



**PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK MARMER  
DAN ABU SEKAM PADI TERHADAP PASTA SEMEN**

**SKRIPSI**

oleh:

**GALIH AJI SETIAWAN  
NIM. 111910301065**

**PROGRAM STUDI STRATA SATU  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2015**



**PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK MARMER  
DAN ABU SEKAM PADI TERHADAP PASTA SEMEN**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Strata Satu Teknik Sipil  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh:

**GALIH AJI SETIAWAN  
NIM. 111910301065**

**PROGRAM STUDI STRATA SATU  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2015**

## PERSEMBAHAN

Sebuah usaha kecil dari kewajiban dalam agama-Mu (menuntut ilmu), *Alhamdulillah* telah Engkau lapangkan jalanku. Ya Allah, terima kasih atas rahmat serta hidayah-Mu kepadaku dan kepada Nabi Muhammad SAW teladanku dan umatnya yang membawa cahaya di dunia-Mu. Akhirnya, kupersembahkan tugas akhir ini untuk :

1. Kedua Orang Tuaku, Ibunda tercinta Eni Sumiati dan Ayahanda Parnianto, yang telah bekerja keras demi mewujudkan keinginan dan membahagiakan anak-anaknya. Terimakasih atas semua cinta, kasih sayang, doa dan pengorbanan yang tidak pernah putus demi kesuksesan anak-anaknya;
2. Adikku tersayang Firdayana Laksmita Friska, terima kasih telah menjadi motivasi dalam karirku menuntut ilmu, sehingga aku dapat menyelesaikan studi ini hingga selesai;
3. Seluruh keluarga besarku dirumah, terimakasih atas semua nasehat, doa, semangat, dan bimbingannya semenjak aku kecil hingga aku dewasa,
4. Keluarga besar Teknik Sipil 2011 yang telah banyak membantu serta bekerja sama untuk mencapai kesuksesan bersama sama;
5. Guru-guru sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi yang dengan ikhlas memberikan ilmu serta membimbingku dengan penuh kesabaran;
6. Almamater Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

**MOTTO**

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan lain), dan hanya kepada Tuhan-mulah hendaknya kamu berharap.”

(QS. Al Insyiroh 94:6-8)

“Gantungkan cita-cita mu setinggi langit! Bermimpilah setinggi langit! Jika engkau jatuh, engkau akan jatuh di antara bintang-bintang.”

(Ir. Soekarno)

“Ketika anda lahir di dunia semua orang tertawa bahagia, tetapi hanya kamu sendiri yang menangis, dan ketika kamu meninggal semua orang menangis sedih, tetapi hanya kamu sendiri yang tersenyum.”

(Mahatma Gandhi)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Galih Aji Setiawan

NIM : 111910301065

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ”*Pengaruh Penambahan Serbuk Marmer dan Abu Sekam Padi Terhadap Pasta Semen*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Agustus 2015

Yang menyatakan

Galih Aji Setiawan  
NIM 111910301065

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK MARMER  
DAN ABU SEKAM PADI TERHADAP PASTA SEMEN**

Oleh

Galih Aji Setiawan  
NIM 111910301065

Pembimbing

DosenPembimbingUtama : Dwi Nurtanto, ST., MT.

DosenPembimbingAnggota : Ketut Aswatama Wiswamitra, ST., MT.

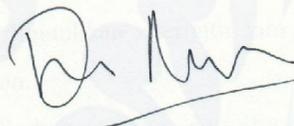
**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengaruh Penambahan Serbuk Marmer dan Abu Sekam Padi Terhadap Pasta Semen” Galih Aji Setiawan, NIM 111910301065. Telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Senin  
Tanggal : 31 Agustus 2015  
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

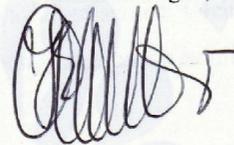
Tim Penguji

Pembimbing I,



Dwi Nurtanto, ST.,MT.  
NIP. 19731015 199802 2 001

Pembimbing II,



Ketut Aswatama W, ST.,MT.  
NIP.19700713 200012 1 001

Penguji I,



Erno Widayanto, ST.,MT.  
NIP. 19700419 199803 1 002

Penguji II,



Ir. Hernu Suyoso S, MT.  
NIP.19551112 198702 1 001

Mengesahkan

Fakultas Teknik  
Universitas Jember

Dekan,



Ir. Widyono Hadi, MT.  
NIP. 19610414 198902 1 001

## RINGKASAN

**Pengaruh penambahan serbuk marmer dan abu sekam padi terhadap pasta semen;** Galih Aji Setiawan, 111910301065; 2015; 40 halaman; Jurusan Teknik Sipil; Fakultas Teknik; Universitas Jember.

Beton saat ini masih menjadi pilihan utama masyarakat Indonesia sebagai bahan struktur dalam konstruksi bangunan, disamping bahan material yang mudah didapat juga kemudahan dalam pengerjaan merupakan salah satu keunggulan dari beton. Semen merupakan bahan penyusun beton yang sangat penting, namun meningkatnya permintaan pasar akan semen berdampak pada tingginya harga semen. Oleh karena itu dibutuhkan alternatif lain untuk mengurangi proporsi penggunaan semen pada beton.

Serbuk marmer, dan abu sekam padi memiliki unsur penyusun yang sebagian besar terdapat pada semen. Namun selama ini belum ada penelitian yang bertujuan untuk mengetahui komposisi campuran yang tepat dari bahan-bahan tersebut, untuk mengurangi penggunaan semen seminim mungkin pada konstruksi beton.

Dalam penelitian ekperimental ini dibuat campuran pasta menggunakan semen, serbuk marmer, dan abu sekam padi. Dimana terdapat 2 macam sifat campuran yang akan dilakukan. Pertama, serbuk marmer sebagai bahan pengganti semen dan abu sekam padi sebagai bahan tambah. Kedua, abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen dan serbuk marmer sebagai bahan tambah. Dari kedua sifat tersebut akan dilakukan pengujian kuat tekan dan uji vicat.

Didapatkan hasil analisa yang menyimpulkan bahwa nilai kuat tekan tertinggi yang ditinjau dari nilai kuat tekan pasta normal terdapat pada komposisi campuran dengan prosentase 90% semen, 10% abu sekam padi sebagai pengganti semen, dan 20% serbuk marmer sebagai bahan tambah sebesar 40,024 Mpa untuk umur rencana 28 hari. Dengan hasil uji vicat sebesar 150,02 menit untuk waktu ikat awal dan 225 menit untuk waktu ikat akhir.

## SUMMARY

**The Effect of Adding Marble Powder and Rice Husk Ash toward Cement Paste;**  
Galih Aji Setiawan, 111910301065; 2015; 40 page; Departmen of Civil Engineering;  
Faculty of Engineering; University of Jember.

Concrete is still the main choice of Indonesian society as a structural material in building construction, in addition to materials that are easy to obtain also the ease of workmanship is one of the advantages of concrete. Cement is a concrete materials which are very important, but the increasing market demand for cement impact on the high price of cement. Therefore it takes another alternative for reducing the proportion of the use of cement in concrete.

Marble powder and rice husk ash has constituent elements that are mostly contained in the cement. However, so far there has been no study that aims to determine the exact composition of the mixture of these materials, to reduce to a minimum the use of cement in concrete construction.

In this experimental study was made using a paste mixture of cement, marble powder, and rice husk ash. Where there are two kinds of properties of the mixture to be carried. First, marble powder as a substitute for cement and rice husk ash as an ingredient added. Second, rice husk ash as a cement substitute material and marble powder as an ingredient added. From both these properties will be tested compressive strength and Vicat test.

Obtained results of the analysis concluded that the compressive strength highest in terms of the compressive strength of normal pasta present in the composition of the mixture with a percentage of 90% of cement, 10% rice husk ash as a substitute for cement, and 20% powdered marble as a value-added amounted to 40.024 Mpa for a time testing 28 days. With Vicat test results by 150.02 minutes for the initial setting time time and 225 minutes for the final setting time.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Pengaruh penambahan serbuk marmer dan abu sekam padi terhadap pasta semen*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

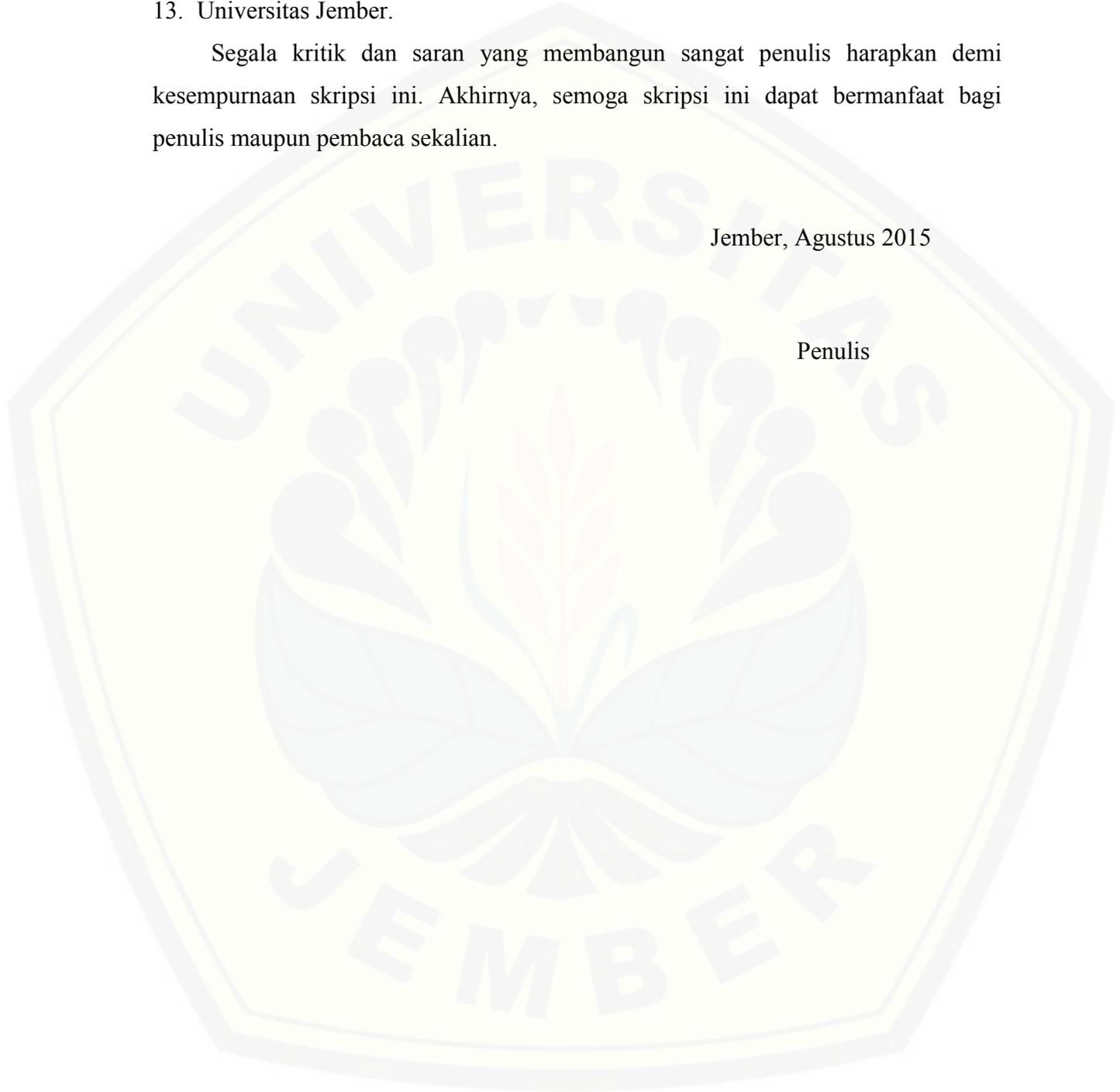
1. Ir. Widyono Hadi, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,
2. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember,
3. Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember,
4. Dwi Nurtanto, ST., M.T. dan Ketut Aswatama Wiswamitra, ST., M.T. selaku Dosen Pembimbing,
5. Erno Widayanto, ST., M.T. dan Ir. Hernu Suyoso S, M.T. selaku Dosen Penguji,
6. Kedua orang tuaku, Ibunda Eni Sumiati dan Ayahanda Parnianto yang telah mencintai, merawat, dan mendidik dari lahir sampai saat ini,
7. Adikku tercinta Firdayana Laksmi Friska yang telah menjadi motivasi hingga saya bisa menyelesaikan studi ini,
8. Wahyu Rindu Desa atas perhatian, motivasi serta pembelajaran tentang kedewasaan,
9. Teman seperjuangan selama masa penelitian hingga selesai, Teguh, Fiqi, Tewe, Faisal, Yuniansyah, Yopi, Tommy, dan Sudarsono Kimcil,
10. Teman-teman Mitreka Satata, PSRM Sardulo Anorogo, dan Teknik Sipil 2011 yang selalu ada disetiap suka duka selama penulis di Jember,
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu,

12. Almamater Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik,
13. Universitas Jember.

Segala kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca sekalian.

Jember, Agustus 2015

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>MOTTO</b> .....	iv
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	v
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	vi
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>SUMMARY</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang Masalah</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	2
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	2
<b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....	3
<b>1.5 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
<b>2.1 Penelitian Terdahulu</b> .....	4
<b>2.2 Serbuk Marmer</b> .....	10
<b>2.3 Abu Sekam Padi</b> .....	11
<b>2.4 Pasta Semen</b> .....	12
<b>2.5 Semen Portland</b> .....	13
<b>2.6 Faktor Air Semen</b> .....	14

2.7 Uji Kuat Tekan.....	14
2.8 Waktu Ikat Semen .....	15
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>16</b>
3.1 Umum .....	16
3.2 Pelaksanaan Penelitian .....	16
3.3 Pengolahan Data .....	22
3.4 Metodologi Penelitian .....	23
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>25</b>
4.1 Hasil Uji Pasta Normal.....	25
4.2 Hasil Uji Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Semen dan Serbuk Marmer Sebagai Nilai Tambah .....	27
4.3 Hasil Uji Serbuk Marmer Sebagai Pengganti Semen dan Abu Sekam Padi Sebagai Nilai Tambah.....	31
4.4 Rekapitulasi Hasil Uji Kuat Tekan .....	36
<b>BAB V. PENUTUP .....</b>	<b>40</b>
5.1 Kesimpulan .....	40
5.2 Saran .....	40
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>41</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b>	

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 1 Hasil Uji Kuat Tekan Penelitian Sri Utami.....	4
Tabel 2 Hasil Uji Kuat Tekan Penelitian Istiqomah .....	5
Tabel 3 Keterangan Benda Uji Penelitian Sri Raharja .....	8
Tabel 4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Penelitian Sri Raharja.....	8
Tabel 5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Penelitian Kencanawati.....	9
Tabel 6 Data Tambang Galian Batu Marmer Kabupaten Tulungagung .....	10
Tabel 7 Unsur Kimia Limbah Marmer.....	11
Tabel 8 Chemicals Components Rice Husk Ash .....	12
Tabel 9 Susunan Unsur Semen Portland.....	13
Tabel 10 Rencana Prosentase Campuran Pasta Semen Dengan Serbuk Marmer Sebagai Pengganti Semen dan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Tambah ..	16
Tabel 11 Rencana Prosentase Campuran Pasta Semen Dengan Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Semen dan Serbuk Marmer Sebagai Bahan Tambah .....	17
Tabel 12 Hasil Uji Kuat Tekan Pasta Normal.....	25
Tabel 13 Hasil Uji Vicat Pasta Normal.....	26
Tabel 14 Hasil Uji Kuat Tekan Pada Umur Perawatan 7 Hari Campuran Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Semen dan Serbuk Marmer Sebagai Bahan Tambah .....	27

Tabel 15 Hasil Uji Kuat Tekan Pada Umur Perawatan 28 Hari Campuran Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Semen dan Serbuk Marmer Sebagai Bahan Tambah .....	28
Tabel 16 Hasil Uji Vicat Campuran Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Semen dan Serbuk Marmer Sebagai Bahan Tambah.....	30
Tabel 17 Hasil Uji Kuat Tekan Pada Umur Perawatan 7 Hari Campuran Serbuk Marmer Sebagai Bahan Pengganti Semen dan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Tambah .....	32
Tabel 18 Hasil Uji Kuat Tekan Pada Umur Perawatan 28 Hari Campuran Serbuk Marmer Sebagai Bahan Pengganti Semen dan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Tambah .....	33
Tabel 19 Hasil Uji Vicat Campuran Serbuk Marmer Sebagai Bahan Pengganti Semen dan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Tambah.....	35

**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
Gambar 1 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Penelitian Sepriulus .....	6
Gambar 2 Diagram Alir Penelitian .....	23
Gambar 3 Grafik Uji Kuat Tekan Pasta Normal Umur 7 Hari dan 28 Hari.....	25
Gambar 4 Pengujian <i>Setting Time</i> .....	26
Gambar 5 Grafik Pengujian Kuat Tekan Umur 7 Hari Campuran Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Semen dan Serbuk Marmer Sebagai Bahan Tambah .....	27
Gambar 6 Grafik Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari Campuran Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Semen dan Serbuk Marmer Sebagai Bahan Tambah .....	29
Gambar 7 Pengujian <i>Setting Time</i> .....	31
Gambar 8 Grafik Pengujian Kuat Tekan Umur Perawatan 7 Hari Campuran Serbuk Marmer Sebagai Bahan Pengganti Semen dan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Tambah .....	32
Gambar 9 Grafik Pengujian Kuat Tekan Umur Perawatan 28 Hari Campuran Serbuk Marmer Sebagai Bahan Pengganti Semen dan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Tambah .....	33
Gambar 10 Pengujian <i>Setting Time</i> .....	35
Gambar 11 Rekapitulasi Kuat Tekan Umur Perawatan 7 Hari dan 28 Hari .....	37

DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
<b>A. Hasil Pengujian Kuat Tekan Pasta Umur Perawatan 7 Hari .....</b>	<b>42</b>
<b>B. Hasil Pengujian Kuat Tekan Pasta Umur Perawatan 28 Hari .....</b>	<b>48</b>
<b>C. Hasil Pengujian <i>Setting Time</i> ( vicat ) .....</b>	<b>54</b>
<b>D. Dokumentasi .....</b>	<b>59</b>

## BAB I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Beton saat ini masih menjadi pilihan utama masyarakat Indonesia sebagai bahan struktur dalam konstruksi bangunan, disamping bahan material yang mudah didapat juga kemudahan dalam pengerjaan merupakan salah satu keunggulan dari beton. Semen merupakan bahan penyusun beton yang sangat penting, namun meningkatnya permintaan pasar akan semen berdampak pada tingginya harga semen. Oleh karena itu dibutuhkan alternatif lain untuk mengurangi proporsi penggunaan semen pada beton.

Serbuk marmer, dan abu sekam padi dianggap dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen, hal ini merupakan alternatif untuk mengurangi penggunaan semen. Limbah marmer banyak ditemukan di Kabupaten Tulungagung, karena Kabupaten Tulungagung merupakan sentra kerajinan marmer terbesar di Indonesia. Pusat penghasil marmer terletak di kecamatan Campudarat, dimana marmer yang dihasilkan rata-rata setiap harinya sebanyak 30 ton. Dari jumlah yang dihasilkan setiap harinya tersebut, marmer yang dapat diolah dan dijadikan kerajinan hanya 80% dari jumlah keseluruhan dan sisanya rata-rata sekitar 6 ton/hari merupakan limbah. Banyaknya limbah marmer yang dihasilkan sampai sekarang dirasa masih kurang dimanfaatkan.

Menurut Utami (2010), lewat penelitiannya mengatakan bahwa serbuk marmer adalah pemanfaatan kembali dari limbah kerajinan batu marmer, selama proses penggergajian untuk kerajinan diperoleh limbah marmer. Limbah marmer merupakan serbuk berwarna putih kemerahan, apabila limbah marmer dicampur air maka akan mengeras, karena berupa serbuk maka dapat berfungsi sebagai bahan pengikat.

Menurut Setiawan (2012), lewat penelitiannya mengatakan bahwa abu sekam padi mempunyai sifat sebagai puzzolan. Puzzolan sendiri didefinisikan sebagai material yang terdiri dari silika reaktif yang akan berkombinasi dengan kapur

pada temperatur biasa sehingga membentuk majemuk yang berperilaku seperti semen dan tidak mudah larut.

Serbuk marmer, dan abu sekam padi memiliki unsur penyusun yang sebagian besar terdapat pada semen. Namun selama ini belum ada penelitian yang bertujuan untuk mengetahui komposisi campuran yang tepat dari bahan-bahan tersebut, untuk mengurangi penggunaan semen seminim mungkin pada konstruksi beton.

Berdasarkan latar belakang diatas, perlu adanya penilitian mengenai campuran serbuk marmer, dan abu sekam padi pada pasta semen agar mendapatkan campuran yang tepat. Untuk itu tema Skripsi yang dapat diambil yaitu “ **Pengaruh Penambahan Serbuk Marmer dan Abu Sekam Padi Terhadap Pasta Semen** ”

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian di atas, maka ada dua rumusan masalah yang dapat saya angkat yaitu:

1. Bagaimana komposisi serbuk marmer dan abu sekam padi yang baik untuk pasta semen, guna mendapatkan campuran yang tepat berdasarkan kuat tekan yang dihasilkan.
2. Bagaimana komposisi campuran serbuk marmer, dan abu sekam padi dalam pasta semen yang masih diijinkan oleh standard SNI 15-2049-2004 terhadap waktu ikat.

## **1.3 Tujuan**

Dari rumusan masalah diatas, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui komposisi perbandingan semen dengan abu sekam padi dan serbuk marmer pada sampel pengujian kuat tekan.
2. Mengetahui komposisi perbandingan semen dengan abu sekam padi dan serbuk marmer pada pasta semen terhadap waktu ikat yang masih diijinkan oleh standar mutu SNI 15-2049-2004.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat:

1. Memberikan informasi tentang komposisi perbandingan semen dengan abu sekam padi dan serbuk marmer pada sampel pengujian kuat tekan.
2. Memberikan informasi tentang komposisi perbandingan semen dengan abu sekam padi dan serbuk marmer pada pasta semen terhadap waktu ikat yang masih diijinkan oleh standar mutu SNI 15-2049-2004.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Agar maksud dan tujuan dapat diperoleh, dibutuhkan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Pengujian mengenai berat jenis dan keadaan *SSD* abu sekam padi dan serbuk marmer tidak dilakukan,
2. Proses hidrasi dan reaksi kimia yang terjadi pada campuran diabaikan,

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Terdahulu

Utami (2010), melakukan penelitian dengan judul Pemanfaatan Limbah Marmer untuk Pembuatan *Paving Stone* yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh limbah marmer sebagai bahan pengikat pada pembuatan *paving stone* terhadap kuat tekan dengan mengacu pada SNI 03-0691-1996. Permasalahan yang melatar belakangi penelitian ini adalah karena banyaknya limbah marmer yang dihasilkan dari proses pembuatan kerajinan batu marmer yang sampai saat ini masih belum bisa dimanfaatkan secara optimal di Kabupaten Tulungagung. Berdasarkan hasil penelitian ini serbuk marmer dapat mengurangi penggunaan semen sebesar 20% pada pembuatan *paving stone*, dan hasil tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

**Tabel 1.** Hasil Uji Kuat Tekan Penelitian Sri Utami

No.	Mix Design	Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm <sup>2</sup> )	Mutu Paving Stone	Keterangan
1	1Pc:0Lm:5 Ps	156,23	Kelas C	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Luas Penampang 220,5 cm<sup>2</sup></li> <li>▪ Beban Maksimal Bervariasi</li> </ul>
2	0,8Pc:0,2Lm:5 Ps	159,43	Kelas C	
3	0,6Pc:0,4Lm:5 Ps	103,79	Kelas D	
4	0,4Pc:0,6Lm:5 Ps	71,01	Kelas D	
5	0,2Pc:0,8Lm:5 Ps	53,53	Kelas D	

Dari tabel diatas, nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada campuran 0,8 Pc (semen), 0,2 Lm (limbah marmer), dan 5 Ps (pasir), namun semakin besar nilai serbuk marmer yang digunakan sebagai pengganti semen nilai kuat tekan *paving stone* juga mengalami penurunan. Dari hasil tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa prosentase penggunaan serbuk marmer yang baik untuk pengganti semen berada pada kisaran 20%.

Istiqomah dan Kurnia (2013), melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Limbah Marmer Sebagai Pengisi pada Beton (175S) yang bertujuan untuk

mengetahui pengaruh penambahan limbah marmer sebagai filler pada beton, sebagai upaya pemanfaatan limbah marmer bubuk dan mengurangi kebutuhan material yang ada. Berdasarkan hasil penelitian ini, penambahan limbah marmer sebagai filler meningkatkan kuat tekan dan densitas beton pada prosentase 10-20%. Hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini:

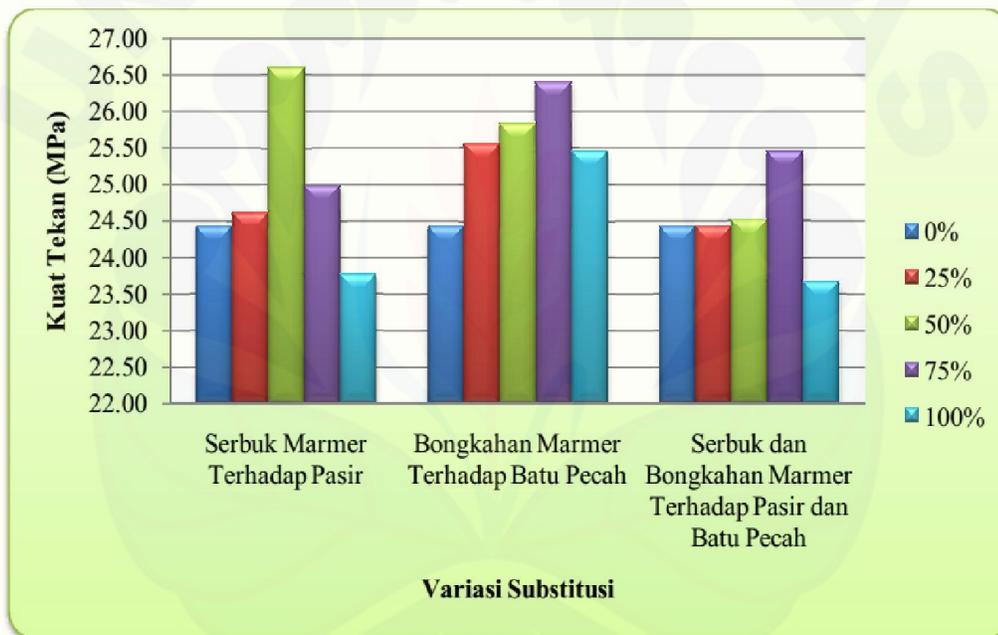
**Tabel 2.** Hasil Uji Tekan Penelitian Istiqomah

Umur LM (%)	Hari				% Terhadap pd umur 28	% Terhadap pd umur 49
	7	14	28	49		
0	14,26	21,56	24,13	28,60	100,00	100,00
5	15,11	18,27	25,86	29,07	107,21	101,63
10	20,30	24,66	24,38	32,27	101,04	112,83
20	22,44	24,54	28,35	32,03	117,50	111,99
30	13,49	16,87	18,78	23,08	77,85	80,69

Dari tabel diatas, terlihat terjadi peningkatan kuat tekan dengan bertambahnya prosentase limbah marmer sampai batas 20%. Pada tabel ini terlihat bahwa penambahan limbah marmer sebanyak 5% tidak memberi pengaruh pada peningkatan kuat tekan pada beton, sedangkan penambahan limbah marmer sebanyak 10% dari berat semen memberikan efek yang cukup signifikan pada kuat tekan. Demikian juga untuk penambahan limbah marmer sebanyak 20% memiliki kecenderungan meningkatkan kuat tekan beton lebih tinggi dari penambahan 10%. Dan pada penambahan limbah marmer sebanyak 30% memiliki kecenderungan menurunkan kuat tekan beton. Berdasarkan pengujian kuat tekan pada umur 49 hari pada gambar 2 memperlihatkan penambahan limbah marmer optimum berada diantara 10- 20% dari berat semen. Kenaikan kuat tekan yang terjadi pada beton dengan limbah marmer pada penambahan 10-20% diatas 10% dari kuat tekan beton normal.

Sepriulus *et al.* (2012), melakukan penelitian dengan judul Penggunaan Limbah Batu Marmer dari Gunung Batu Naitapan Kabupaten Timor Tengah Selatan Sebagai Alternatif Pengganti Agregat pada Campuran Beton yang bertujuan untuk mengetahui besarnya kuat tekan beton jika agregat pada beton disubsitusikan dengan

limbah marmer. Benda uji yang digunakan adalah silinder beton. Limbah marmer digunakan pada 3 perlakuan substitusi yaitu serbuk marmer terhadap pasir, bongkahan marmer terhadap batu pecah dan serbuk marmer dan bongkahan marmer pada pasir dan batu pecah. Presentase pada substitusi adalah 25%, 50%, 75%, 100%. Berdasarkan hasil pengujian, untuk beton substitusi serbuk marmer terhadap pasir dan substitusi serbuk marmer dan bongkahan marmer terhadap pasir dan batu pecah sampai substitusi 75% meningkatkan kuat tekan sedangkan 100% menurunkan kuat tekan. Substitusi bongkahan marmer terhadap batu pecah meningkatkan kuat tekan. Hasil penelitian tersebut dilihat pada gambar 1 dibawah ini :



Sumber : Hasil Penelitian, 2012

**Gambar 1.** Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Penelitian Sepriulus

Dari gambar 1 diatas, dapat dilihat bahwa substitusi serbuk marmer terhadap pasir pada variasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% secara berturut –turut menghasilkan kuat tekan sebesar 24.42 MPa, 24,61 MPa, 26,59 MPa, 24,98 MPa dan 23,76 MPa. Terjadi peningkatan kekuatan tekan sebesar 0,77%, 8,88% dan 2,32% untuk variasi 25%, 50% dan 75%, sedangkan pada variasi 100% mengalami penurunan kekuatan tekan sebesar 2,70%. Sedangkan substitusi bongkahan marmer terhadap batu pecah

pada variasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% secara berturut –turut menghasilkan kuat tekan sebesar 24,42 MPa, 25,55 MPa, 25,83 MPa, 26,40 MPa dan 25,45 MPa. Terjadi peningkatan kekuatan secara berturut –turut sebesar 4,63%, 5,75%, 8,05% dan 4,21% dari kuat tekan beton normal sebesar 24,42 MPa. Substitusi serbuk marmer dan bongkahan marmer terhadap pasir dan batu pecah pada variasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% secara berturut –turut menghasilkan kuat tekan sebesar 24,42 MPa, 24,42 MPa, 24,51 MPa, 25,45 MPa dan 23,66 MPa. Terjadi peningkatan kekuatan tekan sebesar 0%, 0.39% dan 4,25% untuk variasi 25%, 50% dan 75%, sedangkan pada variasi 100% mengalami penurunan kekuatan tekan sebesar 3,10%.

Raharja *et al.* (2013), melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Kinerja Tinggi yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan abu sekam padi sebagai pengganti sebagian semen ditinjau dari kuat tekan dan modulus elastisitas beton kinerja tinggi. Benda uji berbentuk silinder beton dengan diameter 7,62 cm (3 inch) dan tinggi 15,24 cm (6 inch) dan menggunakan variasi komposisi abu sekam padi 0% , 2,5% , 5% , 7,5% , 10% dan 15%. Setiap jenis campuran beton dibuat 3 benda uji. Mutu beton yang direncanakan adalah  $f_c' = 80$  MPa. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen mengakibatkan peningkatan nilai kuat tekan. Peningkatan terbesar terjadi pada variasi 10% abu sekam padi yaitu sebesar 18,15% (dari 85,55 MPa menjadi 101,07 MPa). Pengaruh abu sekam padi terhadap modulus elastisitas berbanding lurus dengan kuat tekannya. Nilai modulus elastisitas juga cenderung mengalami peningkatan seiring dengan semakin besarnya penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen, yaitu sebesar 2,45% - 14,11%. Hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada tabel. 3 dan tabel. 4 sebagai berikut :

**Tabel 3.** Keterangan Benda Uji Penelitian Sri Raharja

Kode Benda uji	Persentase Abu Sekam Padi (%)	Jumlah Benda Uji	Ukuran Benda Uji (inch)	Umur Pengujian (hari)
BKTN	0	3	Ø3 – H6	28
BKT1	2,5	3	Ø3 – H6	28
BKT2	5	3	Ø3 – H6	28
BKT3	7,5	3	Ø3 – H6	28
BKT4	10	3	Ø3 – H6	28
BKT5	15	3	Ø3 – H6	28

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Penelitian Sri Raharja

No	Kode Benda Uji	P maks (KN)	f'c (Mpa)	fc' rata-rata (Mpa)
1	BKTN A	425	87,96	
2	BKTN B	400	82,79	85,55
3	BKTN C	415	85,89	
4	BKT 1 A	445	92,10	
5	BKT 1 B	410	84,86	88,65
6	BKT 1 C	430	89,00	
7	BKT 2 A	435	90,03	
8	BKT 2 B	465	96,24	91,41
9	BKT 2 C	425	87,96	
10	BKT 3 A	470	97,28	
11	BKT 3 B	435	90,03	94,17
12	BKT 3 C	460	95,21	
13	BKT 4 A	485	100,38	
14	BKT 4 B	505	104,52	101,07
15	BKT 4 C	475	98,31	
16	BKT 5 A	390	80,72	
17	BKT 5 B	430	89,00	84,17
18	BKT 5 C	400	82,79	

Dari tabel diatas didapatkan kuat tekan beton kinerja tinggi mengalami peningkatan dan penurunan akibat penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen. Peningkatan kuat tekan beton kinerja tinggi terjadi pada penggunaan abu sekam padi sebesar 2,5% , 5% , 7,5% , dan 10%. Kuat tekan maksimal terjadi pada penggunaan abu sekam padi sebesar 10% dari berat semen yaitu 101,07 MPa, lebih besar dari kuat tekan beton kinerja tinggi tanpa abu sekam padi sebesar 85,55 Mpa atau meningkat 18,15%. Penurunan kuat tekan beton

kinerja tinggi terjadi saat penggunaan abu sekam padi sebesar 15% dari berat semen. Kuat tekan beton kinerja tinggi dengan penggunaan abu sekam padi sebesar 15% dari berat semen yaitu 84,17 MPa atau menurun 1,61% dari kuat tekan beton kinerja tinggi tanpa abu sekam padi. Pengaruh abu sekam padi terhadap modulus elastisitas berbanding lurus dengan kuat tekannya.

Kencanawati dan Kencana (2012), melakukan penelitian dengan judul Penggunaan Pozolan Alami (Abu Sekam Padi) dan Pozolan Buatan (Silika Fume) pada Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi yang bertujuan untuk mengetahui apakah abu sekam padi dapat digunakan sebagai silika alami dalam rangka pembuatan beton mutu tinggi, mengingat sampai saat ini limbah abu sekam padi yang berlimpah di Nusa Tenggara Barat belum banyak dimanfaatkan dengan baik. Benda uji yang berupa silinder beton diuji tekan pada umur 7, 28, dan 91 hari. Kuat tekan tertinggi untuk kedua jenis pozolan terdapat pada variasi faktor air semen 0.3 dengan umur 91 hari pengujian. Beton dengan pozolan abu sekam padi memperoleh kuat tekan 55.679 MPa dan beton dengan pozolan sika fume memperoleh nilai kuat tekan 55.956 MPa. Pada variasi ini pozolan alami menghasilkan kuat tekan yang hampir sama dengan pozolan buatan dan telah mencapai di atas kuat tekan yang disyaratkan untuk beton mutu tinggi. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel 5 sebagai berikut:

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Penelitian Kencanawati

Faktor air semen	Kadar pozolan	Nilai Kuat Tekan (MPa)		
		Uji 7 hari	Uji 28 hari	Uji 91 hari
0.4	0%	28,687	39,614	40,350
	15% RHA	24,287	34,969	41,978
	9% SF	27,235	39,045	41,988
0.32	0%	41,506	43,966	44,177
	15% RHA	35,220	41,609	46,509
	9% SF	36,956	43,922	46,757
0.3	0%	43,547	50,579	51,764
	15% RHA	39,938	47,919	55,679
	9% SF	38,442	48,165	55,956
0.28	0%	39,070	43,761	47,605
	15% RHA	34,314	42,599	49,228
	9% SF	37,851	43,696	51,339

Dari data tabel diatas, didapat hasil kuat tekan meningkat seiring bertambahnya umur perawatan. Kuat tekan tertinggi untuk kedua jenis pozolan terdapat pada variasi faktor air semen 0.3 dengan umur 91 hari pengujian, beton dengan pozolan abu sekam padi memperoleh kuat tekan 55.679 MPa dan beton dengan pozolan sika fume memperoleh nilai kuat tekan 55.956 MPa.

## 2.2. Serbuk Marmer

Serbuk marmer adalah limbah yang diperoleh dari proses kerajinan batu marmer. Batu marmer yang semula berbentuk bongkahan besar dipotong menjadi berbagai ukuran yang diperlukan. Potongan-potongan tersebut kemudian dibentuk menjadi suatu kerajinan berupa patung, meja, tegel, hiasan dinding, dan bentuk-bentuk lain sesuai permintaan pasar. Selama proses penggergajian inilah diperoleh limbah serbuk marmer yang berlimpah.

Dinas PU Pengairan dan ESDM Kabupaten Tulungagung menyebutkan banyaknya galian marmer pada tahun 2014 sebesar 19.257,571 ton/tahun, meliputi tiga perusahaan yang mengelola pertambangan batu marmer di Kabupaten Tulungagung. Sedangkan pada setiap kegiatan pengolahan batu marmer menghasilkan limbah berupa pecahan batu marmer dan serbuk marmer sebesar 20% dari produk akhir hasil pengolahan. Rincian data tambang galian batu marmer dapat dilihat pada tabel 6.

**Tabel 6.** Data tambang galian batu marmer Kabupaten Tulungagung.

No	Nama Badan Hukum/ Perusahaan	Luas Lahan	Produksi (ton) / Tahun
1	PT. IMIT	11.93 Ha	10,067.7710
2	PT. Bian Naga Batuan	13.277 Ha	7,471.5000
3	CV. Sinar Jaya	4,75 Ha	1,718.3000

Data pada tabel 6, merupakan rekapitulasi produksi galian penambang 2014 untuk tiga perusahaan wajib pajak yang dilakukan oleh Dinas PU Pengairan dan

ESDM Kabupaten Tulungagung. Menurut Herman (2005), terdapat sekitar 150 unit usaha kecil dan menengah yang bergerak dibidang pengolahan batu marmer.

Menurut Utami (Ed., 2010). Hasil penelitian PT. Sucofindo Jakarta menyebutkan bahwa komposisi yang terkandung dalam limbah marmer adalah senyawa CaO dengan kadar 52.69% , CaCO<sub>3</sub> 41.92% , MgO 0.84% , MgCO<sub>3</sub> 1.76% , SiO<sub>2</sub> 1.62% , Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.37% dari hasil ini terlihat bahwa komposisi utama limbah marmer adalah zat kapur.

Hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada tabel 7. Dibawah ini:

**Tabel 7.** Unsur Kimia Limbah Marmer

Oksidasi	Kandungan (%)
CaO	52.69
CaCO <sub>3</sub>	41.92
MgO	0.84
MgCO <sub>3</sub>	1.76
SiO <sub>2</sub>	1.62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.37

(Sumber: PT. Sucofindo)

Dengan kandungan zat kapur yang cukup tinggi, diharapkan serbuk marmer dapat menjadi bahan dimana dapat mengurangi komposisi penggunaan semen dalam pembuatan beton. Hal ini sangat membantu, terutama pada saat harga semen mengalami kenaikan, dan juga ikut menjaga kelestarian lingkungan dikarenakan serbuk marmer merupakan limbah.

### 2.3. Abu Sekam Padi

Abu sekam padi adalah hasil dari pembakaran sekam padi yang merupakan bentuk limbah yang mampu meningkatkan emisi karbon dioksida pada udara bebas. Namun menurut Andhi dan Prastyoko (Eds., 2007), abu sekam padi memiliki kandungan silika yang tinggi antara 94-96%, dan apabila nilainya mendekati atau

dibawah 90% kemungkinan disebabkan oleh sampel sekam yang telah terkontaminasi oleh zat lain yang kandungan silikanya rendah.

Menurut Bakri (Ed., 2008), Silika merupakan bahan tambah yang baik untuk semen guna meningkatkan kekuatan serta ketahanan. Dengan demikian, abu sekam padi dapat digunakan untuk bahan tambah guna mengurangi komposisi semen dalam pembuatan beton. Menurut Bui, Abu sekam padi telah digunakan sebagai bahan pozzolan reaktif yang sangat tinggi untuk meningkatkan mikrostruktur pada daerah transisi interfase antara pasta semen dan agregat beton yang memiliki kekuatan tinggi. Penggunaan abu sekam padi pada komposit semen dapat memberikan beberapa keuntungan seperti meningkatkan kekuatan dan ketahanan, mengurangi biaya bahan, mengurangi dampak lingkungan limbah bahan. Kandungan yang terdapat pada abu sekam padi dapat dilihat pada tabel 8 dibawah ini :

**Tabel 8.** Chemicals Components of Rice Husk Ash

Chemicals	%
SiO <sub>2</sub>	72.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.32
CaO	0.65
Hilang Pijar	21.43

(Sumber : Jurnal Perennial)

#### 2.4. Pasta Semen

Pasta semen adalah campuran antara semen dengan air dalam proporsi tertentu, dan jika campuran tersebut di diamkan selama beberapa waktu akan menjadi kaku dan mengeras. Menurut Retno *et al.* (Eds., 2001), 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.

Ketika pengikatan dan pengerasan semen terjadi dikarenakan adanya reaksi yang bersifat exotermis, dimana sifat ini menandakan adanya panas yang dilepas. Jumlah panas yang dilepas oleh semen disebut panas hidrasi.

### 2.5. Semen Portland

Semen Portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan [PUIB – 1982].

Beberapa bahan dasar pembentuk semen ialah kapur ( $\text{CaO}$ ), silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan oksida besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Dengan besaran masing-masing prosentase ditunjukkan dalam tabel 9 :

**Tabel 9.** Susunan Unsur Semen Portland

No	Oksida	Persen (%)
1	Kapur ( $\text{CaO}$ )	60-65
2	Silika ( $\text{SiO}_2$ )	17-25
3	Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	3-8
4	Besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	0.5-6
5	Magnesium ( $\text{MgO}$ )	0.5-4
6	Sulfur ( $\text{SO}_3$ )	1-2

Sumber : Kardiyono Tjokrodimuljo, 1995

Sebagian besar semen modern mempunyai kandungan kapur dibawah 65%. Semen dengan kandungan kapur dibawah 65% pengerasannya seringkali agak lambat. Dalam hal ini, kandungan kapur maksimum dibatasi oleh kebutuhan untuk menghindari kapur bebas dalam semen. Keberadaan kapur bebas dapat menjadi sumber kelemahan pada permukaan interface antara pasta semen dengan agregat, dan juga bisa menyebabkan ketidakstabilan pada proses pegerasan semen. Kapur dan silika menjadi penyumbang kekuatan terbesar pada semen, sedangkan alumina dan oksida besi akan lebih berfungsi untuk mengatur kecepatan proses hidrasi. Kandungan minimum dari alumina dan oksida besi seringkali lebih ditentukan oleh kebutuhan komposisi kimianya.

## 2.6. Faktor Air Semen

Perbandingan antara berat air dengan berat semen yang digunakan dalam adukan pasta disebut faktor air semen. Dimana faktor air semen menentukan kuat tekan pasta semen yang dihasilkan, semakin tinggi faktor air semen yang digunakan dalam adukan, semakin rendah kuat tekan pasta semen yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan campuran memiliki kadar air yang berlebih yang membuat campuran menjadi lebih encer, dan ketika campuran mengeras akan menimbulkan banyak rongga-rongga yang tercipta, dikarenakan rongga-rongga yang sebelumnya terisi oleh air menjadi kosong karena proses hidrasi. Namun demikian, nilai faktor air semen yang terlalu rendah juga tidak bagus untuk campuran pasta semen, hal ini dikarenakan jika campuran kekurangan air, maka yang terjadi ialah campuran sulit untuk dikerjakan. Sehingga campuran tidak akan tercampur secara merata. Oleh karena itu, ada suatu nilai faktor air semen optimum yang mampu menghasilkan kuat tekan maksimum, yaitu untuk beton normal berkisar antara 0,4 sampai 0,65.

## 2.7. Uji Kuat Tekan

Beton normal memiliki kelebihan pada kuat tekan yang dihasilkan, semakin baik mutu beton yang direncanakan memiliki kekuatan hancur yang semakin tinggi. Kuat hancur beton normal rata-rata berkisar antara 20-50 N/mm<sup>2</sup> pada umur 28 hari.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan beton yaitu:

1. Faktor air semen (FAS) dan kepadatan

Faktor air semen yang digunakan dalam adukan mempengaruhi kepadatan beton yang dihasilkan. Semakin padat beton yang dihasilkan, maka semakin tinggi pula kuat tekan beton tersebut.

2. Umur beton

Beton akan benar-benar mengeras pada umur 28 hari, sehingga perencanaan pengujian beton di dasarkan pada umur rencana 28 hari.

### 3. Jenis dan jumlah semen

Pemilihan semen dalam adukan harus disesuaikan dengan tujuan daripada penggunaannya, sebab klasifikasi semen memiliki kelebihan masing-masing.

## 2.8. Waktu Ikat Semen

Proses *setting time* adalah perubahan pasta semen dalam keadaan plastis menjadi solid, segera setelah *setting time* 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).

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

#### 1. *Initial Setting Time*

Berlangsung saat semen mulai menjadi kaku setelah dicampur dengan air. Dimana pasta semen kehilangan plastisitasnya dan menjadi cukup koheren untuk menahan tekanan. Saat perubahan ini ditentukan dalam jam dan menit, standard initial *setting time* adalah 1-2 jam, bila initial *setting time* kurang dari 1 jam, maka semen Portland tersebut kurang baik, karena cepat mengeras.

#### 2. *Final Setting Time*

Setelah initial *setting time*, pasta semen masih dalam keadaan keras dan semakin menjadi kaku dan cukup kuat menahan tekanan yang besar. Standard final *setting time* adalah 4-6 jam, bila final *setting time* kurang dari 4 jam, berarti semen Portland tersebut kurang baik, karena cepat mengeras.

### BAB III. METODELOGI PENELITIAN

#### 3.1. Umum

Penelitian ini adalah penelitian eksperimen dengan membuat campuran pasta menggunakan semen, serbuk marmer, dan abu sekam padi. Dimana terdapat 2 macam sifat campuran yang akan dilakukan. Pertama, serbuk marmer sebagai bahan pengganti semen dan abu sekam padi sebagai bahan tambah. Kedua, abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen dan serbuk marmer sebagai bahan tambah. Dari kedua sifat tersebut akan dilakukan pengujian kuat tekan dan uji vicat.

#### 3.2. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan April-Juni 2015 di Laboratorium struktur Fakultas Teknik Universitas Jember.

##### 3.2.1. Benda Uji

Benda Uji dalam penelitian ini berupa pasta semen dengan dimensi 5 cm x 5 cm x 5 cm. Setelah pasta mengeras, dilanjutkan dengan uji tekan pada benda uji, untuk mengetahui % campuran yang memiliki kuat tekan tertinggi. Kadar air yang digunakan untuk pasta menggunakan kadar air dari hasil pengujian konsistensi normal campuran. Rencana prosentase campuran yang digunakan dijelaskan pada tabel 10 dan tabel 11. Jumlah benda uji tiap variasi % serbuk marmer dan abu sekam padi sebanyak 5 buah.

**Tabel 10.** Rencana prosentase campuran pasta semen dengan serbuk marmer sebagai pengganti semen dan abu sekam padi sebagai bahan tambah.

No	Semen	Serbuk Marmer	Abu Sekam Padi	Jumlah
1	100 %	0 %	0 %	5
2	85 %	15 %	0 %	5

			10 %	5
			15 %	5
3	80 %	20 %	0 %	5
			10 %	5
			15 %	5
4	75 %	25 %	0 %	5
			10 %	5
			15 %	5

**Tabel 11.** Rencana prosentase campuran pasta semen dengan abu sekam padi sebagai pengganti semen dan serbuk marmer sebagai bahan tambah.

No	Semen	Abu Sekam Padi	Serbuk Marmer	Jumlah
1	90 %	10 %	0 %	5
			15 %	5
			20 %	5
			25 %	5
2	85 %	15 %	0 %	5
			15 %	5
			20 %	5
			25	5

### 3.2.2. Alat dan Bahan (SNI 15-3758-2004)

Beberapa alat dan bahan yang digunakan antara lain :

1. Alat :
  - Cetakan berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm;
  - Mixer;
  - Ember;
  - Pengaduk;
  - Alat uji tekan;
  - Bak penampung air;
  - Neraca analitik;
  - Gelas ukur;
  - Alat vicat;
  - *Sieve shaker*.
  - Timbangan digital
2. Bahan :
  - Semen Portland tipe I;
  - Serbuk Marmer dari Kabupaten Tulungagung;
  - Abu Sekam Padi dari Kabupaten Jember;
  - Air Bersih.

### 3.2.3. Pembuatan Benda Uji (SNI 15-2049-2004)

#### 3.2.3.1 Penyiapan material

1. Sebelum melakukan pembuatan benda uji kita persiapkan material terlebih dahulu meliputi semen, serbuk marmer, abu sekam padi, dan air.
2. Lakukan analisis material terhadap semen agar tidak tercemar udara bebas. Begitu juga dengan serbuk marmer dan abu sekam padi, sebelum digunakan sebagai bahan pembuatan pasta serbuk marmer dan abu sekam padi melalui tahap pengeringan dengan menggunakan oven selama 24 jam, kemudian di

ayak menggunakan alat *sieve shaker*. Tujuan dari pengayakan adalah untuk mendapatkan material bahan yang lolos dan tertahan saringan 200, yang kemudian material yang lolos saringan 200 digunakan sebagai bahan pengganti semen. Dan yang tertahan saringan 200 digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran pembuatan pasta.

3. Setelah memalui proses pengayakan serbuk marmer dan abu sekam padi dimasukkan kedalam kantong plastik sesegera mungkin agar terhindar dari udara bebas terlalu lama.

#### **3.2.3.2 Penyiapan pasta semen**

1. Timbang material semen, serbuk marmer, dan abu sekam padi sesuai dengan perbandingan proporsi yang direncanakan sesuai dengan kapasitas cetakan benda uji.
2. Letakkan pengaduk dan mangkuk kering dalam posisi mengaduk pada mesin pengaduk.
3. Masukkan air campuran dengan mengacu pada FAS yang direncanakan kedalam mangkuk.
4. Kemudian masukkan bahan-bahan menurut urutan tabel perencanaan ke dalam mangkuk dan tunggu selama 30 detik agar air campuran terserap.
5. Jalankan mesin pengaduk dan campur dengan kecepatan rendah ( $140 \pm 5$ ) putaran per menit selama 30 detik.
6. Hentikan mesin pengaduk selama 15 detik dan selama waktu ini kumpulkan pasta yang menempel pada dinding mangkuk.
7. Jalankan mesin pengaduk pada kecepatan sedang ( $285 \pm 10$ ) putaran per menit dan campur selama 1 menit.

### **3.2.2 Pencetakan Benda uji**

#### **3.2.2.1 Uji kuat tekan**

1. Segera setelah pencampuran selesai, tuangkan ke dalam cetakan pasta dengan ukuran tiap sisi 5 cm yang sebelumnya telah diolesi dengan pelumas.
2. Kemudian digetar dengan alat penggetar selama 15 kali getaran.
3. Ratakan permukaan benda uji dan lalu diamkan selama 24 jam.
4. Bongkar benda uji pada cetakan, kemudian lakukan curing hingga 1 hari sebelum pengujian.
5. Sampel siap untuk diuji. Dalam penelitian ini benda uji kuat tekan dibuat sebanyak 180 benda uji.

#### **3.2.2.2 *Setting Time***

1. Segera setelah selesai pencampuran, bentuk pasta semen yang telah disiapkan menjadi bola dengan kedua tangan dan lemparkan 6 kali dari tangan satu ke tangan yang lainnya dengan jarak kira-kira 15 cm.
2. Tekan bola pasta yang terletak pada satu tangan ke dalam lubang yang besar dari cincin vicat, yang dipegang dengan tangan lainnya.
3. Ambil dengan sekali gerakan telapak tangan, letakkan cincin dengan lubang yang besar pada pelat kaca.
4. Buang kelebihan pasta pada lubang yang kecil dengan sekali gerakan menggunakan tepi pisau aduk segitiga.
5. Dengan gerakan sedikit miring terhadap puncak dari cincin, haluskan permukaannya, bila perlu diketuk-ketuk dengan ujung pisau pengaduk perlahan-lahan.
6. Selama pengerjaan pemotongan dan penghalusan, hindarkan penekanan pada pasta.

### 3.2.3. Perawatan Benda Uji (SNI 15-3758-2004)

Perawatan benda uji dilakukan dengan cara merendam pasta yang baru dikeluarkan dari cetakan kedalam air sampai jangka waktu sesuai dengan umur beton yang ditentukan, yaitu pada umur 7 hari dan 28 hari untuk kemudian dilakukan uji kuat tekan.

### 3.2.4. Pengujian Laboratorium (ASTM C 91)

#### 3.2.4.1 Uji tekan pasta

Pengujian ini dilaksanakan untuk mengetahui nilai kuat tekan dari variasi prosentase campuran, dilakukan dengan cara member tekanan pada benda uji dengan kecepatan konstan hingga mencapai kekuatan tertentu. Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut :

1. Benda uji dikeluarkan dari tempat perawatan dan diangin-anginkan selama 24 jam.
2. Setiap benda uji ditimbang dan diukur dimensinya
3. Setelah itu lakukan pengujian tekanan pada benda uji menggunakan alat *Compresion Strength* dan catat beban maksimum yang dapat diterima.
4. Kemudian nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan :

P = Beban Maksimum ( N )

A = Luas Penampang Permukaan ( mm<sup>2</sup> )

#### 3.2.4.2 Uji *Setting Time*

Untuk pengujian setting time seharusnya berhubungan langsung dengan waktu penyiapan. Setelah tahap penyiapan, biarka benda uji dalam ruang lembab selama 30

menit setelah pencetakan. Dan untuk membedakan tahap penyiapan dengan tahap pengujian maka dijelaskan sebagai berikut :

1. Lakukan penetrasi dengan jarum diameter 1 mm dan setiap 15 menit berikutnya sampai mencapai penetrasi ( $25 \pm 1$ ) mm untuk waktu ikat awal.
2. Untuk pengujian penetrasi, turunkan jarum sampai tepat menyentuh permukaan pasta semen.
3. Kencangkan sekrup dan atur indikator pada ujung atas skala, tepatkan pada skala nol .
4. Bebaskan batang dengan melonggarkan sekrup secara cepat dan biarkan jarum turun selama 15 menit, kemudian baca skala untuk menentukan penetrasi.
5. Jarak antar titik penetrasi tidak kurang dari 9,5 mm terhadap dinding bagian dalam cetakan dan jarak diantara 2 titik penetrasi tidak kurang dari 6,4 mm.
6. Untuk waktu ikat akhir adalah ketika jarum tidak tampak terbenam pada pasta.
7. Selama pengujian penetrasi peralatan harus bebas getaran.
8. Jaga agar jarum 1 mm tetap lurus dan bersih dari gumpalan-gumpalan pasta yang menempel pada sisi jarum, hal ini akan memperlambat penetrasi. Dan bila semen menempel pada ujung jarum akan mempercepat penetrasi.
9. Waktu pengikatan tidak hanya dipengaruhi oleh persentase suhu air yang dipakai, jumlah pasta semen yang diterima, tetapi juga disebabkan oleh suhu dan kelembaban udara.

### **3.3 Pengolahan Data**

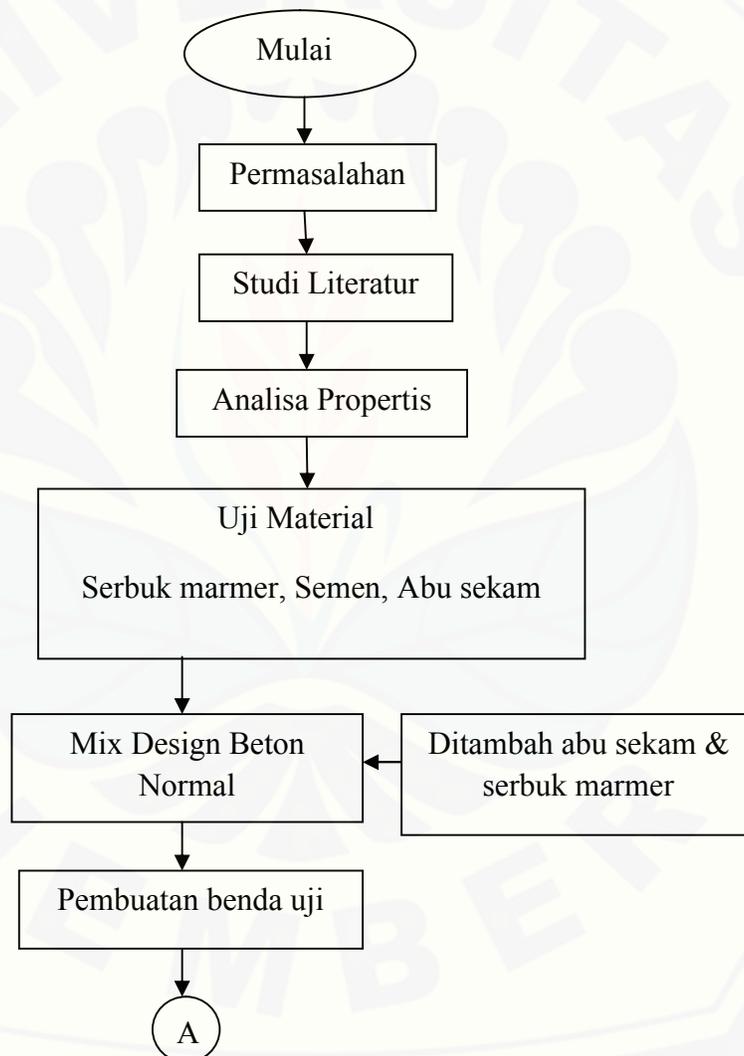
Untuk pengolahan data hasil penelitian laboratorium diperlukan alat berupa seperangkat computer beserta software yang nantinya dibutuhkan, Microsoft Office 2007, dan Windows Home 7 Premium OA product key PWK73-7GWGP-V3H4R-P6XD2-GC2CB versions X16-96072

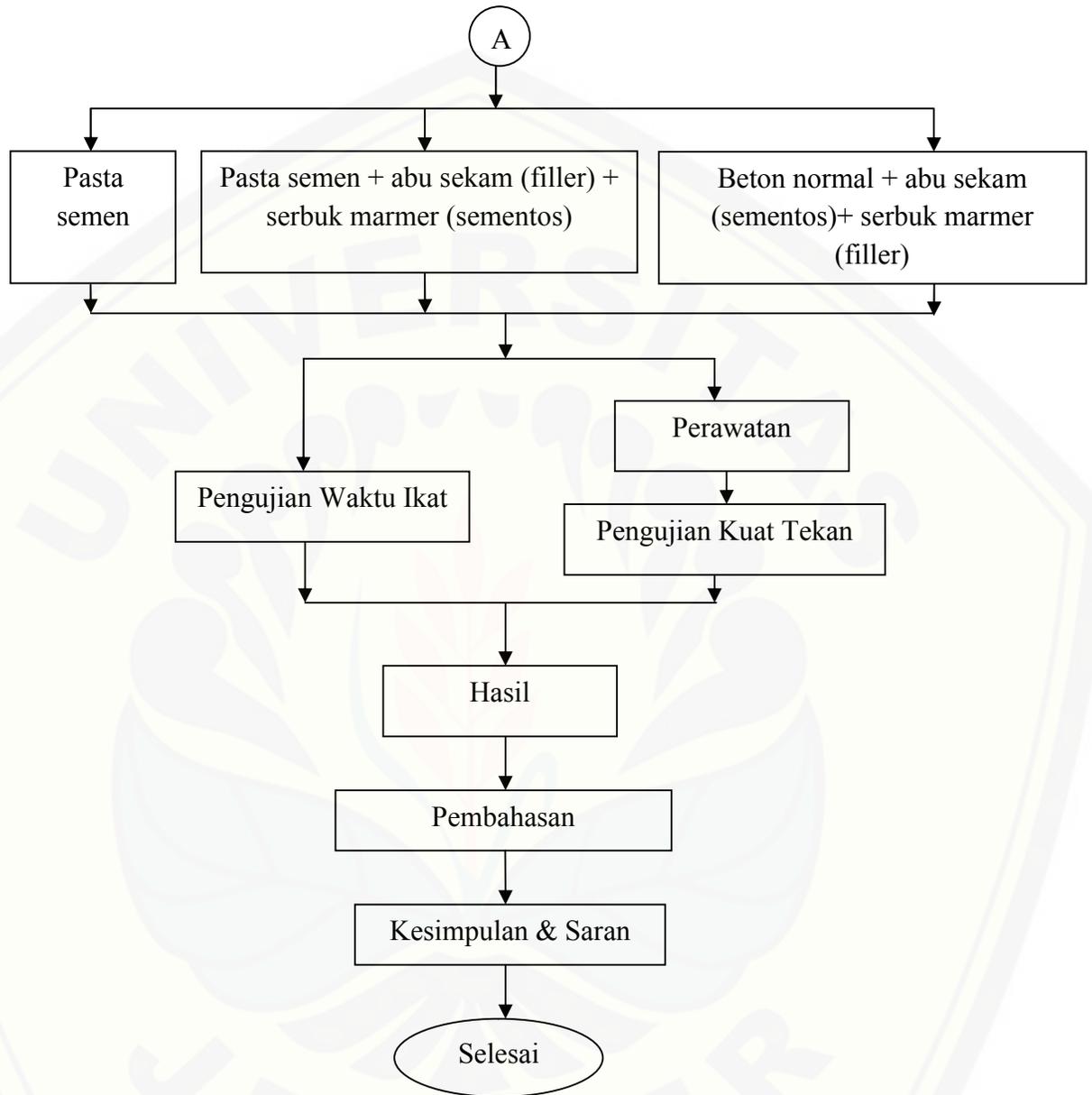
### 3.4 Metodologi Penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan beberapa tahapan, antara lain : Survey lapangan untuk mendapatkan serbuk marmer dan abu sekam padi, penelitian laboratorium, dan pengolahan data.

#### 3.4.1 Flowchart Penelitian

Diagram alur pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.





**Gambar 2.** Diagram Alir Penelitian

## BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan didasarkan pada hasil pengujian atas data yang didapat pada penelitian ini, dimana terdapat dua perilaku perencanaan, dan masing-masing perilaku memiliki beberapa sifat perencanaan. Perilaku yang pertama adalah abu sekam sebagai pengganti semen, dan serbuk marmer sebagai bahan tambah, yang mana akan dibahas dalam sub bab 4.2. Dan perilaku yang kedua adalah serbuk marmer sebagai pengganti semen dan abu sekam sebagai bahan tambah, yang mana akan dibahas dalam sub bab 4.3.

### 4.1 HASIL UJI PASTA NORMAL

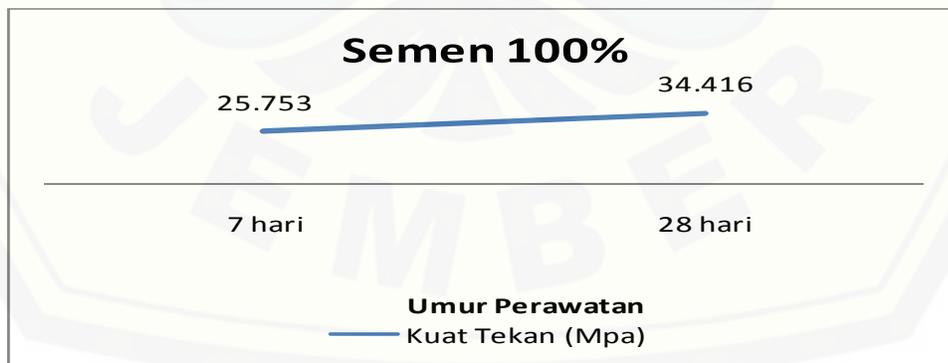
#### 4.1.1 Hasil Uji Kuat Tekan

Hasil pengujian ini diperlukan sebagai kontrol dari penelitian, agar dapat diketahui prosentase campuran yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dan kuat tekan lebih rendah dari pasta normal. Hasil pengujian tertuang pada tabel. 12 dibawah ini :

**Tabel. 12** Hasil Uji Kuat Tekan Pasta Normal

Umur	Semen	Marmer	Abu Sekam	Kuat Tekan (Mpa)	Standard Deviation
7 hari	100%	0%	0%	25.753	10.26147748
28 hari	100%	0%	0%	34.416	7.87339825

Dari data tabel. 12 diatas, diperoleh grafik sebagai berikut :



**Gambar 3.** Grafik uji kuat tekan pasta normal umur 7 hari dan 28 hari

Dari grafik diatas, diperoleh nilai kuat tekan pasta normal dari umur perawatan 7 hari dan 28 hari mengalami peningkatan yang signifikan. Hasil dari kuat tekan ini nantinya digunakan sebagai kontrol proporsi campuran semen, abu sekam, dan serbuk marmer, sehingga dapat diketahui proporsi campuran yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dan kuat tekan lebih rendah dari pasta normal. Dan hasil tersebut akan dibahas dalam kesimpulan.

#### 4.1.2 Hasil Uji Vicat

Hasil pengujian vicat untuk pasta normal digunakan sebagai kontrol, hasil pengujian dapat dilihat pada tabel. 13 dibawah ini:

**Tabel. 13** Hasil Pengujian Vicat Pasta Normal

Semen	Abu sekam	Marmer	Initial Setting Time	Final setting time	SNI ( Initial Setting Time )	SNI ( Final Setting Time )	Standard Deviation
100%	0%	0%	225	360	60 - 120	240 - 360	1.637810808

*Standard final setting time* adalah 4-6 jam, bila *final setting time* kurang dari 4 jam, berarti semen portland tersebut kurang baik, karena cepat mengeras (Teknologi Beton, Indra Cahya).

Dari hasil pengujian diatas didapatkan untuk waktu pengikatan awal sebesar 225 menit, sedangkan untuk waktu ikat akhir sebesar 360 menit. Hasil tersebut sesuai dengan ketentuan daripada *standard initial* dan *final setting time*, sehingga dapat dikatan bahwa semen yang digunakan baik. Berikut gambar uji vicat:



**Gambar 4 .** Pengujian *Setting Time*

## 4.2 HASIL UJI ABU SEKAM PADI SEBAGAI PENGGANTI SEMEN DAN SERBUK MARMER SEBAGAI BAHAN TAMBAH

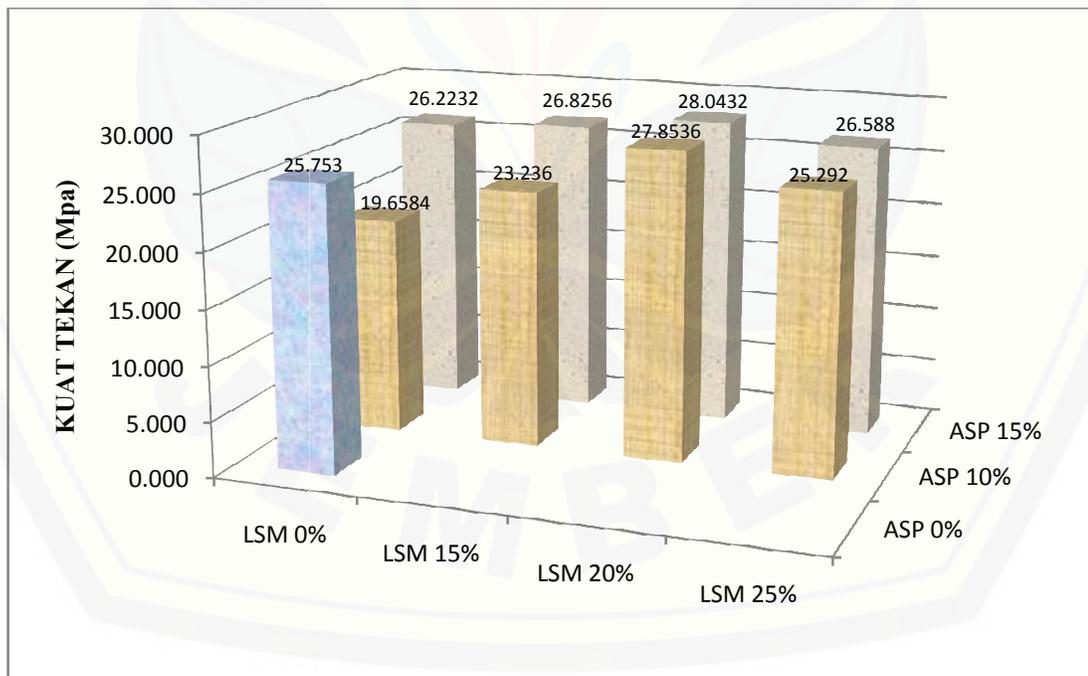
### 4.2.1 Hasil Uji Kuat Tekan

Dari penelitian uji kuat tekan abu sekam sebagai pengganti semen dan serbuk marmor sebagai bahan tambah didapat data pada perilaku perencanaan yang didasarkan pada waktu pengujian 7 hari dan 28 hari. Hasil dari pengujian sifat-sifat tersebut tertuang pada tabel. 14 dan tabel. 15 dibawah ini:

**Tabel. 14** Hasil Uji Kuat Tekan Pada Umur Perawatan 7 Hari

Semen	Abu sekam	Marmor (%)	Kuat Tekan (Mpa)	Standard Deviation
90%	10%	0	19.6584	0.284374401
		15	23.236	1.07408752
		20	27.8536	1.566705078
		25	25.292	0.380893686
85%	15%	0	26.2232	0.729906295
		15	26.8256	1.536116141
		20	28.0432	0.969471609
		25	26.588	2.282486364

Dari data tabel diatas, diperoleh grafik sebagai berikut :



**Gambar 5.** Grafik pengujian kuat tekan umur 7 hari

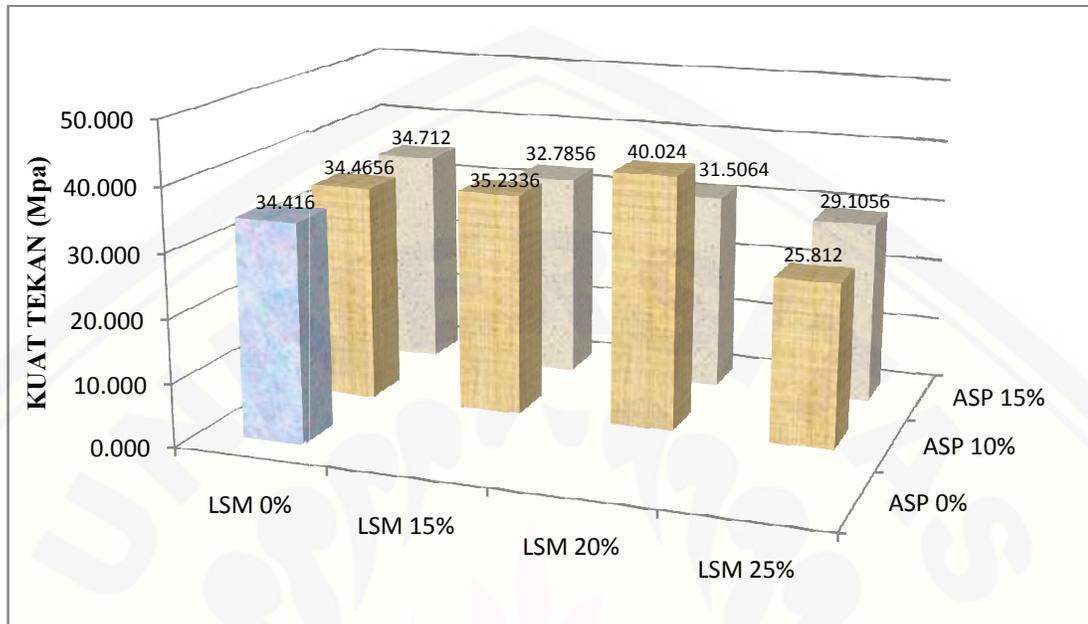
Dari grafik diatas, menunjukkan penggunaan ASP 10% sebagai bahan pengganti semen mulai mengalami kenaikan pada prosentase penambahan LSM 0%, 15%, dan 20%, serta mengalami penurunan di prosentase penambahan LSM 25%. Namun kuat tekan optimal hanya terjadi pada prosentase penambahan LSM 20% jika dibandingkan dengan kuat tekan pasta normal. Pada penggunaan ASP 15% sebagai bahan pengganti semen juga mengalami kenaikan pada prosentase penambahan LSM 0%, 15%, dan 20%, serta mengalami penurunan ketika prosentase penambahan LSM 20%. Namun kuat tekan dari keseluruhan prosentase penambahan LSM pada penggunaan ASP 15% lebih besar jika dibandingkan dengan kuat tekan pasta normal. Hasil kuat tekan optimal dari penggunaan ASP terjadi pada campuran ASP 15% dengan LSM 20% sebesar 28,0432 Mpa dan hasil tersebut lebih besar jika dibandingkan dengan kuat tekan pasta normal sebesar 25,753 Mpa. Hasil tersebut merupakan kuat tekan rata-rata dari 5 benda uji, dari persamaan 3.2.4 hasil pengujian kuat tekan kubus dengan ukuran sisi 5 cm x 5 cm x 5 cm sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan} &= P/A \\ &= 48200 \text{ N} / 2500 \text{ mm}^2 \\ &= 19,28 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

**Tabel. 15** Hasil Uji Kuat Tekan Pada Umur Perawatan 28 Hari

Semen	Abu sekam	Marmar (%)	Kuat Tekan (Mpa)	Standard Deviation
90%	10%	0	34.4656	1.006254838
		15	35.2336	0.711340144
		20	40.024	0.726085394
		25	25.812	0.941267231
85%	15%	0	34.712	0.647610994
		15	32.7856	1.46233676
		20	31.5064	0.556752009
		25	29.1056	0.374129389

Dari data tabel. 15 diatas, diperoleh grafik sebagai berikut :



**Gambar 6.** Grafik pengujian kuat tekan umur 28 hari

Dari grafik diatas, menunjukkan penggunaan ASP 10% sebagai bahan pengganti semen mulai mengalami kenaikan pada prosentase penambahan LSM 0%, 15% dan 20%, serta mengalami penurunan pada prosentase penambahan LSM 25%. Namun kuat tekan optimal terdapat pada penggunaan ASP 10% sebagai bahan pengganti semen dengan prosentase penambahan LSM 20% jika dibandingkan dengan kuat tekan pasta normal. Pada penggunaan ASP 15% sebagai bahan pengganti semen dengan penambahan prosentase LSM mengalami penurunan disetiap penambahannya. Sehingga hanya pada campuran dengan penggunaan ASP 15% dan LSM 0% yang memiliki kuat tekan optimal bila dibandingkan dengan pasta normal. Hasil kuat tekan optimal dari penggunaan ASP pada umur pengujian 28 hari terdapat pada campuran ASP 10% dengan LSM 20% sebesar 40,024 Mpa. Pada penelitian ini memiliki kesamaan terhadap penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Raharja *et al* (2013). Hasil pengujiannya menjelaskan bahwa peningkatan kuat tekan beton kinerja tinggi terjadi pada penambahan ASP dengan kadar 2,5% , 5% , 7,5% , 10%. Kuat tekan maksimal terjadi pada penggunaan ASP sebesar 10% dari berat semen yaitu

101,07 Mpa, lebih besar dari kuat tekan beton kinerja tinggi tanpa ASP sebesar 85,55 Mpa atau meningkat 18,15%. Dan juga diperkuat dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Istiqomah dan Kurnia (2013). Hasil pengujiannya menjelaskan bahwa penambahan LSM sebagai *filler* dapat meningkatkan kuat tekan beton, peningkatan kuat tekan beton seiring bertambahnya persentase LSM sebesar 5% sampai 20%. Kuat tekan tertinggi terjadi pada kadar LSM 20% dari berat semen sebesar 28,35 Mpa, lebih besar dari kuat tekan beton normal sebesar 24,26 Mpa atau meningkat 16,86%.

#### 4.2.2 Hasil Uji Vicat

Hasil pengujian vicat dilakukan pada suhu ruangan  $\pm 28^{\circ}$  celcius, uji vicat berhubungan dengan proses hidrasi semen yaitu proses pengerasan semen mulai dari awal pencampuran semen dengan air kemudian berubah sifat jadi plastis kemudian menjadi kaku. Tahap peralihan dari sifat plastis ke keadaan kaku atau disebut proses pengikatan awal dapat diketahui jika jarum vicat mengalami penurunan 25 mm. Sedangkan kondisi pasta semen sudah menjadi keras atau disebut proses pengikatan akhir, dapat diketahui jika jarum vicat menunjukkan penurunan 0 mm. Hasil dari pengujian vicat tertuang pada tabel. 16 dibawah ini:

**Tabel. 16** Hasil Pengujian Vicat

Semen	Abu sekam	Marmar	Initial Setting Time	Final setting time	SNI ( Initial Setting Time )	SNI ( Final Setting Time )	Standard Deviation
90%	10%	0	236.67	345	60 - 120	240 - 360	1.727232854
		15	166.36	300	60 - 120	240 - 360	1.683833162
		20	150.02	255	60 - 120	240 - 360	1.684042755
		25	121.88	210	60 - 120	240 - 360	1.797135768
85%	15%	0	170.25	270	60 - 120	240 - 360	1.775375547
		15	154.09	255	60 - 120	240 - 360	1.726874413
		20	130.71	210	60 - 120	240 - 360	1.768645261
		25	111.00	195	60 - 120	240 - 360	1.708109002

Dari data pengujian diatas, pengikatan awal dan pengikatan akhir semen semakin cepat dengan semakin besarnya proporsi abu sekam padi dan serbuk marmar yang digunakan. Hal tersebut dapat terjadi karena faktor air semen yang

digunakan adalah tetap walaupun volume campuran semakin bertambah seiring semakin besarnya prosentase bahan tambah yang diberikan, selain itu juga karena abu sekam padi memiliki kandungan  $\text{SiO}_2$  yang cukup besar yaitu 72,28%, dan serbuk marmer memiliki kandungan  $\text{CaO}$  sebesar 52,69%. Kandungan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{CaO}$  berguna untuk mempercepat proses pengikatan dan pengerasan semen, kedua bahan tersebut terkandung didalam semen portland. Berikut merupakan gambar uji vicat :



**Gambar 7.** Pengujian *Setting Time*

#### **4.3 HASIL UJI SERBUK MARMER SEBAGAI PENGGANTI SEMEN DAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI BAHAN TAMBAH**

Pada perilaku abu sekam padi sebagai pengganti semen dan serbuk marmer sebagai bahan tambah, digunakan abu sekam padi dengan lolos saringan 200, dan serbuk marmer tertahan saringan 200. Dimana faktor air semen yang digunakan adalah tetap pada masing-masing perilaku dan sifat perencanaan yaitu sebesar 0,5.

##### **4.3.1 Hasil Uji Kuat Tekan**

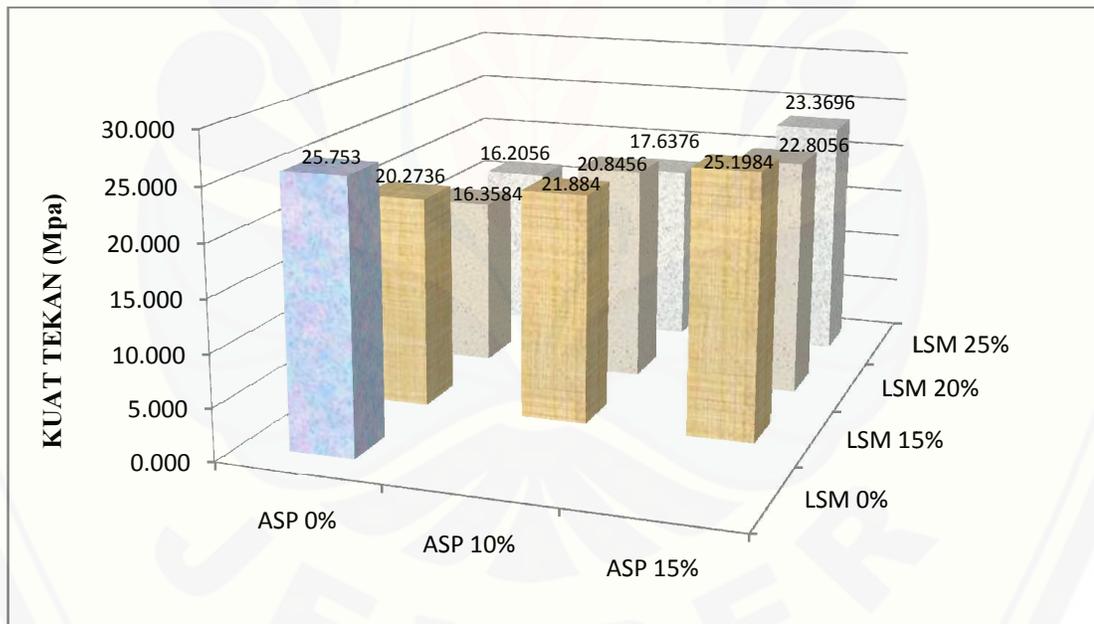
Hasil penelitian ini didasarkan pada umur perawatan 7 hari dan 28 hari, dimana pada perilaku perencanaan dengan proporsi campuran serbuk marmer sebagai pengganti semen dan abu sekam padi sebagai bahan tambah ini memiliki beberapa

sifat perencanaan, hasil dari pengujian sifat-sifat tersebut diberikan pada tabel. 17 dan tabel. 18 dibawah ini :

**Tabel. 17** Hasil Uji Kuat Tekan Pada Umur Perawatan 7 Hari

Semen	Marmor	Abu Sekam (%)	Kuat Tekan	Standard Deviation
85%	15%	0	20.2736	1.668806999
		10	21.884	1.18432428
		15	25.1984	0.636318159
80%	20%	0	16.3584	0.969129919
		10	20.8456	0.1920125
		15	22.8056	1.892599482
75%	25%	0	16.2056	0.041046315
		10	17.6376	0.903072976
		15	23.3696	0.925257153

Dari tabel. 17 diatas diperoleh grafik sebagai berikut :



**Gambar 8.** Grafik pengujian kuat tekan umur 7 hari

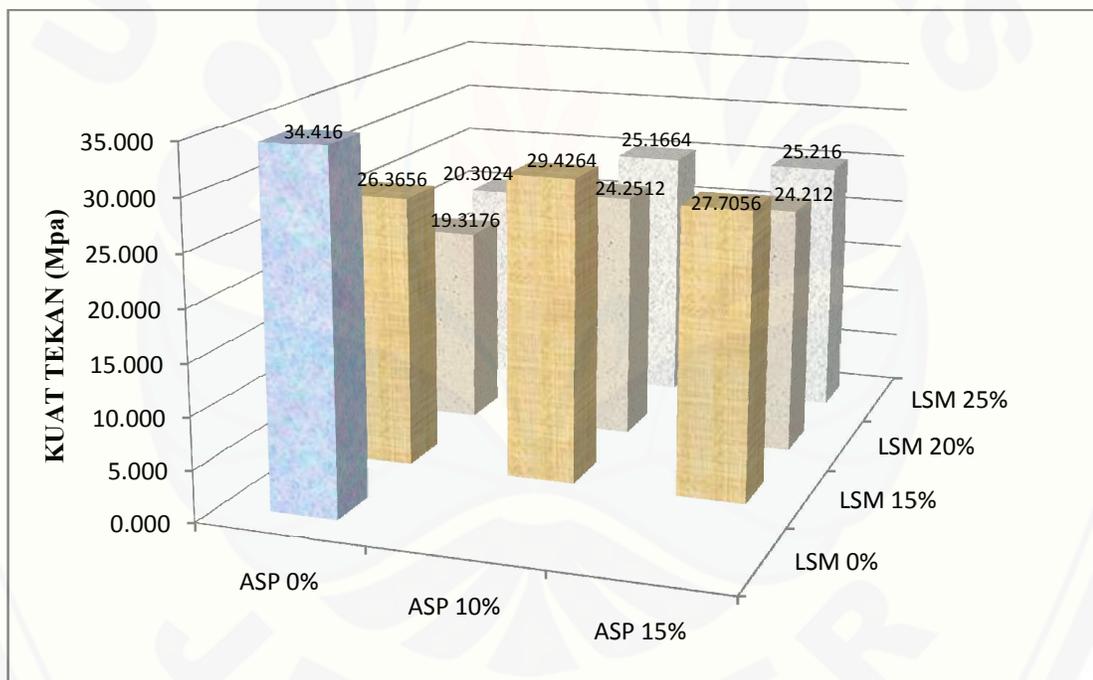
Dari grafik diatas, menunjukkan penggunaan LSM sebagai bahan pengganti semen mulai mengalami kenaikan seiring bertambahnya prosentase ASP yang digunakan sebagai bahan tambah dan kuat tekan yang optimal dari penggunaan LSM sebagai pengganti semen terdapat pada prosentase LSM 15% dengan ASP 15%

sebesar 25,1984 Mpa. Namun hasil tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil kuat tekan pasta normal sebesar 25,753 Mpa.

**Tabel. 18** Hasil Uji Kuat Tekan Pada Umur Perawatan 28 Hari

Semen	Marmmer	Abu Sekam (%)	Kuat Tekan	Standard Deviation
85%	15%	0	26.3656	0.366001093
		10	29.4264	0.806566054
		15	27.7056	0.58134052
80%	20%	0	19.3176	0.590813676
		10	24.2512	1.18131249
		15	24.212	0.560485504
75%	25%	0	20.3024	1.33312445
		10	25.1664	0.948268316
		15	25.216	0.413289245

Dari tabel. 18 diatas diperoleh grafik sebagai berikut :



**Gambar 9.** Grafik pengujian kuat tekan umur 28 hari

Dari grafik diatas, menunjukkan penggunaan LSM 15% sebagai bahan pengganti semen mengalami kenaikan pada prosentase penambahan ASP 0% dan ASP 10%, serta mengalami penurunan kuat tekan pada prosentase penambahan ASP 15%. Begitu juga untuk penggunaan LSM 20% sebagai bahan pengganti semen

mengalami kenaikan pada prosentase penambahan ASP 0% dan ASP 10%, serta mengalami penurunan kuat tekan pada prosentase penambahan ASP 15%. Pada Penggunaan LSM 25% kuat tekan menunjukkan kenaikan seiring bertambahnya prosentase ASP yang digunakan, mulai ASP 0% sampai ASP 15%. Kuat tekan optimal untuk penggunaan LSM sebagai bahan pengganti semen terdapat pada prosentase campuran LSM 15% dengan ASP 10% sebesar 29,4264 Mpa. Namun kuat tekan tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan kuat tekan pasta normal. Penelitian ini didukung dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Istiqomah dan Kurnia (2013). Hasil pengujiannya menjelaskan bahwa penambahan LSM sebagai *filler* dapat meningkatkan kuat tekan beton, peningkatan kuat tekan beton seiring bertambahnya prosentase LSM sebesar 5% sampai 20%. Kuat tekan tertinggi terjadi pada kadar LSM 20% dari berat semen sebesar 28,35 Mpa, lebih besar dari kuat tekan beton normal sebesar 24,26 Mpa atau meningkat 16,86%.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan LSM lebih sesuai jika digunakan sebagai bahan tambah (*filler*), karena hasil dari penelitian menunjukkan kuat tekan penggunaan LSM sebagai bahan pengganti semen cenderung lebih rendah dari kuat tekan pasta normal, sedangkan kuat tekan yang dihasilkan ketika penggunaan LSM sebagai bahan tambah (*filler*) cenderung lebih besar dari kuat tekan pasta normal. Hasil kuat tekan optimal penggunaan LSM sebagai bahan tambah terdapat pada prosentase penambahan sebesar 20%, dengan prosentase proporsi campuran ASP 10% LSM 20% sebesar 40,024 Mpa.

#### **4.3.2 Hasil Uji Vicat**

Hasil pengujian vicat dilakukan pada suhu ruangan  $\pm 30^{\circ}$  celcius, uji vicat berhubungan dengan proses hidrasi semen yaitu proses pengerasan semen mulai dari awal pencampuran semen dengan air kemudian berubah sifat jadi plastis kemudian menjadi kaku. Tahap peralihan dari sifat plastis ke keadaan kaku atau disebut proses pengikatan awal dapat diketahui jika jarum vicat mengalami

penurunan 25 mm. Sedangkan kondisi pasta semen sudah menjadi keras atau disebut proses pengikatan akhir, dapat diketahui jika jarum vicat menunjukkan penurunan 0 mm. Hasil dari pengujian vicat tertuang pada tabel. 19 dibawah ini:

**Tabel. 19** Hasil Pengujian Vicat

Semen	Marmer	Abu Sekam	Initial Setting Time	Final setting time	SNI ( Initial Setting Time )	SNI ( Final Setting Time )	Standard Deviation
85%	15%	0	150.00	285	60 - 120	240 - 360	1.658644911
		10	139.50	240	60 - 120	240 - 360	1.707385380
		15	100.00	225	60 - 120	240 - 360	1.637579515
80%	20%	0	138.75	240	60 - 120	240 - 360	1.638295147
		10	120.00	195	60 - 120	240 - 360	1.757736147
		15	100.00	180	60 - 120	240 - 360	1.715420259
75%	25%	0	108.75	210	60 - 120	240 - 360	1.637325054
		10	105.00	180	60 - 120	240 - 360	1.658781347
		15	98.57	180	60 - 120	240 - 360	1.643201482

Dari data pengujian diatas, pengikatan awal dan pengikatan akhir semen semakin cepat dengan semakin besarnya proporsi abu sekam padi dan serbuk marmer yang digunakan. Hal tersebut dapat terjadi karena faktor air semen yang digunakan adalah tetap walaupun volume campuran semakin bertambah seiring semakin besarnya prosentase nilai tambah yang diberikan, selain itu juga karena abu sekam padi memiliki kandungan  $\text{SiO}_2$  yang cukup besar yaitu 72,28%, dan serbuk marmer memiliki kandungan  $\text{CaO}$  sebesar 52,69%. Kandungan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{CaO}$  berguna untuk mempercepat proses pengikatan dan pengerasan semen, kedua bahan tersebut terkandung didalam semen portland. Berikut merupakan gambar uji vicat:

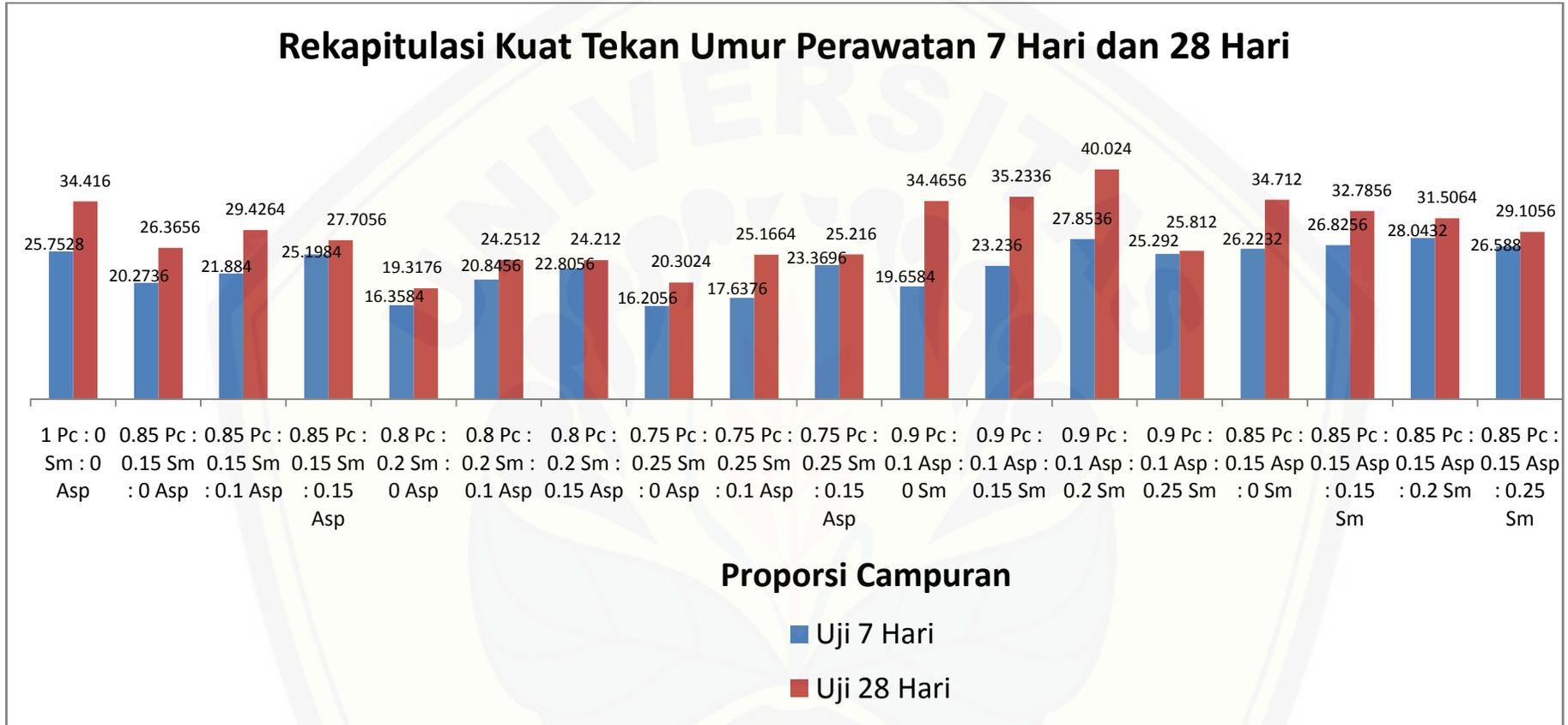


**Gambar 10.** Pengujian *Setting Time*

#### 4.4 REKAPITULASI HASIL UJI KUAT TEKAN

Rekapitulasi data pengujian kuat tekan bertujuan untuk melihat perbedaan kuat tekan antara pasta normal, serbuk marmer sebagai pengganti semen dan abu sekam sebagai pengganti semen.

Dari data uji kuat tekan yang telah dilakukan, didapatkan rekapitulasi dari keseluruhan sifat perencanaan yang didasarkan pada umur perawatan 7 hari dan 28 hari. Hasil rekapitulasi tersebut dimaksudkan untuk mengetahui nilai kuat tekan proporsi campuran mana saja yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dan kuat tekan lebih rendah dari nilai kuat tekan pasta normal sebagai acuan, rekapitulasi tersebut disajikan dalam bentuk diagram batang sebagai berikut:



Keterangan : Pc = *Portland cemen*  
 Sm = *Serbuk marmer*  
 Asp = *Abu sekam padi*

Misal = 0.85 Pc : 0.15 Sm : 0.15 Asp  
 = 85% semen, 15% serbuk marmer sebagai pengganti semen, 15% abu sekam padi sebagai bahan tambah

**Gambar 11.** Rekapitulasi kuat tekan umur 7 dan 28 hari

Dari diagram diatas diketahui pada pengujian umur perawatan 7 hari, nilai kuat tekan untuk sifat campuran serbuk marmer sebagai pengganti semen dan abu sekam padi sebagai bahan tambah keseluruhan mengalami penurunan ditinjau dari kuat tekan pasta normal. Namun untuk nilai kuat tekan dari sifat campuran abu sekam padi sebagai pengganti semen dan serbuk marmer sebagai bahan tambah, sebagian besar mengalami peningkatan. Hanya pada sifat campuran dengan prosentase 90% Pc : 10 Asp : 0% Sm, 90% Pc : 10% Asp : 15% Sm, dan 90% Pc : 10% Asp : 25% Sm mengalami penurunan. Dan untuk nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada sifat campuran dengan prosentase 85% Pc : 15% Asp : 20% Sm sebesar 28,0432 Mpa.

Dari diagram rekapitulasi pengujian umur perawatan 28 hari, nilai kuat tekan keseluruhan benda uji mengalami peningkatan kuat tekan ditinjau dari nilai kuat tekan yang dihasilkan pada pengujian umur perawatan 7 hari. Namun untuk nilai kuat tekan yang melebihi kuat tekan pasta normal hanya terdapat pada sifat campuran dengan prosentase 90% Pc : 10% Asp : 0% Sm, 90% Pc : 10% Asp : 15% Sm, 90% Pc : 10% Asp : 20% Sm, dan 85% Pc : 15% Asp : 0% Sm, untuk nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada sifat campuran dengan prosentase 90% Pc : 10% Asp : 20% Sm sebesar 40,024 Mpa. Ditinjau dari kuat tekan pasta normal, hasil dari rekapitulasi pengujian pada umur perawatan 7 hari dengan hasil pengujian pada umur perawatan 28 hari mengalami perubahan. Dimana hasil rekapitulasi pengujian pada umur perawatan 7 hari kuat tekan keseluruhan sifat campuran mengalami kenaikan kuat tekan ditinjau pada pengujian umur perawatan 28 hari, namun hanya untuk sifat campuran dengan prosentase Asp 10% sebagai bahan pengganti semen yang mengalami kenaikan kuat tekan cukup besar dengan kuat tekan optimum terjadi pada penambahan Sm 20% sebagai bahan tambah. Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Raharja *et al* (2013). Hasil pengujiannya menjelaskan bahwa peningkatan kuat tekan beton kinerja tinggi terjadi pada penambahan ASP dengan kadar 2,5% , 5% , 7,5% , 10%. Kuat tekan maksimal terjadi pada penggunaan ASP sebesar 10% dari berat semen yaitu 101,07 Mpa, lebih besar dari kuat tekan beton kinerja tinggi tanpa ASP sebesar 85,55 Mpa atau meningkat

18,15%. Dan juga diperkuat dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Istiqomah dan Kurnia (2013). Hasil pengujiannya menjelaskan bahwa penambahan LSM sebagai *filler* dapat meningkatkan kuat tekan beton, peningkatan kuat tekan beton seiring bertambahnya persentase LSM sebesar 5% sampai 20%. Kuat tekan tertinggi terjadi pada kadar LSM 20% dari berat semen sebesar 28,35 Mpa, lebih besar dari kuat tekan beton normal sebesar 24,26 Mpa atau meningkat 16,86%.



## BAB V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari hasil pengujian kuat tekan, didapatkan nilai kuat tekan tertinggi yang ditinjau dari nilai kuat tekan pasta normal terdapat pada komposisi campuran dengan prosentase 90% semen, 10% abu sekam padi sebagai pengganti semen, dan 20% serbuk marmer sebagai nilai tambah sebesar 40,024 Mpa untuk umur rencana 28 hari. Dengan hasil uji vicat sebesar 150,02 menit untuk waktu ikat awal dan 225 menit untuk waktu ikat akhir.
2. Dari hasil uji vicat, campuran pasta semen yang masih diizinkan oleh SNI 15-2049-2004 untuk waktu ikat awal dan waktu ikat akhir terdapat pada proporsi campuran dengan prosentase 90% Pc : 10% Asp : (0%, 15%, 20%) Sm, 85% Pc : 15% Asp : (0%, 15%) Sm, 85% Pc : 15% Sm : (0%, 10%) Asp dan 80% Pc : 20% Sm : 0% Asp.

### 5.2 Saran

1. Perlu adanya pengembangan variasi sifat campuran dengan menyederhanakan variable rencana prosentase campuran.
2. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan bahan material abu sekam padi dan serbuk marmer dengan lolos saringan 200.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andhi dan Prastyoko. 2007. *Abu Sekam Padi sebagai Sumber Silika pada Sintesis Zeolit ZSM-5 Tanpa Menggunakan Templat Organik*. Akta Kimindo vol.3. no.1.
- Anggraini Retno. Dkk. 2013. *Pengaruh Variasi Penambahan Bottom Ash Dalam Pasta Semen terhadap Waktu Pengikatan Awal dan Akhir*. Rekayasa Sipil Vol. 7. no. 1.
- Bakri. 2008. *Komponen Kimia dan Fisik Abu Sekam Padi sebagai SCM untuk Pembuatan Komposit Semen*. Jurnal Perennial Vol. 5. no. 1.
- C., Khairul Lakum. 2009. *Pemanfaatan Abu Sekam Padi sebagai Campuran untuk Peningkatan Kekuatan Beton*. Skripsi. Departemen Fisika Universitas Sumatera Utara Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Medan.
- Handayani. Dkk. 2014. *Pemanfaatan Limbah Serbuk Marmer pada Beton sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen dengan Variasi Penggunaan Silica Fume*. Teknologi Dan Kejuruan Vol. 37. no.2.
- Istiqomah dan Shanti Kurnia. 2013. *Pengaruh Limbah Marmer sebagai Bahan Pengisi pada Beton (175S)*. Konferensi Nasional Teknik Sipil Vol. 7
- Kencanawati, Ni Nyoman dan I Nyoman Merdana. 2012. *Penggunaan Pozolan Alami (Abu Sekam Padi) dan Pozolan Buatan (Silika Fume) pada Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi*. Rekayasa Vol. 13. no.1.
- Lubis. Loly Siti Khadijah. 2004. *Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi sebagai Material Pengganti Semen terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton*. Skripsi. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Universitas Sumatera Utara Fakultas Teknik Medan.
- Nauk. Dkk. 2012. *Penggunaan Limbah Batu Marmer dari Gunung Batu Naitapan Kabupaten Timor Tengah Selatan sebagai Alternatif Pengganti Agregat pada Campuran Beton*. Jurnal Teknik Sipil Vol. 1. no. 4
- Raharja. Dkk. 2013. *Pengaruh Pemanfaatan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Kinerja Tinggi*. Matriks Teknik Sipil Vol. 1. no.4.
- Setiawan, Dedi Budi. 2012. *Pemanfaatan Beton Ringan dari Agregat Pumice dengan Penambahan Abu Sekam Padi sebagai Pengganti Beton Biasa untuk Struktur Bangunan*. Wahana Teknik Sipil Vol.17. no.2.
- SNI 15-2049-2004. 2004. *Semen Portland*. Jakarta.
- SNI 15-3758-2004. 2004. *Semen Masonry*. Jakarta.
- Utami, Sri. 2010. *Pemanfaatan Limbah Marmer untuk Pembuatan Paving Stone*. Neutron vol.10. no.2.



# LAMPIRAN

## LAMPIRAN A

## HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN PASTA UMUR PERAWATAN 7 HARI

Semen 90%, abu sekam 10%, serbuk marmer 0%			
No	P	A	Mpa
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
1	48200	2500	19.28
2	49970	2500	19.988
3	48680	2500	19.472
4	49610	2500	19.844
5	49270	2500	19.708

Semen 90%, abu sekam 10%, serbuk marmer 15%			
No	P	A	Mpa
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
6	54260	2500	21.704
7	56320	2500	22.528
8	60540	2500	24.216
9	59470	2500	23.788
10	59860	2500	23.944

Semen 90%, abu sekam 10%, serbuk marmer 20%			
No	P	A	Mpa
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
11	68390	2500	27.356
12	67340	2500	26.936
13	65330	2500	26.132
14	71930	2500	28.772
15	75180	2500	30.072

<b>Semen 90%, abu sekam 10%, serbuk marmer 25%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
16	64520	2500	25.808
17	61910	2500	24.764
18	63280	2500	25.312
19	62890	2500	25.156
20	63550	2500	25.42

<b>Semen 85%, abu sekam 15%, serbuk marmer 0%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
21	63280	2500	25.312
22	64460	2500	25.784
23	67930	2500	27.172
24	65430	2500	26.172
25	66690	2500	26.676

<b>Semen 85%, abu sekam 15%, serbuk marmer 15%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
26	71440	2500	28.576
27	61190	2500	24.476
28	65820	2500	26.328
29	68310	2500	27.324
30	68560	2500	27.424

<b>Semen 85%, abu sekam 15%, serbuk marmer 20%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
31	66550	2500	26.62
32	71990	2500	28.796
33	71780	2500	28.712
34	68610	2500	27.444
35	71610	2500	28.644

<b>Semen 85%, abu sekam 15%, serbuk marmer 25%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
36	58500	2500	23.4
37	73470	2500	29.388
38	63580	2500	25.432
39	69380	2500	27.752
40	67420	2500	26.968

<b>Semen 85%, serbuk marmer 15%, abu sekam padi 0%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
41	54800	2500	21.92
42	52360	2500	20.944
43	47830	2500	19.132
44	53540	2500	21.416
45	44890	2500	17.956

<b>Semen 85%, serbuk marmer 15%, abu sekam padi 10%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
46	54610	2500	21.844
47	50690	2500	20.276
48	53730	2500	21.492
49	55690	2500	22.276
50	58830	2500	23.532

<b>Semen 85%, serbuk marmer 15%, abu sekam padi 15%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
51	64500	2500	25.8
52	60490	2500	24.196
53	63530	2500	25.412
54	62460	2500	24.984
55	64000	2500	25.6

<b>Semen 80%, serbuk marmer 20%, abu sekam padi 0%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
56	38090	2500	15.236
57	40730	2500	16.292
58	39060	2500	15.624
59	42730	2500	17.092
60	43870	2500	17.548

<b>Semen 80%, serbuk marmer 20%, abu sekam padi 10%</b>			
No	P	A	Mpa
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
61	51530	2500	20.612
62	52660	2500	21.064
63	52490	2500	20.996
64	51740	2500	20.696
65	52150	2500	20.86

<b>Semen 80%, serbuk marmer 20%, abu sekam padi 15%</b>			
No	P	A	Mpa
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
66	63540	2500	25.416
67	50360	2500	20.144
68	55860	2500	22.344
69	58170	2500	23.268
70	57140	2500	22.856

<b>Semen 75%, serbuk marmer 25%, abu sekam padi 0%</b>			
No	P	A	Mpa
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
71	40410	2500	16.164
72	40460	2500	16.184
73	40560	2500	16.224
74	40670	2500	16.268
75	40470	2500	16.188

<b>Semen 75%, serbuk marmer 25%, abu sekam padi 10%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
76	40990	2500	16.396
77	47080	2500	18.832
78	44210	2500	17.684
79	43140	2500	17.256
80	45050	2500	18.02

<b>Semen 75%, serbuk marmer 25%, abu sekam padi 15%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
81	56560	2500	22.624
82	56520	2500	22.608
83	58670	2500	23.468
84	62190	2500	24.876
85	58180	2500	23.272

<b>Semen 100%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
p1	62330	2500	24.932
p2	67780	2500	27.112
p3	64200	2500	25.68
p4	61580	2500	24.632
p5	66020	2500	26.408

**LAMPIRAN B****HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN PASTA UMUR PERAWATAN 28 HARI**

<b>Semen 90%, abu sekam 10%, serbuk marmer 0%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
1	86600	2500	34.64
2	89370	2500	35.748
3	82520	2500	33.008
4	85280	2500	34.112
5	87050	2500	34.82

<b>Semen 90%, abu sekam 10%, serbuk marmer 15%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
6	90160	2500	36.064
7	85550	2500	34.22
8	88540	2500	35.416
9	87160	2500	34.864
10	89010	2500	35.604

<b>Semen 90%, abu sekam 10%, serbuk marmer 20%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
11	97960	2500	39.184
12	99960	2500	39.984
13	102260	2500	40.904
14	98660	2500	39.464
15	101460	2500	40.584

<b>Semen 90%, abu sekam 10%, serbuk marmer 25%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
16	63110	2500	25.244
17	68090	2500	27.236
18	62390	2500	24.956
19	65730	2500	26.292
20	63330	2500	25.332

<b>Semen 85%, abu sekam 15%, serbuk marmer 0%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
21	85130	2500	34.052
22	86630	2500	34.652
23	88580	2500	35.432
24	88280	2500	35.312
25	85280	2500	34.112

<b>Semen 85%, abu sekam 15%, serbuk marmer 15%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
26	87890	2500	35.156
27	78410	2500	31.364
28	81190	2500	32.476
29	79780	2500	31.912
30	82550	2500	33.02

<b>Semen 85%, abu sekam 15%, serbuk marmer 20%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
31	80440	2500	32.176
32	76710	2500	30.684
33	79150	2500	31.66
34	78230	2500	31.292
35	79300	2500	31.72

<b>Semen 85%, abu sekam 15%, serbuk marmer 25%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
36	73940	2500	29.576
37	71410	2500	28.564
38	72940	2500	29.176
39	72410	2500	28.964
40	73120	2500	29.248

<b>Semen 85%, serbuk marmer 15%, abu sekam padi 0%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
41	67210	2500	26.884
42	64750	2500	25.9
43	65780	2500	26.312
44	65530	2500	26.212
45	66300	2500	26.52

<b>Semen 85%, serbuk marmer 15%, abu sekam padi 10%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
46	73230	2500	29.292
47	71050	2500	28.42
48	76380	2500	30.552
49	74560	2500	29.824
50	72610	2500	29.044

<b>Semen 85%, serbuk marmer 15%, abu sekam padi 15%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
51	70680	2500	28.272
52	70140	2500	28.056
53	66970	2500	26.788
54	68810	2500	27.524
55	69720	2500	27.888

<b>Semen 80%, serbuk marmer 20%, abu sekam padi 0%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
56	50050	2500	20.02
57	47280	2500	18.912
58	47550	2500	19.02
59	49720	2500	19.888
60	46870	2500	18.748

<b>Semen 80%, serbuk marmer 20%, abu sekam padi 10%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
61	58510	2500	23.404
62	57110	2500	22.844
63	63620	2500	25.448
64	59210	2500	23.684
65	60280	2500	24.112

<b>Semen 80%, serbuk marmer 20%, abu sekam padi 15%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
66	58860	2500	23.544
67	61710	2500	24.684
68	61020	2500	24.408
69	59220	2500	23.688
70	61840	2500	24.736

<b>Semen 75%, serbuk marmer 25%, abu sekam padi 0%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
71	53280	2500	21.312
72	46060	2500	18.424
73	52930	2500	21.172
74	48380	2500	19.352
75	53130	2500	21.252

<b>Semen 75%, serbuk marmer 25%, abu sekam padi 10%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
76	61690	2500	24.676
77	60370	2500	24.148
78	66690	2500	26.676
79	62560	2500	25.024
80	63270	2500	25.308

<b>Semen 75%, serbuk marmer 25%, abu sekam padi 15%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
81	63110	2500	25.244
82	64460	2500	25.784
83	61550	2500	24.62
84	62920	2500	25.168
85	63160	2500	25.264

<b>Semen 100%</b>			
<b>No</b>	<b>P</b>	<b>A</b>	<b>Mpa</b>
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	
p1	83510	2500	33.404
p2	88990	2500	35.596
p3	85620	2500	34.248
p4	86370	2500	34.548
p5	85710	2500	34.284

## LAMPIRAN C

HASIL PENGUJIAN *SETTING TIME* (VICAT)

Semen 90%	Abu Sekam 10%	Marmar 0%	Semen 90%	Abu Sekam 10%	Marmar 15%
Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation	Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation
45	4		45	4	
60	4		60	4	
75	4		75	4	
90	4		90	4	
105	4		105	4	
120	4	1.727232854	120	4	1.683833162
135	4		135	3.5	
150	4		150	2.8	
165	4		165	2.6	
180	4		180	1.5	
195	4		195	1.2	
210	4		210	0.7	
225	3.2		225	0.5	
240	2.3		240	0.4	
255	0.9		255	0.3	
270	0.6		270	0.2	
285	0.4		285	0.1	
300	0.3		300	0	
315	0.2				
330	0.1				
345	0				

Semen 90%	Abu Sekam 10%	Marmar 20%	Semen 90%	Abu Sekam 10%	Marmar 25%
Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation	Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation
45	4		45	4	
60	4		60	4	
75	4		75	4	
90	4		90	4	
105	4		105	3.5	
120	3.6	1.684042755	120	2.7	1.797135768
135	3.2		135	1.1	
150	2.9		150	0.5	
165	2		165	0.3	
180	1.2		180	0.2	
195	0.7		195	0.1	
210	0.3		210	0	
225	0.2				
240	0.1				
255	0				

Semen 85%	Abu Sekam 15%	Marmer 0%	Semen 85%	Abu Sekam 15%	Marmer 15%
Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation	Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation
45	4		45	4	
60	4		60	4	
75	4		75	4	
90	4		90	4	
105	4		105	4	
120	4	1.775375547	120	4	1.726874413
135	3.8		135	3.5	
150	3.6		150	2.8	
165	3.2		165	1.7	
180	1.2		180	0.9	
195	0.8		195	0.8	
210	0.5		210	0.4	
225	0.3		225	0.2	
240	0.2		240	0.1	
255	0.1		255	0	
270	0				

Semen 85%	Abu Sekam 15%	Marmer 20%	Semen 85%	Abu Sekam 15%	Marmer 25%
Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation	Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation
45	4		45	4	
60	4		60	4	
75	4		75	4	
90	4		90	3.9	
105	3.7		105	2.7	
120	3	1.768645261	120	2.2	1.708109002
135	2.3		135	1.7	
150	0.9		150	0.5	
165	0.3		165	0.2	
180	0.2		180	0.1	
195	0.1		195	0	
210	0				

Semen 85%	Marmar 15%	Abu sekam 0%	Semen 85%	Marmar 15%	Abu sekam 10%
Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation	Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation
45	4		45	4	
60	4		60	4	
75	4		75	4	
90	4		90	4	
105	4		105	4	
120	3.6		120	4	
135	2.8	1.658644911	120	3.4	
150	2.5		135	2.8	1.70738538
165	1.7		150	1.8	
180	1.3		165	1.2	
195	0.8		180	0.7	
210	0.5		195	0.4	
225	0.4		210	0.2	
240	0.3		225	0.1	
255	0.2		240	0	
270	0.1				
285	0				

Semen 85%	Marmar 15%	Abu sekam 15%
Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation
45	4	
60	4	
75	4	
90	3.6	
105	3.3	
120	2.7	
135	1.7	1.637579515
150	1.1	
165	0.8	
180	0.5	
195	0.2	
210	0.1	
225	0	

Semen 80%	Marmar 20%	Abu sekam 0%
Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation
45	4	
60	4	
75	4	
90	4	
105	3.4	
120	3	
135	2.6	1.638295147
150	2.2	
165	1.4	
180	0.7	
195	0.3	
210	0.2	
225	0.1	
240	0	

Semen 80%	Marmar 20%	Abu sekam 10%
Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation
45	4	
60	4	
75	4	
90	3.7	
105	3.1	
120	2.5	1.757736147
135	0.9	
150	0.4	
165	0.2	
180	0.1	
195	0	

Semen 80%	Marmar 20%	Abu sekam 15%
Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation
45	4	
60	4	
75	3.8	
90	2.9	
105	2.3	
120	0.8	1.715420259
135	0.5	
150	0.2	
165	0.1	
180	0	

Semen 100%			Semen 75%	Marmar 25%	Abu sekam 0%
Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation	Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation
45	4		45	4	
60	4		60	4	
75	4		75	3.9	
90	4		90	3.2	
105	4		105	2.7	
120	4		120	1.9	1.637325054
135	4		135	1.1	
150	4		150	0.7	
165	4	1.637810808	165	0.3	
180	4		180	0.2	
195	3.8		195	0.1	
210	3.4		210	0	
225	2.5				
240	2				
255	1.5				
270	1.1				
285	0.8				
300	0.6				
315	0.4				
330	0.2				
345	0.1				
360	0				

Semen 75%	Marmar 25%	Abu sekam 10%	Semen 75%	Marmar 25%	Abu sekam 15%
Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation	Waktu (menit)	kedalaman jarum (cm)	deviation
45	4		45	4	
60	4		60	3.9	
75	3.7		75	3.6	
90	3.4		90	2.9	
105	2.5		105	2.2	1.643201482
120	1.7	1.658781347	120	1.2	
135	0.8		135	0.6	
150	0.4		150	0.2	
165	0.1		165	0.1	
180	0		180	0	

LAMPIRAN D

DOKUMENTASI



Gambar 1. Batu Marmer



Gambar 4. Mild Limbah Marmer



Gambar 2 dan 3. Proses Pemotongan



Gambar 5 dan 6. Pembuatan benda uji



Gambar 7. Benda uji



Gambar 9. Benda uji sewaktu uji tekan



Gambar 8. Benda uji sebelum uji tekan



Gambar 10. Uji vicat



Gambar 11. Uji Vicat



Gambar 13. Benda uji hasil pengujian vicat



Gambar 12. Benda uji hasil pengujian vicat