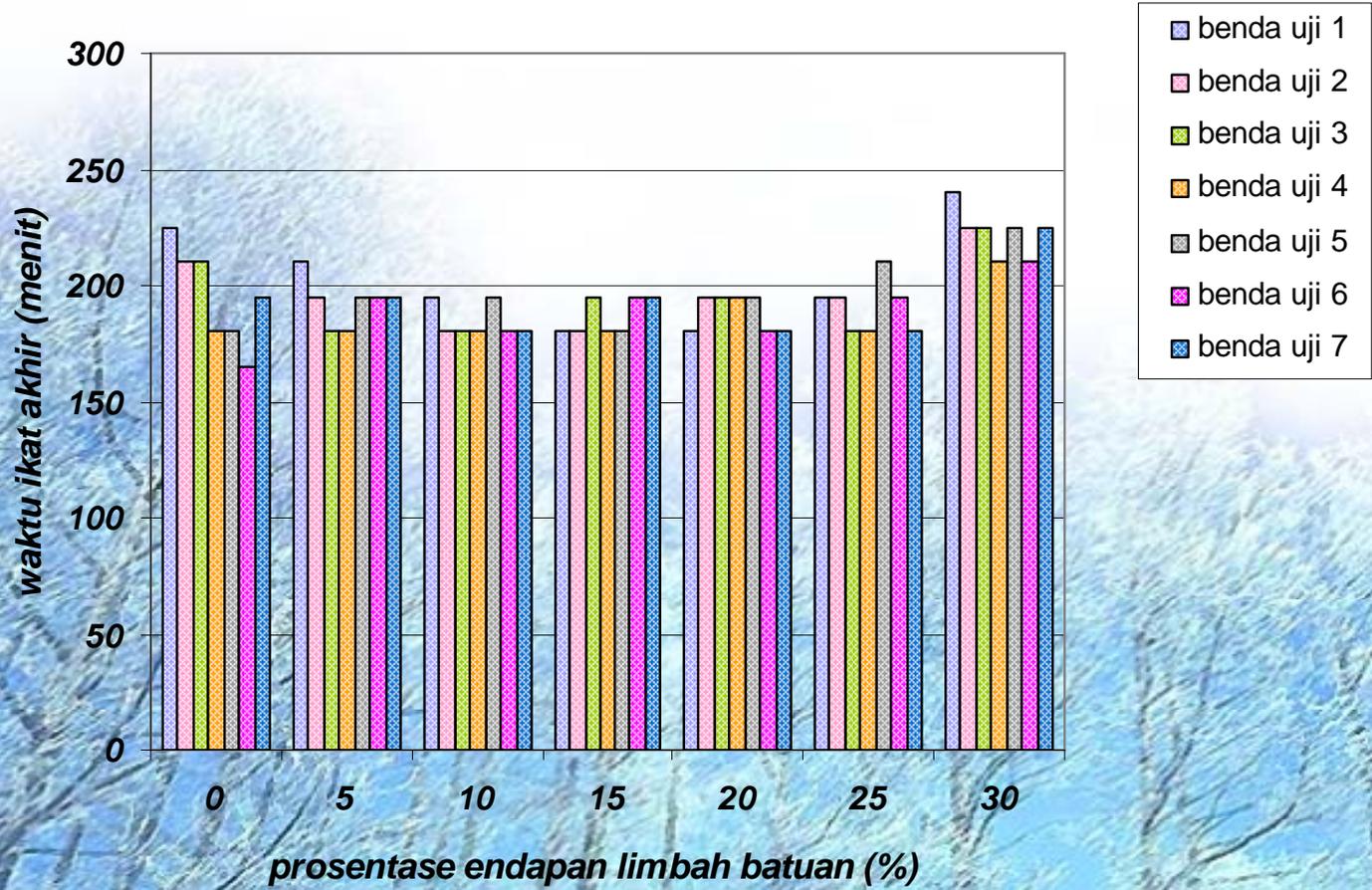
Berdasarkan data-data hasil pengujian diatas maka didapatkan waktu ikat akhir pasta pada tabel 4.5 sebagai berikut:

Benda Uji	Waktu Ikat Akhir (menit)						
	Endapan Limbah Batuan 0%	Endapan Limbah Batuan 5%	Endapan Limbah Batuan 10%	Endapan Limbah Batuan 15%	Endapan Limbah Batuan 20%	Endapan Limbah Batuan 25%	Endapan Limbah Batuan 30%
	1	225	210	195	180	180	195
2	210	195	180	180	195	195	225
3	210	180	180	195	195	180	225
4	180	180	180	180	195	180	210
5	180	195	195	180	195	210	225
6	165	195	180	195	180	195	210
7	195	195	180	195	180	180	225

Dari data diatas dapat dibuat grafik hubungan antara waktu ikat akhir dan prosentase endapan limbah batuan pada gambar 4.4 sebagai berikut:

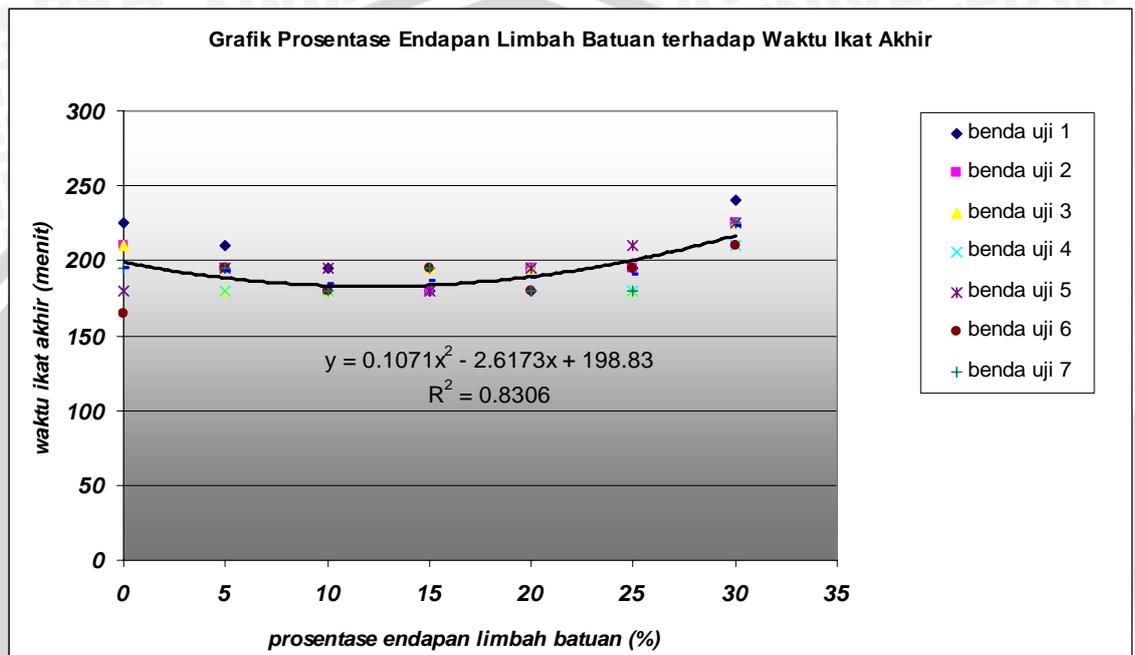


Grafik Prosentase Endapan Limbah Batuan terhadap Waktu Ikat Akhir



Berdasarkan uraian diatas, maka variabel Y menyatakan besarnya waktu ikat akhir pasta yang diterangkan oleh variabel bebas X (waktu ikat akhir) menurut persamaan regresi.

Regresi hubungan antara waktu ikat awal dengan variasi prosentase endapan limbah batuan untuk seluruh benda uji adalah seperti pada gambar 4.5 sebagai berikut :



#### 4.4. Uji Pendukung

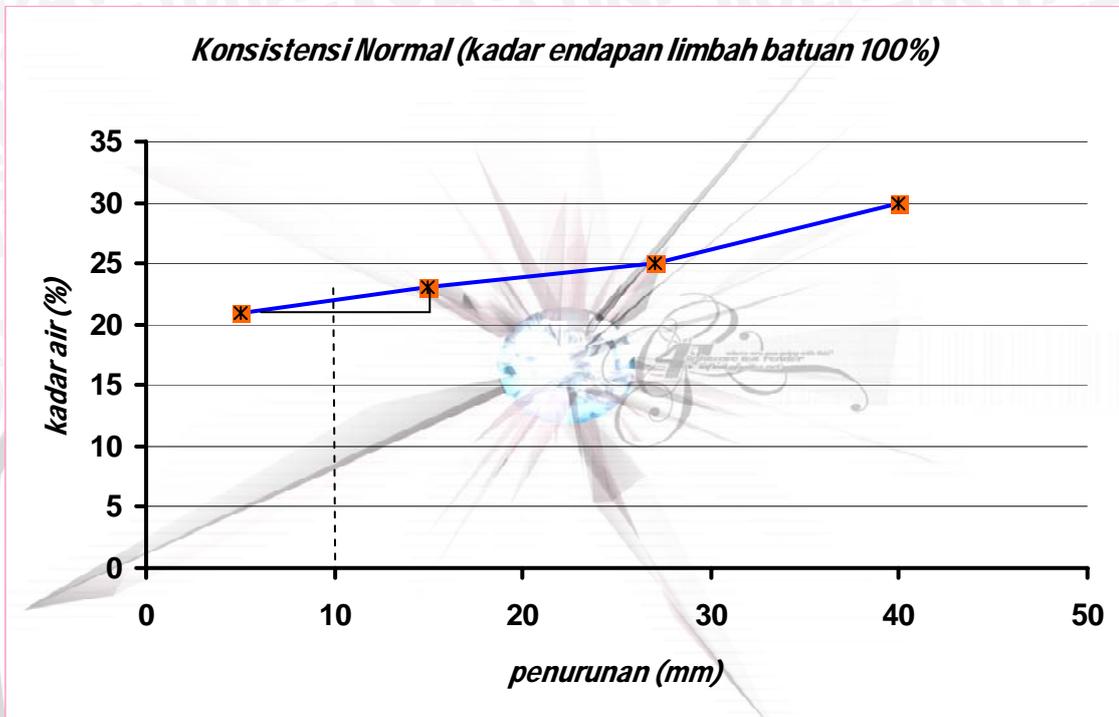
##### 4.4.1 Pengujian Konsistensi Normal Semen

Untuk mendukung data yang telah didapatkan dan mempermudah dalam penarikan kesimpulan maka dilakukan juga pengujian konsistensi normal endapan limbah batuan dan pengujian waktu ikat akhir. Pengujian konsistensi normal semen menggunakan alat uji vicat. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan prosentase kadar air terhadap pasta endapan limbah batuan.

Pengujian untuk mendapatkan konsistensi normal endapan limbah batuan yang telah dilakukan di menghasilkan data pada tabel 4.6 sebagai berikut:

Nomor benda uji	Kadar air (%)	Penurunan (mm)
1	21	5
2	23	15
3	25	27
4	30	40

Berdasarkan data-data hasil pengujian diatas maka didapatkan grafik hubungan antara penurunan jarum penetrasi terhadap kadar air pada gambar 4.6 sebagai berikut:



Dari grafik diatas kemudian dilakukan interpolasi untuk mendapatkan kadar air yang diperlukan untuk menurunkan jarum penetrasi sebesar 10 mm. Interpolasi tersebut menghasilkan kadar air sebesar 23 %. Jadi konsistensi normal endapan limbah batuan didapatkan sebesar 23 %.

#### 4.4.2 Pengujian Waktu Ikat Akhir Endapan limbah Batuan

Pada penelitian ini dilakukan pengujian waktu ikat akhir pada pasta endapan limbah batuan. Pengujian waktu ikat akhir pasta endapan limbah batuan ini dilakukan dengan menggunakan alat vicat. Kadar air yang digunakan untuk membuat pasta adalah kadar air yang didapatkan dari hasil uji konsistensi normal yaitu sebesar 23 % berat endapan limbah batuan.

Hasil yang di dapatkan pada uji pendukung ini adalah pada tabel 4.7 sebagai berikut

No Benda Uji	Waktu Ikat Akhir (jam)
1	18
2	21
3	20

#### 4.5. Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis diperlukan dalam pembuatan keputusan atau penarikan kesimpulan. Hasil dari suatu pengujian hipotesis akan memberikan referensi kepada peneliti untuk memutuskan apakah berdasarkan pengkajian empirik suatu teori yang telah dirumuskan ke dalam model percobaan dapat diterima atau tidak.

Pengujian hipotesis dilakukan untuk mengetahui apakah ada pengaruh dari variabel bebas (variasi penambahan endapan limbah batuan) terhadap variabel tak bebas (waktu ikat awal dan waktu ikat akhir pasta semen endapan limbah batuan).

Berdasarkan hipotesis penelitian pada sub bab 2.9, variasi prosentase endapan limbah batuan dapat mempengaruhi waktu ikat awal dan waktu ikat akhir pasta semen endapan limbah batuan. Untuk mengetahui apakah pernyataan itu benar atau salah, maka perlu dilakukan pengujian hipotesis.

Pengujian dilakukan dengan uji F (benda uji lebih besar dari 30 buah). Pengujian hipotesis dilakukan dengan menggunakan analisis varian satu arah dan untuk mengetahui kesesuaian persamaan regresi maka digunakan nilai determinasi  $R^2$  yang mendekati 1.

Pengujian dilakukan pada:

- Hubungan antara prosentase endapan limbah batuan dengan waktu ikat awal pasta.
- Hubungan antara prosentase endapan limbah batuan dengan waktu ikat akhir pasta.

#### 4.5.1. Pengaruh Variasi Prosentase Endapan limbah batuan terhadap Waktu Ikat Awal

Pernyataan ada atau tidak adanya pengaruh variasi penambahan endapan limbah batuan terhadap waktu ikat awal, secara statistik dinyatakan dengan hipotesis sebagai berikut :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7$$

Dengan :

$H_0$  = Hipotesis awal, yang menyatakan bahwa tidak ada pengaruh positif dari variasi penambahan endapan limbah batuan terhadap waktu ikat awal.

$H_1$  = Hipotesis alternatif, yang menyatakan bahwa ada pengaruh positif dari variasi penambahan endapan limbah batuan terhadap waktu ikat awal.

$\mu_i$  = Pengaruh dari prosentase endapan limbah batuan ke-i terhadap waktu ikat awal

Dengan menggunakan persamaan- persamaan hipotesis data dan model penerapan percobaan faktorial dengan rancangan dasar Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan ulangan sama serta resiko kesalahan 5 % (0.05), maka didapatkan hasil seperti yang tercantum pada tabel 4.8 berikut ini :

Sumber Keseragaman SK	Derajat Bebas DB	Jumlah Kuadrat JK	Kuadrat tengah	F-hitung	F-tabel
perlakuan % endapan limbah batuan	7	11855.903	1975.984	13.558	2.420
Galat	42	6121.315	145.746		
Jumlah	49	17977.217	2121.729		

Uraian perhitungan selengkapnya pada lampiran 1 (L1).

Kesimpulan:

Pengaruh interaksi antara variasi prosentase endapan limbah batuan terhadap waktu ikat awal.

$F_{\text{hitung}} (13.558) > F_{\text{tabel}} (2.42)$  pada taraf 5%. Jadi dengan resiko kegagalan 5%, terdapat pengaruh variasi prosentase endapan limbah batuan terhadap waktu ikat awal.

**4.5.2. Pengaruh Variasi Prosentase Endapan limbah batuan terhadap Waktu Ikat Akhir**

Pernyataan ada atau tidak adanya pengaruh variasi penambahan endapan limbah batuan terhadap waktu ikat awal, secara statistik dinyatakan dengan hipotesis sebagai berikut :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7$$

Dengan :

$H_0$  = Hipotesis awal, yang menyatakan bahwa tidak ada pengaruh positif dari variasi penambahan endapan limbah batuan terhadap waktu ikat akhir.

$H_1$  = Hipotesis alternatif, yang menyatakan bahwa ada pengaruh positif dari variasi penambahan endapan limbah batuan terhadap waktu ikat akhir.

$\mu_i$  = Pengaruh dari prosentase endapan limbah batuan ke-i terhadap waktu ikat akhir.

Dengan menggunakan persamaan- persamaan hipotesis data dan model penerapan percobaan faktorial dengan rancangan dasar Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan ulangan sama serta resiko kesalahan 5 % (0.05), maka didapatkan hasil seperti yang tercantum pada tabel 4.9 berikut ini :

Sumber Keseragaman SK	Derajat Bebas DB	Jumlah Kuadrat JK	Kuadrat tengah	$F_{\text{hitung}}$	$F_{\text{tabel}}$
perlakuan % endapan limbah batuan	7	7181.633	1196.939	8.593	2.420
Galat	42	5850.000	139.286		
Jumlah	49	13031.633	1336.224		

Uraian perhitungan selengkapnya pada lampiran 2 (L2).

Kesimpulan:

Pengaruh interaksi antara variasi prosentase endapan limbah batuan terhadap waktu ikat akhir.

$F_{\text{hitung}} (8.593) > F_{\text{tabel}} (2.42)$  pada taraf 5%. Jadi dengan resiko kegagalan 5%, terdapat pengaruh variasi prosentase endapan limbah batuan terhadap waktu ikat akhir.

#### 4.6. Pembahasan

##### 4.6.1. Pembahasan Pengaruh Variasi Prosentase Endapan limbah batuan terhadap Waktu Ikat Awal

Berdasarkan analisa data manual mengikuti Dr. Ir. Vincent Gaspers disimpulkan bahwa penambahan endapan limbah batuan berpengaruh kepada waktu ikat awal pasta semen dan endapan limbah batuan. Hal ini ditunjukkan dari hasil waktu ikat awal yang berkurang pada proporsi prosentase penambahan endapan limbah yang sedikit atau  $\pm$  lebih kecil dari 20% dan kemudian dari hasil waktu ikat awal akan bertambah pada proporsi prosentase penambahan endapan limbah yang banyak atau  $\pm$  lebih besar dari 20%. Hal ini juga didukung oleh hasil nilai kuat tekan mortar dengan penambahan endapan limbah batuan pada variasi prosentase penambahan yang sama (Iswansyah : 2007).

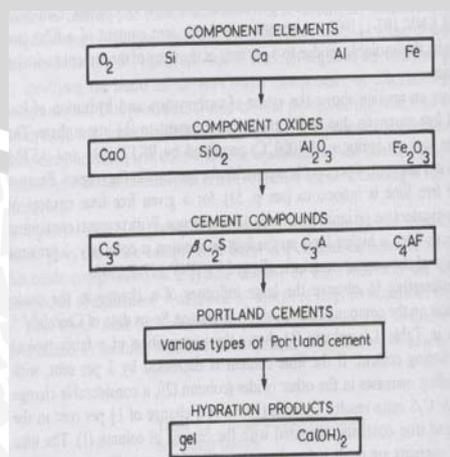
Sebagian besar hasil penelitian cenderung menunjukkan adanya pengaruh penambahan endapan limbah batuan pada nilai waktu ikat awal pada prosentase endapan limbah batuan yang sedikit. Hal ini dikarenakan hanya sedikit dari endapan limbah batuan yang bereaksi dengan air dan sebagian lainnya akan berfungsi sebagai sampah yang mengurangi mutu campuran pasta. Berdasarkan komposisi kimia yang telah diuraikan sebelumnya juga terdapat kecenderungan bahwa endapan limbah batuan ini tidak dapat dicampurkan seluruhnya pada pasta semen. Sebaiknya untuk lebih tepatnya dalam menentukan besar atau nilai prosentase variasi yang optimum dilakukan serangkaian uji reaksi kimia dan katalis untuk menentukan besarnya nilai prosentase variasi optimum yang dapat dipergunakan pada campuran namun dikarenakan keterbatasan dana dan tingkat pendidikan S1 maka hal ini tidak dilakukan.

#### 4.6.2. Pembahasan Pengaruh Variasi Prosentase Endapan Limbah Batuan terhadap Waktu Ikut Akhir

Berdasarkan analisa data manual mengikuti Dr. Ir. Vincent Gaspers disimpulkan bahwa penambahan endapan limbah batuan berpengaruh kepada waktu ikat akhir pasta semen dan endapan limbah batuan. Hal ini ditunjukkan dari hasil waktu ikat akhir yang berkurang pada proporsi prosentase penambahan endapan limbah yang sedikit atau  $\pm$  lebih kecil dari 20% dan kemudian dari hasil waktu ikat akhir akan bertambah pada proporsi prosentase penambahan endapan limbah yang banyak atau  $\pm$  lebih besar dari 20%. Hal ini juga didukung oleh hasil nilai kuat tekan mortar dengan penambahan endapan limbah batuan pada variasi prosentase penambahan yang sama (Iswansyah : 2007).

Sebagian besar hasil penelitian cenderung menunjukkan adanya pengaruh penambahan endapan limbah batuan pada nilai waktu ikat awal pada prosentase endapan limbah batuan yang sedikit. Hal ini dikarenakan hanya sedikit dari endapan limbah batuan yang bereaksi dengan air dan sebagian lainnya akan berfungsi sebagai sampah yang mengurangi mutu campuran pasta. Berdasarkan komposisi kimia yang telah diuraikan sebelumnya juga terdapat kecenderungan bahwa endapan limbah batuan ini tidak dapat dicampurkan seluruhnya pada pasta semen. Sebaiknya untuk lebih tepatnya dalam menentukan besar atau nilai prosentase variasi yang optimum dilakukan serangkaian uji reaksi kimia dan katalis untuk menentukan besarnya nilai prosentase variasi optimum yang dapat dipergunakan pada campuran namun dikarenakan keterbatasan dana dan tingkat pendidikan S1 maka hal ini tidak dilakukan.

Gambar 4.7 Skema reaksi hidrasi semen



Sumber: <http://www.jbptgunadarma-gdl-course-2004-jackwidjaj-412-beton1a>

#### 4.6.3. Hubungan Antara Variasi Prosentase Endapan Limbah Batuan dan Waktu Ikat Awal

Hubungan antara variasi prosentase endapan limbah batuan dan waktu ikat awal diperoleh dengan menggunakan analisis regresi. Model persamaan regresi yang dapat membentuk kurva lengkung adalah model polynomial.

Secara statistik dengan bantuan software Microsoft Excel, persamaan regresi dari hubungan prosentase endapan limbah batuan dan waktu ikat awal pasta semen dan endapan limbah batuan dapat ditulis sebagai berikut:

$$y = 0.1088x^2 - 2.2998x + 97.292$$

dengan:

$x$  = jumlah prosentase endapan limbah batuan (%)

$y$  = waktu ikat awal (menit)

Persamaan tersebut setelah diuji dengan metode regresi didapatkan hasil sebagai berikut:

$$F_{\text{hitung}} (13.558) \quad \text{dan} \quad F_{\text{tabel}} (2.42)$$

$$R^2 = 0.7521 \quad \text{dan} \quad R = 0.8672$$

Kesimpulan:

Persamaan regresi dapat dipakai dengan didukung data sebesar 75.21%.

#### 4.6.4. Hubungan Antara Variasi Prosentase Endapan limbah batuan dan Waktu Ikat Akhir

Hubungan antara variasi prosentase endapan limbah batuan dan waktu ikat akhir diperoleh dengan menggunakan analisis regresi. Model persamaan regresi yang dapat membentuk kurva lengkung adalah model polynomial.

Secara statistik dengan bantuan software Microsoft Excel, persamaan regresi dari hubungan prosentase endapan limbah batuan dan waktu ikat akhir pasta semen dan endapan limbah batuan dapat ditulis sebagai berikut:

$$y = 0.1071x^2 - 2.6173x + 198.83$$

dengan:

$x$  = jumlah prosentase endapan limbah batuan (%)

$y$  = waktu ikat akhir (menit)

Persamaan tersebut setelah diuji dengan metode regresi didapatkan hasil sebagai berikut:

$$F_{\text{hitung}} (8.593) \text{ dan } F_{\text{tabel}} (2.42)$$

$$R^2 = 0.8306 \text{ dan } R = 0.9114$$

Kesimpulan:

Persamaan regresi dapat dipakai dengan didukung data sebesar 83.06 %.

#### 4.6.5. Penentuan Prosentase Endapan limbah batuan dengan Waktu Ikat Awal Optimum

Regresi dari hubungan prosentase endapan limbah batuan dan waktu ikat awal pasta semen dan endapan limbah batuan didapat persamaan sebagai berikut:

$$y = 0.1088x^2 - 2.2998x + 97.292$$

dengan:

$x$  = jumlah prosentase endapan limbah batuan (%)

$y$  = waktu ikat awal (menit)

Dari persamaan tersebut bisa ditentukan bahwa prosentase endapan limbah batuan sebesar 10.56 % dari berat semen menghasilkan waktu ikat awal optimum 85.149 menit.

Uraian perhitungan selengkapnya pada lampiran 3 (L3).

#### 4.6.6. Penentuan Prosentase Endapan limbah batuan dengan Waktu Ikat Akhir Optimum

Regresi dari hubungan prosentase endapan limbah batuan dan waktu ikat akhir pasta semen dan endapan limbah batuan didapat persamaan sebagai berikut:

$$y = 0.1071x^2 - 2.6173x + 198.83$$

dengan:

$x$  = jumlah prosentase endapan limbah batuan (%)

$y$  = waktu ikat akhir (menit)

Dari persamaan tersebut bisa ditentukan bahwa prosentase endapan limbah batuan sebesar 12.22 % dari berat semen menghasilkan waktu ikat akhir optimum 182.84 menit.

Uraian perhitungan selengkapnya pada lampiran 7 (L7).



## BAB V PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Dari semua uraian yang telah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Secara umum endapan limbah batuan yang digunakan sebagai campuran pasta semen dapat lolos saringan no.200.
2. Penggunaan endapan limbah batuan dalam pasta semen berpengaruh secara nyata terhadap waktu ikat awal dan waktu ikat akhir pasta.
3. Penggunaan endapan limbah batuan dalam pasta semen dapat mempercepat dan memperlambat waktu ikat awal dan waktu ikat akhir pasta tergantung pada besarnya prosentase endapan limbah batuan yang digantikan.
4. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan regresi, didapatkan prosentase endapan limbah batuan sebesar 10.56 % dari berat semen menghasilkan waktu ikat awal optimum 85.149 menit.
5. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan regresi, didapatkan prosentase endapan limbah batuan sebesar 12.22 % dari berat semen menghasilkan waktu ikat akhir optimum 182.84 menit.
6. Berdasarkan hasil uji pendukung didapatkan waktu ikat akhir pasta tanpa penggunaan semen (100% endapan limbah batuan) antara 18 hingga 21 jam.
7. Penelitian waktu ikat awal dan waktu ikat akhir pasta tanpa penambahan endapan limbah batuan menghasilkan waktu ikat awal dan waktu ikat akhir yang lebih cepat daripada waktu ikat awal dan waktu ikat akhir semen berdasarkan tabel Semen Gresik.

### 5.2. Saran

Setelah melakukan penelitian dan melihat hasil-hasilnya, maka peneliti memberikan saran sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya agar lebih memperhatikan kondisi bahan semen yang digunakan, karena semen yang masa produksinya sudah

- lama atau penyimpanannya kurang tepat akan mengakibatkan hasil waktu ikat yang kurang akurat.
2. Untuk memperoleh data yang akurat diperlukan lebih baik lagi persiapan bahan, metode pelaksanaan dan pengujian serta pemahaman pelaksana terhadap sifat-sifat bahan yang digunakan.
  3. Diperlukan persiapan alat, bahan, serta metode pelaksanaan yang lebih matang sebelum penelitian dilakukan agar dapat lebih memperlancar jalannya penelitian dan mendapatkan hasil sesuai yang diharapkan.
  4. Endapan Limbah Batuan yang diambil selayaknya memiliki tekstur halus(serbuk), kering, tidak menggumpal dan berwarna seragam agar dapat meminimalisasi kesalahan yang terjadi.
  5. Endapan Limbah Batuan hendaknya diayak lebih lama untuk mendapatkan butiran endapan limbah batuan yang lebih halus yaitu lolos saringan no.200.
  6. Untuk penelitian yang lebih lanjut diharapkan agar pasta semen yang telah dicampur dengan endapan limbah batuan dijauhkan dari kontak dengan sinar matahari langsung karena dapat mengakibatkan kekurang akuratan hasil penelitian yang satu dengan yang lain.
  7. Air yang digunakan untuk mencampur bahan hendaknya di timbang secara akurat untuk hasil yang lebih baik karena berat air yang sedikit berbeda akan sangat besar akibatnya untuk penentuan waktu ikat pada masing-masing variasi prosentase.



## DAFTAR PUSTAKA

- Pratomo, Priyo, 8 November 2001, Penggunaan Limbah Abu (Mamer, Terbang, Sawit) Sebagai Bahan Pengisi Pada Campuran Lataston, Simposium ke-4 FSTPT, Udayana Bali
- Frick, Heinz dan Ch. Koesmartadi, 1999, Ilmu Bahan Bangunan, Penerbit Kanisius, Yogyakarta
- Cahya, Indra, 1984, *Teknologi Beton*
- Gaspersz, Vincent, 1991, *Teknik Analisis Dalam Penelitian Percobaan*, Penerbit Tarsito, Bandung.
- Kusuma, Gideon, R. Sagel dan P. Kole, 1993, *Pedoman Pengerjaan Beton Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03*, Seri 2, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Murdock, L. J, K. M Brook dan Stephanus Hendarko, 1999, *Bahan dan Praktek Beton*, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Neville, A. M, 1981, *Properties of Concrete*, Third Edition, The Language Book Society and Pitman Publishing, London.
- Nurhijah, 1997, *Pengaruh Penambahan Plastisment-VZ dan Sika-ER terhadap Temperatur dan Waktu Pengikatan Awal Beton*, Tugas Akhir, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Samekto, Wuryati dan Candra Rahmadianto, 2001, *Teknologi Beton*, Edisi Pertama, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Tohari, Muhamad, 1997, *Pengaruh Penggunaan Sikamen LN Terhadap Waktu Ikat Awal Semen dan Kuat Tarik Belah Beton*, Tugas Akhir, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Wibowo, Ari dan Edhi Wahyuni, 2003, *Diktat Teknologi Beton*, Penerbit Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- <http://www.jbptgunadarma-gdl-course-2004-jackwidjaj-412-beton1a>
- <http://www.jbptgunadarma-gdl-course-2004-jackwidjaj-412-beton1b>
- <http://www.jbptitbpp-gdl-s2-2000-sofwan-1005-abu>
- <http://www.jbpukpetra-gdl-dwipekan-2005-handoko-1005-resource>
- <http://www.tifac.org.in/abt/abt.htm>