



**PENGARUH PENGGUNAAN ABU TERBANG (*FLY ASH*)
TERHADAP KUAT TEKAN DAN SERAPAN AIR
PADA MORTAR**

SKRIPSI

Untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan
Pada Universitas Negeri Semarang

Oleh:

A N D O Y O

5101401020

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

2006

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini disetujui oleh pembimbing untuk untuk diajukan ke Sidang Panitia Ujian
Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 29 Maret 2006

Pembimbing I

Pembimbing II

Drs. Hery Suroso, S. T, M. T
NIP. 132068585

Drs. Gunadi, M. T
NIP. 130870430

PENGESAHAN KELULUSAN

Skripsi dengan judul Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (*Fly Ash*) terhadap Kuat Tekan dan Serapan Air pada Mortar, oleh:

Nama : Andoyo
NIM : 5101401020

Telah dipertahankan di hadapan Sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada:

Hari : Kamis
Tanggal : 13 April 2006

Ketua

Sekretaris

Drs. Lashari, M. T
NIP. 131471402

Drs. Supriyono
NIP. 1315751560

Pembimbing I

Anggota Penguji

Drs. Hery Suroso, S. T, M. T
NIP. 132068585

1. **Drs. Bambang Dewasa**
NIP. 130515759

Pembimbing II

Drs. Gunadi, M. T
NIP. 130870430

2. **Drs. Hery Suroso, S. T, M. T**
NIP. 132068585

3. **Drs. Gunadi, M. T**
NIP. 130870430

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Negeri Semarang

Prof. Dr. Soesanto
NIP. 130875753

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa yang tertulis dalam skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan dari karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah

Semarang, 29 Maret 2006

Andoyo

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

1. Jadikanlah setiap desah nafas dan langkahku dalam kehidupan sebagai ibadah yang terindah kepada Allah, ingin selalu kuniatkan segalanya karena Dia.
2. Kuingin dalam setiap kehidupanku, keberadaanku tidak menjadi beban bagi siapapun. Cukupilah beban itu kusandarkan pada Dia, kekasihku tercinta.
3. Dan kuingin, Allah ciptakan keberadaanku di muka bumi ini sebagai berkah, manfaat dan sebagai pembawa kebaikan di semesta ini.
4. Ya Robbi, kabulkan tiga permintaanku itu.

(Penulis)

Persembahan:

Skripsi ini kupersembahkan untuk:

1. Ayah ibuku tercinta
2. Kakakku Widodo (mbak Mini), mbak Narti (Kak Iif Syrarifulloh) dan Mbak Pri (Mas Ahmad Maulana) dan adikku Wandono tercinta.
3. Eyang putriku dan keponakanku Reyhan, Reno, Mikka, Aleycia dan Jidan (almarhum) yang selalu membuatku tersenyum.
4. Orang yang selalu mengisi relung hatiku dengan doa, kesyukuran dan inspirasi dalam kehidupanku.
5. Anak-anakku di TPQ Istiqomah, kalian selalu membuatku ceria.
6. Semua orang yang telah mengkritik, mendidik dan membantu dalam kehidupanku.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya haturkan kepada Allah SWT atas segala keberkahan dan kenikmatan yang telah Dia berikan kepada seluruh hamba dan makhluk ciptaan-Nya di semesta ini. Sungguh satu nikmat yang tak terkira dengan selesainya skripsi ini.

Skripsi dengan judul "**PENGARUH PENGGUNAAN ABU TERBANG (*FLY ASH*) TERHADAP KUAT TEKAN DAN SERAPAN AIR PADA MORTAR**" saya harapkan dapat menjadi sumbangsih saya bagi masyarakat yang bukan hanya sekedar sebagai hasil penelitian, tapi keberadaannya benar-benar dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari.

Saya ucapkan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu selesainya skripsi ini, yaitu kepada:

1. Ayah dan ibu tercinta yang telah dengan susah payah mengusahakan biaya kuliah saya.
2. Bapak Dr. H. A. T. Soegito, M. M, selaku Rektor Universitas Negeri Semarang.
3. Bapak Prof. Dr. Soesanto, M. Pd, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
4. Bapak Drs. Lashari, M. T, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.
5. Bapak Drs. Supriyono, selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan Universitas Negeri Semarang.

6. Bapak Drs. Heri Suroso, S. T, M. T, selaku Pembimbing I. Saya ucapkan terimakasih atas bimbingan yang diberikan.
7. Bapak Drs. Gunadi, M. T, selaku Pembimbing II. Saya ucapkan terimakasih atas bimbingan dan kritik yang diberikan selama ini.
8. Kepada semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan dan telah membantu selesainya skripsi ini, saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Akhir kata, saya berharap keberadaan skripsi ini akan menjadi cambuk bagi pembaca yang budiman untuk mengembangkan penelitian yang lebih bermanfaat. Kritik dan saran sangat saya harapkan demi kemajuan kita bersama.

Mohon maaf jika terdapat kesalahan yang saya lakukan.

Semarang, Akhir Maret 2006

Penulis

SARI

Andoyo. 2006. Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (*Fly Ash*) terhadap Kuat Tekan dan Serapan Air pada Mortar. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Pembimbing: Drs. Hery Suroso, S.T, M.T dan Drs. Gunadi, M. T.

Kata kunci: Mortar, abu terbang, kuat tekan dan serapan air

Mortar atau spesi merupakan salah satu bahan bangunan yang berfungsi untuk merekatkan pasangan batu bata, batako, plesteran dan sebagainya. Selama ini mortar masih menggunakan semen portland dan kapur sebagai bahan ikat utama yang harganya cukup mahal. Pada sisi lain penggunaan mortar tidak memerlukan persyaratan yang terlalu tinggi. Oleh karena itu diperlukan alternatif bahan ikat lain yang memiliki harga lebih murah dan diprediksikan dapat meningkatkan kuat tekan mortar. Bahan ikat alternatif yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah sisa pembakaran batu bara, yaitu abu terbang.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah prosentase abu terbang yang digunakan dalam mortar. Sedangkan variabel terikatnya adalah kuat tekan dan serapan air pada mortar. Penelitian menggunakan komposisi campuran dengan perbandingan berat bahan susun mortar yang terdiri dari semen portland (PC), abu terbang (AT), kapur (KP) dan pasir (PS). Perbandingan komposisi campuran yang dipakai adalah dengan prosentase abu terbang terhadap berat semen. Perbandingan tersebut adalah dengan komposisi abu terbang sebesar 0% (1PC : 0AT : 1KP : 8PS), komposisi abu terbang sebesar 10% (0,9PC : 0,1AT : 1KP : 8PS), komposisi abu terbang sebesar 20% (0,8PC : 0,2AT : 1KP : 8PS), komposisi abu terbang sebesar 30% (0,7PC : 0,3AT : 1KP : 8PS) dan komposisi abu terbang sebesar 40% (0,6PC : 0,4AT : 1KP : 8PS). Sampel yang diuji kuat tekan dan serapan airnya adalah sampel berbentuk kubus dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan didapatkan hasil bahwa penambahan abu terbang dengan prosentase tertentu dari berat semen ternyata dapat meningkatkan kuat tekan mortar. Peningkatan kuat tekan terjadi pada prosentase abu terbang sebesar 10% dengan kuat tekan pada umur 56 hari sebesar 100,72 kg/cm² dan proyeksi kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari (f_c') = 66,69 kg/cm², pada prosentase abu terbang sebesar 20% dengan kuat tekan pada umur 56 hari sebesar 93,96 kg/cm² dan proyeksi kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari (f_c') = 62,16 kg/cm², pada prosentase abu terbang sebesar 30% dengan kuat tekan pada umur 56 hari sebesar 83,41 kg/cm² dan proyeksi kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari (f_c') = 55,17 kg/cm² dan pada prosentase abu terbang sebesar 40% dengan kuat tekan pada umur 56 hari sebesar 70,12 kg/cm² dan proyeksi kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari (f_c') = 46,42 kg/cm². Sedangkan pada mortar dengan kadar abu terbang 0% didapatkan kuat tekan pada umur 56 hari sebesar 59,89 kg/cm² dan proyeksi kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari (f_c') = 42,34kg/cm².

Penambahan abu terbang pada bahan ikat semen portland dan kapur juga membuat mortar menjadi lebih kedap air karena nilai serapan air mortar menjadi semakin rendah. Serapan air pada mortar dengan abu terbang 0% adalah sebesar 12,912%, pada prosentase 10% sebesar 12,119%, pada prosentase 20% sebesar 11,868%, pada prosentase 30% sebesar 9,31% dan pada prosentase abu terbang sebesar 40% nilai serapan airnya adalah 10,886%. Serapan air yang terjadi pada mortar masih memenuhi syarat yang ditetapkan oleh PUBLI-1982.

Dari penelitian tersebut dapat diketahui bahwa abu terbang selain sebagai bahan pengikat alternatif juga dapat menjadi bahan pengisi (*filler*). Sebagai bahan pengikat, keberadaan abu terbang dapat meningkatkan kuat tekan mortar sedangkan sebagai bahan pengisi abu terbang dapat mengurangi serapan air pada mortar. Oleh karena itu, jika akan membuat mortar dengan bahan ikat semen portland dan kapur dapat ditambahkan abu terbang sebagai bahan yang mengurangi jumlah semen tapi mampu meningkatkan kuat tekan dan mengurangi serapan air pada mortar.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN KELULUSAN	iii
PERNYATAAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
SARI	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Permasalahan	4
C. Tujuan	4
D. Manfaat	4
E. Sistematika Skripsi	5
BAB II LANDASAN TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA	7
A. Landasan Teori	7
1. Mortar	7
2. Semen Portland	8
3. Kapur	11
4. Agregat Halus (Pasir)	14

5. Air	17
6. Abu Terbang (<i>Fly ash</i>)	18
7. Pengujian Mortar	22
B. Kajian Pustaka	24
1. Mortar dengan berbagai variasi bahan dan campuran	24
2. Semen Pozolan Kapur dan Semen Pozolan	27
C. Kerangka Berpikir	32
D. Hipotesis	34
BAB III METODE PENELITIAN	35
A. Populasi	35
B. Sampel	36
C. Bahan Susun Mortar	36
D. Variabel Penelitian	37
E. Metode Pengumpulan Data	38
F. Tahapan dan Prosedur Penelitian	39
G. Peralatan Penelitian	40
H. Pemeriksaan dan Pengujian Bahan Susun Mortar	41
I. Tahap Perancangan Adukan	47
J. Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Mortar	49
K. Pengujian Mortar	50
L. Analisis Data Hasil Penelitian	51
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	52
A. Hasil Penelitian Bahan Susun Mortar dan Pembahasan	52

1. Air	52
2. Semen Portland	52
3. Pasir	52
4. Abu Terbang	54
5. Kapur	55
B. Hasil Uji Sebar Mortar dan Pembahasan	56
1. Hasil Uji Kuat Tekan Mortar dan Pembahasan	57
2. Hasil Uji Serapan Air dan Pembahasan	60
BAB V PENUTUP	65
A. Simpulan	65
B. Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Komposisi kimia kapur	12
Tabel 2.2 Syarat-syarat mutu kapur tohor dalam SK SNI S-04-1989-F (1989: 17)	14
Tabel 2.3. Gradasi agregat halus untuk adukan/mortar (SNI 03-6820-2002 (2002: 172)	16
Tabel 2.4. Komposisi kimia berbagai jenis abu terbang dan semen portland	20
Tabel 2.5. Susunan kimia dan sifat fisik abu terbang	21
Tabel 2.6. Komposisi kimia abu terbang PT. Tjiwi Kimia Putra	21
Tabel 2.7. Syarat kuat tekan PC	28
Tabel 2.8. Syarat kuat tekan PPC	29
Tabel 4.1. Diameter uji sebar mortar	56
Tabel 4.2. Kuat tekan mortar dengan bahan tambah abu terbang	57
Tabel 4.3. Serapan air pada mortar dengan bahan tambah abu terbang.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Gradasi agregat halus (pasir) untuk adukan menurut (SNI 03-6820-2002 (2002: 172).....	16
Gambar 2.2 Benda uji kubus untuk uji kuat tekan mortar	24
Gambar 2.3. Hubungan antara kuat tekan dan komposisi campuran Portland Cement : Pasir	25
Gambar 2.4. Kenaikan kuat tekan beton dengan jenis semen biasa dan semen abu terbang terhadap umur beton	26
Gambar 2.5. Kenaikan kuat tekan beton dengan bahan ikat abu terbang dibanding bahan ikat semen biasa terhadap umur beton	26
Gambar 2.6. Grafik perbandingan kuat tekan semen dengan standar SII terhadap umur perendaman	27
Gambar 4.1. Grafik Uji Gradasi Pasir Muntilan	53
Gambar 4.2. Grafik hubungan kuat tekan dengan komposisi campuran	58
Gambar 4.3. Proyeksi kuat tekan karakteristik mortar pada umur 28 hari	58
Gambar 4.4. Hubungan serapan air dengan prosentase abu terbang	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pemeriksaan Kadar Lumpur Pasir	71
Lampiran 2. Pemeriksaan Berat Jenis Abu Terbang	72
Lampiran 3. Pemeriksaan Berat Jenis Kapur	73
Lampiran 4. Pemeriksaan Berat Jenis Pasir Muntilan	74
Lampiran 5. Pemeriksaan Uji Sebar Mortar	75
Lampiran 6. Pemeriksaan Gradasi Pasir Muntilan	76
Lampiran 7. Pemeriksaan Kuat Tekan Mortar	77
Lampiran 8. Pemeriksaan Serapan Air Mortar	80
Lampiran 9. Perhitungan Kebutuhan Bahan Susun Mortar untuk Setiap Variasi Campuran	82
Lampiran 10. Analisis Komposisi Kimia Abu Terbang	87
Lampiran 11. Menghitung Nilai Modulus Hidrolis Bahan Ikat	88
Lampiran 12. Surat Keterangan Pengujian Laboratorium	89

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Dalam ilmu bahan bangunan ada beberapa jenis bahan yang dikategorikan sebagai bahan ikat dalam adukan, di antaranya adalah semen, kapur, pozolan dan beberapa bahan ikat lainnya (Moerdwiyono, 1998: 2). Tiap-tiap bahan ikat tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, akan tetapi penggunaan bahan ikat semen portland masih menjadi pilihan utama dibandingkan penggunaan bahan ikat lainnya.

Penggunaan bahan ikat di Indonesia pada konstruksi sederhana secara umum masih menggunakan semen portland. Hal ini merupakan pemborosan baik dari segi biaya maupun teknis. Semen portland merupakan jenis semen yang harganya relatif mahal apabila digunakan pada konstruksi-konstruksi yang memerlukan persyaratan yang sederhana. Pada konstruksi sederhana, persyaratan yang diperlukan tidak terlalu tinggi sehingga semen jenis lain yang memiliki harga rendah dapat digunakan sebagai substitusi atau sekurang-kurangnya dapat meminimalkan penggunaan semen portland, begitu juga dengan pembuatan bahan-bahan lain turunan semen yang digunakan sebagai komponen konstruksi sederhana seperti mortar.

Harga-harga bahan bangunan yang semakin lama semakin mahal terutama semen portland tentu akan berpengaruh terhadap kualitas bangunan. Dampak kenaikan harga semen tersebut adalah penggunaan semen yang saat ini

dusahakan seminimal mungkin atau bahkan dikurangi dari ukuran yang seharusnya. Hal ini dipengaruhi oleh naiknya harga semen yang tidak dapat diimbangi oleh kemampuan daya beli masyarakat. Pengurangan semen akan berdampak pada penurunan kualitas bangunan yang pada akhirnya akan membahayakan masyarakat itu sendiri, misalnya pada penggunaan bahan mortar dan juga beton yang merupakan salah satu bahan bahan yang saat ini biasa digunakan oleh masyarakat Indonesia. Penggunaan mortar adalah untuk merekatkan pasangan bata, batako, sebagai bahan plesteran dan juga bahan lainnya.

Masyarakat masih sering menggunakan semen portland sebagai bahan pengikat utama dalam pembuatan mortar. Penggunaan bahan pengikat lain terkadang ditambahkan di dalam pembuatan mortar. Salah satunya adalah dengan penambahan kapur yang berfungsi sebagai bahan ikat mortar yang mengurangi jumlah semen dan menaikkan kuat tekan mortar. Oleh karena itu perlu dicoba bahan tambah lain yang fungsinya hampir sama dengan kapur dan semen portland yang berfungsi sebagai bahan pengikat yang mengurangi penggunaan semen portland. Perlu diupayakan agar ketergantungan terhadap penggunaan semen portland bisa dikurangi.

Guna meminimalkan penggunaan semen portland dalam konstruksi sederhana dan memaksimalkan penggunaan material alam secara langsung maka pemakaian semen jenis lain perlu dicoba, antara lain adalah Semen Pozolan Kapur (SPK). Salah satu alternatif pemecahan permasalahan di atas adalah dengan penggunaan limbah abu terbang (*fly ash*) dan penggunaan kapur sebagai bahan

tambah atau pengganti semen yang dapat mengurangi ketergantungan pemakaian semen portland dalam campuran mortar/spesi.

Pemikiran tentang penggunaan abu terbang dan juga kapur cukup beralasan karena bahan penyusun semen portland adalah 60% sampai 65% terdiri atas kapur atau CaO (Wuryati dan Candra, 2001: 1), ini berarti ada kemungkinan untuk mencoba penggunaan kapur sebagai bahan ikat dan memadukannya dengan abu terbang. Penggunaan kapur dan abu terbang adalah dalam rangka mengurangi penggunaan semen portland.

Pemakaian abu terbang sebagai bahan substitusi didasarkan atas beberapa alasan. Abu terbang merupakan limbah industri dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan limbah bahan bakar mesin-mesin pabrik. Indonesia memiliki dua PLTU dengan bahan bakar batubara yang setiap tahunnya menghasilkan banyak sekali limbah abu terbang. Pertama, PLTU di Suralaya menghasilkan limbah abu terbang sebanyak 700.000 ton/tahun dan kedua, adalah PLTU di Paiton Jawa Timur dengan produksi abu terbang mencapai 1.000.000 ton/tahun. Selain dua PLTU di atas, masih ada beberapa industri yang menggunakan bahan bakar batubara yang menghasilkan limbah abu terbang, contohnya PT. Tjiwi Kimia Putra (Sudjarmiko Nugroho; 2005). Melihat begitu banyaknya limbah yang dihasilkan, maka masalah yang timbul adalah bagaimana memanfaatkan limbah tersebut agar tidak mencemari lingkungan dan bila perlu limbah tersebut menjadi sesuatu yang bernilai ekonomis.

Atas dasar pertimbangan di atas, maka akan dilakukan penelitian mengenai mortar dengan bahan ikat semen portland, kapur dan abu terbang dengan

komposisi yang bervariasi dan dari penelitian tersebut diharapkan didapat campuran yang menghasilkan kuat tekan optimum dan serapan airnya juga kecil dengan bahan ikat yang berbeda.

B. Permasalahan

Beberapa permasalahan yang dapat ditarik adalah:

1. Adakah pengaruh penggunaan abu terbang, semen portland, dan kapur terhadap kuat tekan mortar?
2. Adakah pengaruh penggunaan abu terbang, semen portland, dan kapur terhadap serapan air pada mortar?

C. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penggunaan abu terbang, semen portland dan kapur terhadap kuat tekan pada mortar.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan abu terbang, semen portland dan kapur terhadap serapan air pada mortar.

D. Manfaat

Dari penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat:

1. Dapat diketahui pengaruh dari penggunaan bahan ikat semen portland, abu terbang dan semen terhadap kuat tekan dan serapan air pada mortar.

2. Diketahui proporsi campuran penggunaan abu terbang terhadap berat semen dan kapur dengan kuat tekan yang optimal dan dengan serapan air yang minimal.
3. Penelitian mengenai penggunaan abu terbang sebagai bahan tambah atau bahan ikat akan membantu mengurangi limbah sehingga berkontribusi terhadap pemeliharaan lingkungan.
4. Penggunaan limbah abu terbang akan meningkatkan nilai ekonomi limbah tersebut sehingga akan menjadi penghasilan tambahan bagi daerah penghasil limbah tersebut.
5. Data dari penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan di dalam penentuan proporsi penggunaan abu terbang bagi industri mortar.
6. Dari hasil penelitian diharapkan dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari, yaitu penggunaan limbah sebagai bahan bangunan yang dapat mengurangi penggunaan semen portland yang harganya mahal.

E. Sistematika Skripsi

Urutan pokok permasalahan dan pembahasan yang akan diuraikan dalam skripsi ini adalah:

- **BAB I : PENDAHULUAN**

Dalam bab ini, penulis menguraikan latar belakang masalah, permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan masalah sistematika skripsi.

- BAB II : LANDASAN TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan dibahas mengenai landasan teori, kajian pustaka, kerangka berpikir dan hipotesis. Bab ini akan menjadi dasar dan arahan dalam penentuan arah penelitian yang akan dilakukan.

- BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian dibagi menjadi beberapa bagian dan tahapan, yaitu tahapan bahan dan alat yang digunakan, tahap pelaksanaan penelitian meliputi pemeriksaan bahan yaitu pasir, semen portland, kapur dan abu terbang. Proses selanjutnya adalah pemeriksaan nilai sebar mortar, proses pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian kuat tekan, pengujian serapan air serta analisis pengolahan data.

- BAB IV : PEMBAHASAN

Bab IV berisi tentang pelaksanaan, hasil penelitian, pengolahan data hasil penelitian disertai dengan grafik dan gambar untuk memperjelas kesimpulan. Pada bab ini juga berisi tentang pembahasan data-data hasil penelitian.

- BAB V : PENUTUP

Bab V merupakan bab terakhir atau penutup dari skripsi yang berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan juga saran-saran yang diberikan penulis agar didapat penelitian yang lebih baik di masa yang akan datang.

BAB II

LANDASAN TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Mortar

Mortar atau adukan adalah campuran pasta semen (bahan ikat), pasir dan air yang terletak antara bata, balok dan batuan yang awalnya dibuat dengan semen portland dan kapur (Scott, 1993: 433). Mortar dapat dibedakan menjadi 4 macam, yaitu:

- a. Mortar lumpur, dibuat dari campuran pasir, tanah liat/lumpur dan juga air.
- b. Mortar kapur, dibuat dari campuran pasir, kapur dan air.
- c. Mortar semen, dibuat dari campuran pasir, semen portland dan air dalam perbandingan yang tepat.
- d. Mortar khusus, dibuat dengan menambahkan bahan khusus pada mortar b dan c di atas dengan tujuan tertentu misalnya dengan penambahan serat, bubuk batu api dan sebagainya.

Pada penelitian ini mortar yang dipakai adalah jenis mortar khusus, yakni mortar berbahan ikat semen portland dan kapur dengan bahan tambah abu terbang. Maksud dari penelitian mortar adalah sebagai acuan untuk melakukan penelitian kekuatan mortar kapur dengan abu terbang dalam pekerjaan sipil (pembuatan mortar atau spesi).

Di dalam penggunaannya, mortar harus memenuhi standar untuk digunakan sebagai bahan bangunan. Mortar yang baik harus memenuhi sifat-sifat sebagai berikut:

- a. Murah
- b. Tahan lama (awet) dan tidak mudah rusak oleh pengaruh cuaca
- c. Mudah dikerjakan (diaduk, diangkut, dipasang dan diratakan)
- d. Melekat dengan baik dengan bata, batako, batu dan sebagainya
- e. Cepat kering dan keras
- f. Tahan terhadap rembesan air
- g. Tidak timbul retak-retak setelah dipasang.

2. Semen Portland

Semen portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker terutama dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis (dapat mengeras jika bereaksi dengan air) dengan gips sebagai bahan tambahan (SK SNI S-04-1989, 1989: 1).

Semen merupakan bahan pengikat yang paling terkenal dan paling banyak digunakan dalam proses konstruksi beton. Semen yang umum dipakai adalah semen tipe I dan ketergantungan kepada pemakaian semen jenis ini masih sangat besar. Semen portland jika dilihat dari sisi fungsi masih memiliki kekurangan dan keterbatasan yang pada akhirnya akan mempengaruhi mutu beton.

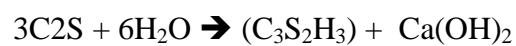
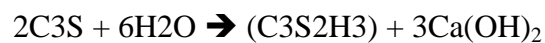
Pada dasarnya semen portland terdiri dari 4 unsur yang paling penting, yaitu:

- a. Trikalsium silikat (C3S) atau $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, sifatnya hampir sama dengan sifat semen yaitu jika ditambahkan air akan menjadi kaku dan dalam beberapa jam saja pasta akan mengeras. C3S menunjang kekuatan awal semen dan menimbulkan panas hidrasi kurang lebih 58 kalori/gram setelah 3 hari.
- b. Dikalsium silikat (C2S) atau $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Pada saat penambahan air setelah reaksi yang menyebabkan pasta mengeras dan menimbulkan panas 12 kalori/gram setelah 3 hari. Pasta akan mengeras, perkembangan kekuatannya stabil dan lambat pada beberapa minggu kemudian mencapai kekuatan tekan akhir hampir sama dengan C3S.
- c. Trikalsium aluminat (C3A) atau $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Unsur ini apabila bereaksi dengan air akan menimbulkan panas hidrasi tinggi yaitu 212 kalori/gram setelah 3 hari. Perkembangan kekuatan terjadi satu sampai dua hari tetapi sangat rendah.
- d. Tetrakalsium aluminoforit (C4AF) atau $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. Unsur ini saat bereaksi dengan air berlangsung sangat cepat dan pasta terbentuk dalam beberapa menit, menimbulkan panas hidrasi 68 kalori/gram. Warna abu-abu pada semen disebabkan oleh unsur ini.

Silikat dan aluminat yang terkandung dalam semen portland jika bereaksi dengan air akan menjadi perekat yang memadat lalu membentuk massa yang keras. Reaksi membentuk media perekat ini disebut dengan hidrasi (Neville, 1977: 10). Reaksi kimia semen bersifat *exothermic* dengan panas

yang dihasilkan mencapai 110 kalori/gram. Akibatnya dari reaksi *exothermic* terjadi perbedaan temperatur yang sangat tajam sehingga mengakibatkan retak-retak kecil (*microcrack*) pada beton.

Proses reaksi kimia semen dengan air sehingga membentuk masa padat ini juga masih belum bisa diketahui secara rinci karena sifatnya yang sangat kompleks. Rumus kimia yang dipergunakan juga masih bersifat perkiraan untuk reaksi kimia dari unsur C2S dan C3S dapat ditulis sebagai berikut;



Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah prosentase empat komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen dengan tujuan pemakainnya. Sesuai dengan tujuan penggunaannya, semen portland di Indonesia dalam SKSNI S-04-1989-F (1989: 3) dapat dibagi menjadi beberapa tipe, yaitu:

a. Tipe I

Semen jenis ini digunakan untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan syarat khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain. Menurut Ratmaya Urip (2002) kadar C3S antara 48 – 52% dan kadar C3A antara 10 – 15%.

b. Tipe II

Semen jenis ini dalam penggunaannya memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang. Kadar C3S sedang, sama besar dengan kadar C3A, yaitu maksimal 8% alkali rendah.

c. Tipe III

Semen jenis ini dalam penggunaannya memerlukan kekuatan yang tinggi pada fase permulaan setelah terjadi pengikatan. Kadar C3S-nya sangat tinggi dan butirannya sangat halus.

d. Tipe IV

Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah, sehingga kadar C3S dan C3A rendah.

e. Tipe V

Semen portland yang dalam penggunaannya hanya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

3. Kapur

Batu kapur (*lime stone*) rumus kimianya CaCO_3 . Kapur kembang juga dinamakan batu kapur tohor atau kapur hidup (*quick lime*) mempunyai rumus CaO . Kapur padam atau kapur yang telah disiram juga disebut kapur mati atau kapu (*slaked lime*) rumus kimianya Ca(OH)_2 (Moerdwiyono, 1998: 5).

Bahan dasar untuk pembuatan kapur adalah batu kapur, kulit kerang, batu pualam dan napal. Batu kapur terbentuk dari kulit kerang dan batu karang yang merupakan hasil pengendapan kerangka binatang-binatang lembek yang halus dan hidup di dasar laut. Pengendapan ini berlangsung terus sampai beribu-ribu tahun dan oleh karena pergeseran dan pengangkatan dari dasar laut akhirnya muncul ke permukaan laut (Sutopo dan Bhakti, 1977: 85).

Batu kapur pada umumnya bukan CaO murni, akan tetapi mengandung oksida-oksida lain dalam jumlah tertentu yang merupakan pengotoran dari batuan kapur. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi susunan kimia kapur.

Tabel 2.1. Komposisi kimia kapur

No	Kandungan	Prosentase
1	Karbonat (CO ₃)	97%
2	Kalsium oksida (CaO)	29,77% - 55,56%
3	Magnesium oksida (MgO)	21% - 31%
4	Silikat (SiO ₂)	0,14% - 2,14%
5	Alumunium oksida dan ferro (Al ₂ O ₃ dan Fe ₂ O ₃)	0,5%

Sumber: Soetopo dan Bhakti, 1977: 85

Berdasarkan penggunaannya kapur untuk bahan bangunan dibagi menjadi 2 macam, yaitu kapur pemutih dan kapur aduk. Kedua macam kapur tersebut bisa terdapat dalam bentuk kapur tohor maupun kapur padam (Moerdwiyono, 1998: 6):

a. Klasifikasi kapur

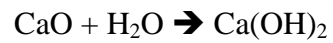
- Kapur tohor

Kapur tohor adalah hasil pembakaran batu kapur atau batu alam lain (CaCO₃) pada suhu sedemikian rupa sehingga jika diberi air dapat dipadamkan. Komposisinya adalah sebagian besar kalsium karbonat pada suhu yang tinggi sehingga bila diberi air dapat terpadamkan membentuk hidrat, secara kimia dapat dijelaskan sebagai berikut:



- Kapur padam

Adalah hasil pemadaman kapur tohor dengan air dan membentuk hidrat. Reaksinya adalah:



- Kapur udara

Adalah hasil pemadaman kapur padam yang apabila diaduk dengan air setelah beberapa saat hanya dapat mengeras di udara karena pengikatan karbondioksida (CO_2).

- Kapur hidrolis

Adalah kapur padam yang apabila diaduk dengan air setelah beberapa saat dapat mengeras baik diudara maupun di dalam air.

- Kapur magnesia

Adalah kapur yang mengandung lebih dari 5% magnesium oksida (MgO), dihitung dari contoh kapur yang dipadamkan.

Menurut Moerdwiyono (1998: 7) pemakaian kapur untuk bahan bangunan dibagi dalam 2 macam, yaitu; kapur pemutih dan kapur aduk. Kapur aduk adalah kapur yang biasa digunakan dalam campuran mortar, yaitu campuran semen, kapur dan pasir. Sedangkan kapur pemutih adalah kapur yang sering digunakan untuk pengecatan atau memutihkan pekerjaan lainnya. Kedua macam kapur tersebut boleh dalam bentuk kapur tohor atau juga kapur padam.

b. Syarat-syarat kapur sebagai bahan bangunan

Sebagai bahan bangunan, kapur harus memiliki syarat-syarat yang ditentukan. Tabel 2.2 berikut ini merupakan syarat besar butiran kapur yang layak untuk digunakan sebagai bahan bangunan.

Tabel 2.2 Syarat-syarat mutu kapur tohor dalam SK SNI S-04-1989-F (1989: 17)

No	Uraian	Persyaratan (%)	
		I	II
1.	Kehalusan atau sisa maksimum di atas ayakan: maks % berat. - 4.75 - 1.18 - 0.85	-	0
		0	-
		5	10
2.	Kekalan bentuk	Tidak retak	Tidak retak
3.	- CaO + MgO aktif setelah dikoreksi dengan SO ₃ - SO ₂ maks. Berat	90	85
		6	6

Sumber: SK SNI S-04-1989-F, 1989: 17

4. Agregat halus (pasir)

Menurut SNI 03-6820-2002 (2002: 171), agregat halus adalah agregat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi batuan atau pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai butiran sebesar 4,76 mm.

Secara umum harga agregat lebih murah dari semen sehingga penggunaannya selalu diusahakan dengan prosentase yang tertinggi tanpa harus mengurangi mutu mortar atau beton. Penggunaan dengan prosentase tertentu tersebut tentunya tetap memperhatikan sifat dari agregat karena sifat

bukan hanya mempengaruhi sifat mortar akan tetapi juga daya tahan (*durability*), stabilitas volume dan juga kuat tekannya sehingga walaupun harganya murah takarannya tetap harus diperhatikan untuk mengontrol mutu mortar atau beton.

Menurut Gani (2004: 52) agregat halus terdiri dari butiran-butiran 0,075 mm sampai 2 mm yang didapat dari disintegrasi batuan alam (*natural sand*) atau didapat dari memecahnya (*artificial sand*). Sedangkan menurut Nevill (1997: 103) agregat halus merupakan agregat yang besarnya tidak lebih dari 5 mm sehingga pasir dapat berupa pasir alam atau berupa pasir dari pemecahan batu yang dihasilkan oleh pemecah batu.

Agregat halus yang dipakai untuk campuran adukan atau mortar harus memenuhi persyaratan agregat halus secara umum menurut SNI 03-6821-2002 (2002: 171-172) adalah sebagai berikut:

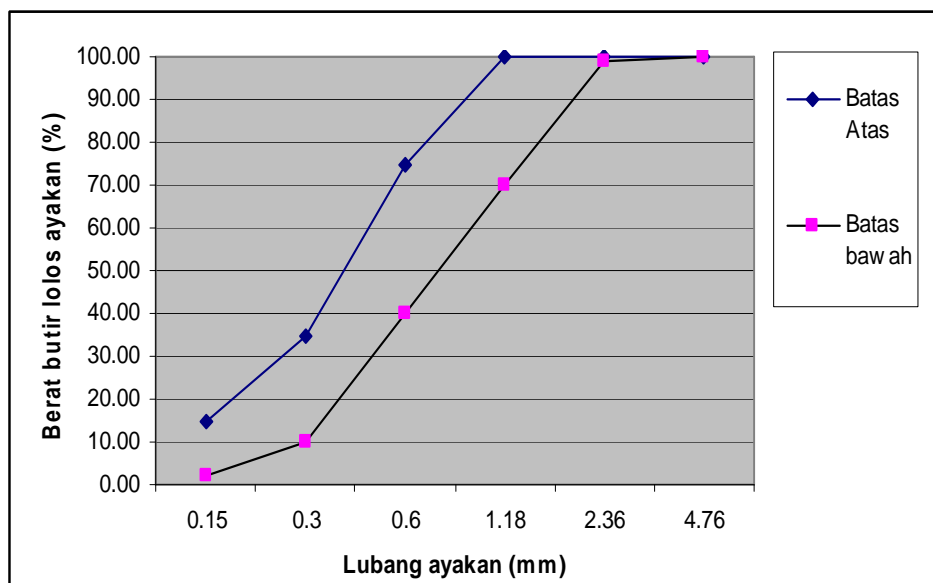
- Susunan butir agregat halus mempunyai kehalusan antara 2,0 – 3,0
- Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras
- Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat diuji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10% berat, sedangkan jika dipakai magnesium sulfat yang hancur maksimum 15% berat.
- Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering). Jika kadar lumpur melebihi 5% pasir harus dicuci.

Agregat yang dipakai untuk campuran adukan atau mortar harus memenuhi syarat yang ditetapkan oleh SNI 03-6820-2002 (2002: 172) dengan batasan ukuran agregat halus yang dapat dilihat pada tabel 2.3 dan gambar 2.7 berikut ini.

Tabel 2.3. Gradasi agregat halus untuk adukan/mortar

Saringan	Persen lolos	
	Pasir alam	Pasir olahan
No. 4 (4,76 mm)	100	100
No. 8 (2,36 mm)	99 – 100	95 – 100
No. 16 (1,18 mm)	70 – 100	70 – 100
No. 30 (0,6 mm)	40 – 75	40 – 75
No. 50 (0,3 mm)	10 – 35	20 – 40
No. 100 (0,15 mm)	2 – 15	10 – 25
No. 200 (0,075 mm)	0	0 – 10

Sumber: SNI 03-6820-2002 (2002: 172)



Gambar 2.1. Grafik gradasi agregat halus (pasir) untuk adukan menurut SNI 03-6820-2002

5. Air

Air mempunyai 2 fungsi, yang pertama untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan dan yang kedua berfungsi sebagai pelicin campuran kerikil, pasir dan semen agar memudahkan pencetakan. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat mudah dipadatkan. Di dalam penggunaannya, air tidak boleh terlalu banyak karena akan menyebabkan menurunnya kekuatan beton atau mortar.

Air yang digunakan untuk pembuatan mortar/beton harus bersih dan tidak mengandung minyak, tidak mengandung alkali, garam-garaman, zat organik yang dapat merusak beton atau baja tulangan. Air tawar yang biasanya diminum baik air diolah oleh PDAM atau air dari sumur yang tanpa diolah dapat digunakan untuk membuat mortar.

Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air dari Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Air tersebut harus memenuhi syarat menurut SKSNI S-04-1989-F (1989: 23), persyaratan air sebagai bahan bangunan harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- Tidak mengandung lumpur atau benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
- Tidak mengandung garam-garaman yang merusak beton (asam dan zat organik) lebih dari 15 gram/liter. Kandungan khlorida (Cl) tidak lebih dari 500 ppm dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1.000 ppm sebagai SO₃.
- Air harus bersih

- Derajat keasaman (pH) normal ± 7 .
- Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
- Jika dibanding dengan kekuatan tekan adukan beton yang memakai air suling, penurunan kekuatan adukan yang memakai air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.
- Semua air yang mutunya meragukan dianalisa secara kimia dan dievaluasi mutunya menurut pemakaian.
- Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat di atas, air tidak boleh mengandung khlorida lebih dari 50 ppm.

6. Abu Terbang (*Fly ash*)

Abu terbang adalah debu yang dihasilkan dari sisa pembakaran Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batubara (Sudjtmiko Nugroho, 2003). Sedangkan NSPM KIMPRASWIL dalam SNI 03-6414-2002 (2002: 145) memberikan definisi berbeda, yaitu:

Abu terbang adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik (SNI 03-6414-2002 (2002: 145))

Bahan bangunan abu terbang dapat digunakan sebagai bahan baik untuk pembuatan agregat buatan dalam campuran beton, bahan tambahan paving blok, mortar, batako, bahan tambah beton aspal, beton ringan dan sebagainya. Sebagai bahan tambah beton, abu terbang dinilai dapat meningkatkan kualitas

beton dalam hal kekuatan, kedap air, ketahanan terhadap sulfat dan kemudahan dalam pengerjaan (*workability*) beton (Sofwan Hadi, 2000). Penggunaan abu terbang juga dapat mengurangi penggunaan semen dan sekaligus sebagai bentuk pemanfaatan limbah yang akan membantu menjaga kelestarian lingkungan.

Abu terbang sepertinya cukup baik untuk digunakan sebagai bahan ikat karena bahan penyusun utamanya adalah silikon dioksida (SiO_2), aluminium (Al_2O_3) dan Ferrum oksida (Fe_2O_3). Oksida-oksida tersebut dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen ketika bereaksi dengan air. Clarence (1966: 24) menjelaskan dengan pemakaian abu terbang sebesar 20 – 30% terhadap berat semen maka jumlah semen akan berkurang secara signifikan dan dapat menambah kuat tekan beton. Pengurangan jumlah semen akan menurunkan biaya material sehingga efisiensi dapat ditingkatkan.

Dalam SNI 03-6863-2002 (2002: 146) spesifikasi abu terbang sebagai bahan tambah untuk campuran beton disebutkan ada 3 jenis abu terbang, yaitu;

- a. Abu terbang jenis N, ialah abu terbang hasil kalsinasi dari pozolan alam, misalnya tanah diatomite, shale, tuft dan batu apung.
- b. Abu terbang jenis F, ialah abu terbang yang dihasilkan dari pembakaran batubara jenis antrasit pada suhu kurang lebih 1560°C .
- c. Abu terbang jenis C, ialah abu terbang hasil pembakaran lignit/batubara dengan kadar karbon sekitar 60%. Abu terbang jenis ini mempunyai sifat seperti semen dengan kadar kapur di atas 10%.

Abu terbang memiliki sifat pozolan yang terdiri dari unsur-unsur silikat dan atau aluminat yang reaktif. Komposisi kimia masing-masing jenis abu terbang sedikit berbeda dengan komposisi kimia semen. Tabel 2.4 berikut ini menjelaskan komposisi kimia abu terbang dan semen menurut Ratmaya Urip (2002).

Tabel 2.4. Komposisi kimia berbagai jenis abu terbang dan semen portland

No	Komposisi Kimia	Jenis Abu Terbang			Semen
		Jenis F	Jenis C	Jenis N	
1	SiO ₂	51.90	50.90	58.20	22.60
2	Al ₂ O ₃	25.80	15.70	18.40	4.30
3	Fe ₂ O ₃	6.98	5.80	9.30	2.40
4	CaO	8.70	24.30	3.30	64.40
5	MgO	1.80	4.60	3.90	2.10
6	SO ₂	0.60	3.30	1.10	2.30
7	Na ₂ O dan K ₂ O	0.60	1.30	1.10	0.60

Sumber: Ratmaya Urip, 2003

Abu terbang merupakan limbah dari pembakaran batubara yang banyak dihasilkan oleh PLTU dan mesin-mesin di pabrik. Abu terbang termasuk bahan pozolan buatan yang memiliki sifat pozolanik. Sifat abu terbang tersebut membuat abu terbang dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen dan bahan tambah untuk bangunan yang dapat meningkatkan ketahanan/keawetan beton terhadap ion sulfat dan juga menurunkan panas hidrasi semen.

Menurut standar SNI 03-6863-2002 (2002: 150) penggunaan abu terbang sebagai bahan tambah beton, baik untuk adukan maupun campuran beton harus memenuhi syarat-syarat seperti tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.5 Susunan kimia dan sifat fisik abu terbang

No.	Uraian	Kelas F (%)	Kelas C (%)
A. Susunan Kimia			
1.	Silikon dioksida + alumunium oksida + besi oksida, min	70.00	50.00
2.	Sulfur trioksida, maks	5.00	5.00
3.	Kadar air, maks	3.00	3.00
4.	Hilang Pijar, maks	6.00	6.00
5.	Na ₂ O, maks	1.50	1.50
B. Sifat fisik			
1.	Kehalusan sisa di atas ayakan 4 <i>um</i> , maks	34.00	34.00
2.	Indeks keaktifan pozolan dengan PC I, pada umur minimal 28 hari	75.00	75.00
3.	Air, maks	105.00	105.00
4.	Pengembangan dengan <i>autoclave</i> , maks	0.80	0.80

(Sumber: SNI 03-6863-2002 (2002: 150))

Tabel 2.6. Komposisi kimia abu terbang PT. Tjiwi Kimia Putra

Parameter	Satuan	Hasil Uji Abu terbang	Metode pengujian	
Moisture	AR	%	0.56	Drying oven 105°C, 2 hours combustion at 900 °C
LOI	DB	%	5.38	
Al ₂ O ₃	DB	%	29.48	AAS
SO ₃	DB	%	0.45	Gravimetric
Fe ₂ O ₃	DB	%	8.28	AAS
CaO	DB	%	3.32	AAS
Na ₂ O	DB	%	0.29	AAS
SiO ₂	DB	%	48.31	Gravimetric

(PT. Superintending Company Of Indonesia, 2003)

Abu terbang yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah abu terbang dari PT. Tjiwi Kimia Putra yang didistribusikan kepada PT. Varia Usaha Beton. Hasil pemeriksaan komposisi kimia yang telah dilakukan oleh PT. Varia Usaha Beton seperti yang disajikan dalam tabel 2.7 menunjukkan bahwa abu terbang tersebut masuk kelas F, karena kandungan oksida silika, alumunium dan besi lebih dari 70%.

7. Pengujian Mortar

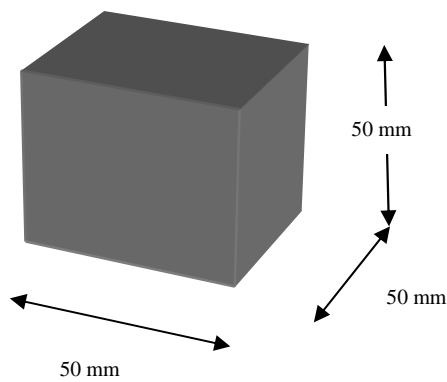
Tujuan dari pengujian mortar adalah untuk mendapatkan nilai uji sebar, kuat tekan dan serapan air mortar pada umur tertentu yang digunakan untuk menentukan mutu mortar dengan bahan ikat semen portland dan kapur yang ditambah abu terbang.

Pembuatan mortar dilakukan setelah terlebih dahulu dilakukan uji sebar mortar. Uji sebar mortar dilakukan pada masing-masing variasi komposisi campuran bahan susun mortar yang tujuannya adalah mencari dan menentukan faktor air semen (fas) yang sesuai sehingga didapatkan diameter uji sebar mortar rata-rata (d_r) 4 kali pengukuran harus sebesar 1 – 1,15 diameter cincin meja uji sebar atau 100 mm – 115 mm (Tatonas, 2003: 3). Diameter cincin uji sebar adalah 10 cm, jadi diameter rata-rata maksimum yang diijinkan adalah 11,5 cm. Nilai komulatif prosentase diameter rata-rata (d_r) terhadap diameter maksimal dari uji sebar yang diijinkan adalah antara 70% - 110% dari diameter maksimal cincin sebar.

Prosentase diameter rata-rata dipengaruhi oleh faktor air semen (fas) yang digunakan dalam mortar. Semakin banyak jumlah air yang digunakan dalam mortar maka akan memperbesar prosentase diameter rata-rata uji sebar mortar. Sebaliknya semakin sedikit air yang digunakan dalam mortar maka besarnya prosentase diameter rata-rata uji sebar akan semakin kecil atau bahkan semakin besar (karena tidak terjadi ikatan yang sempurna karena jumlah air yang terlalu sedikit).

Nilai faktor air semen juga berpengaruh terhadap kelecakan dan *workability* mortar. Nilai faktor air semen yang cukup maka akan mempermudah pengerjaan mortar, memiliki kelecakan yang baik dan didapatkan nilai uji sebar yang memenuhi syarat. Sedangkan nilai faktor air semen yang terlalu besar memang membuat mortar menjadi semakin mudah dikerjakan tetapi mortar menjadi semakin encer dan nilai sebar menjadi terlalu besar. Pada sisi lain, faktor air semen yang terlalu sedikit akan membuat mortar menjadi sulit untuk dikerjakan dan nilai uji sebar mortar menjadi semakin besar.

Menurut SNI 03-6882-2002 (2002: 210), uji kuat tekan dilakukan dengan membuat kubus mortar berukuran 50 mm sampai 100 mm. Pengujian dilakukan setelah mortar mengeras dengan menggunakan mesin uji tekan. Nilai kuat tekan didapat dengan membagi besar beban maksimum (N) dengan luas tampang (mm^2). Gambar 2.1 menunjukkan kubus mortar ukuran 50 mm yang akan diuji kuat tekannya.



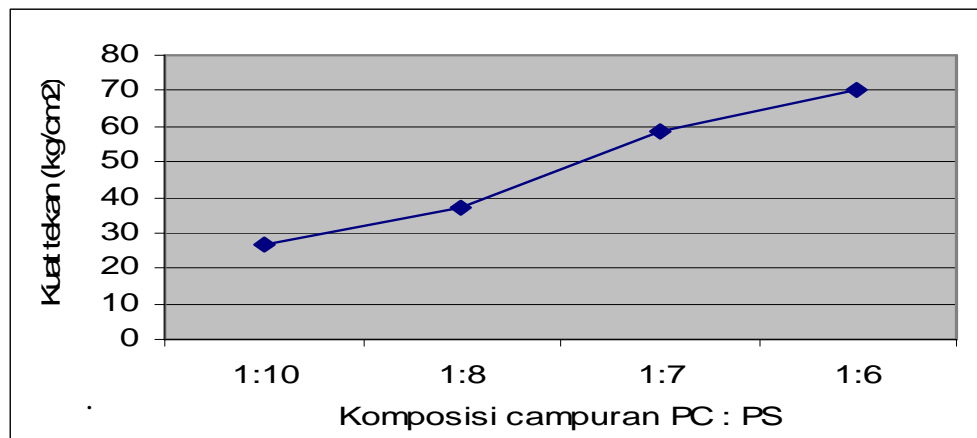
Gambar 2.2 Benda uji kubus untuk uji kuat tekan mortar

Adapun pengujian serapan air adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui besarnya serapan air yang terjadi pada mortar yang telah mengeras. Serapan air adalah prosentase berat air yang mampu diserap oleh suatu agregat jika direndam air. Air yang meresap dipengaruhi oleh pori butiran agregat (Gani, 2004: 61). Serapan air pada mortar yang berlebihan menyebabkan mutu mortar semakin tidak baik, tidak awet dan mortar akan mudah berjamur.

B. Kajian Pustaka

1. Mortar dengan berbagai variasi bahan dan campuran

Di dalam pembuatan mortar terdapat berbagai macam variasi bahan dan campuran yang dapat digunakan. Variasi campuran dan bahan akan mempengaruhi mutu mortar. Gambar 2.3 berikut merupakan hasil penelitian kuat tekan mortar dengan berbagai komposisi campuran semen terhadap pasir dalam perbandingan berat.



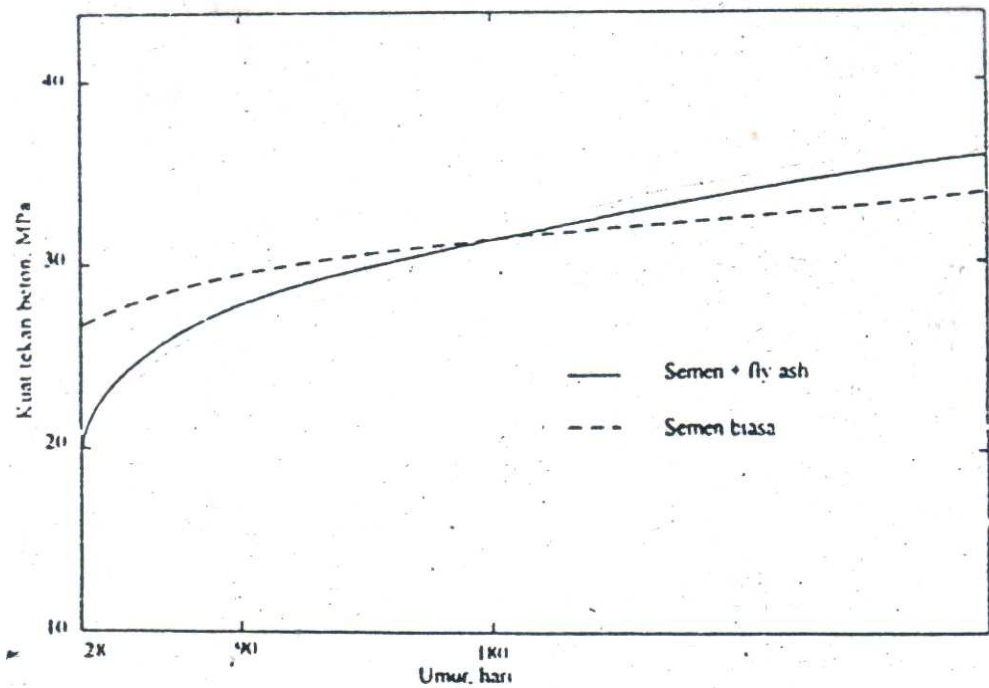
Sumber: Data teknis hasil percobaan (Puslitbang, DPU Semarang 1985)

Gambar 2.3. Hubungan antara kuat tekan dan komposisi campuran Portland Cement : Pasir

Pengurangan jumlah pasir pada campuran mortar memungkinkan untuk meningkatkan kuat tekan mortar. Semakin sedikit jumlah pasir yang digunakan, kekuatan mortar akan meningkat. Peningkatan kuat tekan mortar tersebut terjadi karena pasta semen akan lebih banyak mengikat agregat sehingga ikatan butir antar pasir semakin kuat.

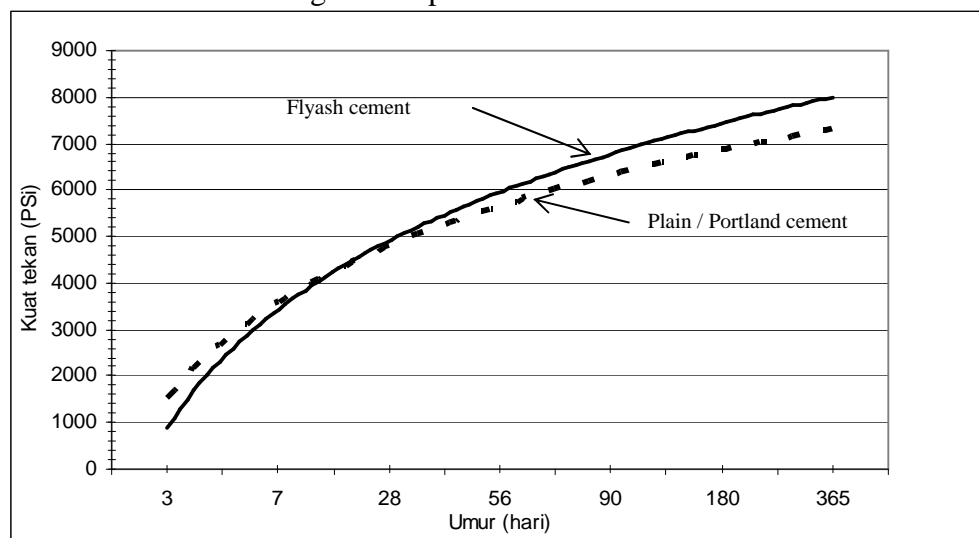
Pemakaian berbagai jenis semen juga berpengaruh terhadap laju kenaikan kekuatan beton, hal yang sama juga dapat terjadi pada laju kenaikan pada mortar. Gambar 2.4 menunjukkan laju kenaikan kekuatan beton terhadap umur yang terjadi pada beton dengan pemakaian semen yang berbeda.

Pada penggunaan abu terbang untuk beton, abu terbang bersifat lambat dalam pencapaian kuat tekan optimal jika dibandingkan dengan beton yang hanya menggunakan bahan ikat semen portland. Gambar 2.5 menunjukkan laju kenaikan kuat tekan beton dengan bahan ikat semen ditambah abu terbang dan beton dengan bahan ikat semen biasa.



Sumber: Tjokrodimulyo (1996: 50)

Gambar 2.4. Kenaikan kuat tekan beton dengan jenis semen biasa dan semen abu terbang terhadap umur beton



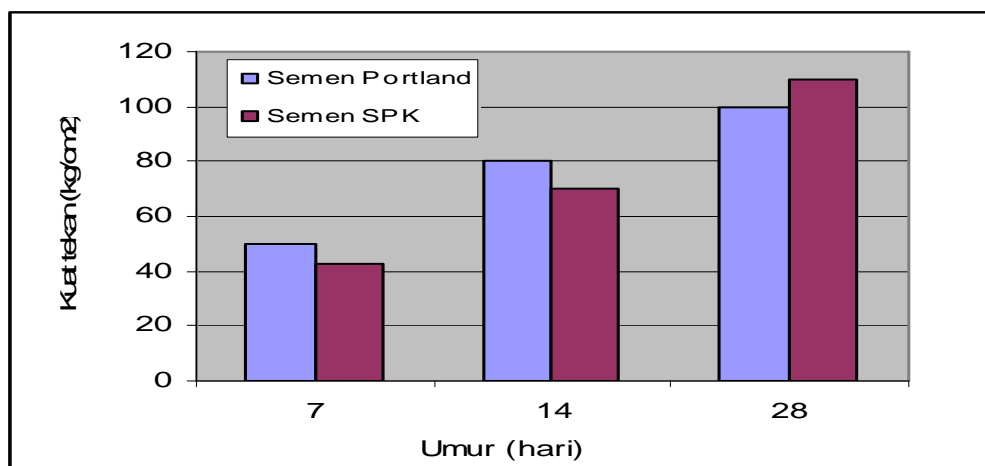
Sumber: <http://www.flyash.com/flyashperformance.asp>

Gambar 2.5. Kenaikan kuat tekan beton dengan bahan ikat abu terbang dibanding bahan ikat semen biasa terhadap umur beton (www.flyash.com)

Laju kenaikan kuat tekan beton dengan bahan ikat abu terbang dan semen bersifat lambat karena abu terbang bersifat pozolan. Menurut Ratmaya (2003) reaksi abu terbang dengan air berjalan lambat sehingga kuat tekannya juga naik dengan lambat dan hal ini juga berakibat menurunnya panas hidrasi sampai 15 – 35% dari panas hidrasi semen. Lambatnya reaksi abu terbang menyebabkan laju kenaikan kuat tekan beton berjalan lambat.

2. Semen Pozolan Kapur dan Semen Pozolan

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (TEKMIRA) telah melakukan penelitian terhadap semen jenis pozolan kapur dengan komposisi tras 66%, kapur 22% dan semen portland 12% (<http://www.tekmira.esdm.go.id/aset/pozolan/index/asp>). Gambar 2.6 berikut ini adalah hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan TEKMIARA tentang penggunaan semen pozolan kapur pada umur 7; 14 dan 28 hari.



Sumber: <http://www.tekmira.esdm.go.id/aset/pozolan/index/asp>

Gambar 2.6. Grafik perbandingan kuat tekan semen dengan standar SII terhadap umur perendaman

Berdasarkan gambar 2.6 menunjukkan bahwa penggunaan tras, kapur dan semen portland ternyata dapat memenuhi standar yang ditetapkan SII. Hal ini menarik untuk diteliti mengenai pengaruh penggunaan abu terbang, kapur dan semen portland. Abu terbang memiliki sifat pozolan dengan kandungan silikat dan aluminat yang tinggi sehingga dapat bereaksi dengan air dan kapur padam sehingga dapat berubah menjadi masa padat yang tidak larut dalam air (Tjokrodimuyo, 1996: 48).

PT. Semen Gresik sebagai salah satu industri produsen semen di Indonesia selain memproduksi semen portland biasa atau *Portland Cement* (PC) juga memproduksi semen portland pozolan atau *Portland Pozolan Cement* (PPC) yang telah memenuhi syarat standar yang ditetapkan oleh SNI 15-2049-94 dan ASTM C 150-02 untuk PC dan SNI 15-0302-99 dan ASTM 595-02 untuk PPC (<http://www.semengresik.com/indonesia/product/index.>). Tabel 2.6 dan 2.7 berikut ini menunjukkan syarat standar untuk kuat tekan PC, PPC yang ditetapkan SNI dan ASTM serta hasil pengujian yang dilakukan PT. Semen Gresik terhadap produk PC dan PPC-nya.

Tabel 2.7. Syarat Kuat Tekan PC

No	Umur	Standar Kuat Tekan (kg/cm ²)		
		SNI 15-2049-94 PC Jenis I	ASTM C-150-02 PC Type I	PT. Semen Gresik PCI
1	3 hari	≥125	≥122	230
2	7 hari	≥200	≥194	320
3	28 hari	-	-	410

Sumber: PT. Semen Gresik

(<http://www.semengresik.com/indonesia/product/index.php?act=opc>)

Tabel 2.8. Syarat Kuat Tekan PPC

No	Umur (hari)	Standar Kuat Tekan (kg/cm ²)			
		SNI 15-0302-99		ASTM	PT. Semen Gresik PPC
		PPC Jenis IP-U	PPC Jenis IP-K	C-150-02 PPC Type IP	
1	3	≥133	≥106	≥133	205
2	7	≥205	≥164	≥205	290
3	28	≥256	≥205	≥256	385

Sumber: PT. [Semen Gresik](http://www.semengresik.com/indonesia/product/index.php?act=ppc)

(<http://www.semengresik.com/indonesia/product/index.php?act=ppc>)

Pada tabel 2.7 dan 2.8 menunjukkan bahwa kuat tekan yang disyaratkan oleh SNI dan ASTM untuk jenis PC dan PPC sudah dapat dipenuhi oleh produsen semen yaitu PT. Semen Gresik, sedangkan perbedaan kuat tekan PPC produk PT. Semen Gresik pada umur 28 hari sudah mencapai 93,90% yaitu sebesar 385 kg/cm² dari kuat tekan PC atau semen biasa yaitu sebesar 410 kg/cm² (<http://www.semengresik.com/indonesia/product/index.php>). Pada umur 37 sampai 45 hari kuat tekan PPC produksi PT. Semen Gresik diperkirakan sudah sebanding dengan kuat tekan PC dan akan terus naik kuat tekannya seiring bertambahnya umur beton atau mortar.

Semen portland pozolan adalah semen portland yang diberi tambahan pozolan atau bahan-bahan yang mengandung pozolan. Salah satu bahan yang mengandung pozolan adalah abu terbang. Pada proses selanjutnya, semen portland pozolan kemudian berkembang menjadi semen pozolan kapur (SPK). SPK adalah suatu bahan hidrolis yang dibuat dengan menggiling halus abu terbang, semen portland dan kapur padam.

Dari penelitian Nadhiroh Masruri dan Lasino (1993) tentang pembuatan SPK dengan membuat 3 variasi kubus mortar menunjukkan bahwa kuat tekan mortar I > mortar II > mortar III. Mortar I mempunyai komposisi campuran 1 kapur : 2 abu terbang; mortar II, 1 kapur : 3 abu terbang; dan mortar III, 1 kapur : 4 abu terbang. Ini berarti bahwa mortar I mempunyai kadar kapur yang cukup sebagai bahan pengikat dibanding mortar II dan III untuk membentuk reaksi kimia dengan alumina dan silika dari abu terbang yang terlarut dalam mortar tersebut.

Kekuatan mortar tersebut menurut teori akan bertambah dengan bertambahnya umur, sehingga semakin banyak jumlah silika dan alumina terlarut yang menunjukkan bahwa kandungan zat tersebut telah bereaksi dengan kapur. Jadi penambahan kekuatan akan bersamaan dengan penambahan zat terlarut, biasanya sampai umur 6 bulan. Hal ini juga ditunjukkan oleh hasil analisa mineralogi bahwa mortar I mempunyai kandungan portlandite yang lebih banyak daripada mortar lainnya (Nadhiroh dan Lasino, 1993).

Kandungan kwarsa mortar I lebih kecil dari mortar II dan III, berarti kemungkinan belum banyak silika yang bereaksi dengan kapur dimana jumlah air juga sangat mempengaruhi dan menentukan dari proses reaksinya. Adanya kalsit membuktikan larutan kapur yang jenuh bereaksi dengan CO₂ dan udara/air, sehingga berbentuk padatan yang keras CaCO₃. Larutan ini kemungkinan karena tidak tereaksi atau proses reaksi belum sempurna.

Penelitian mengenai penggunaan abu terbang juga telah dilakukan oleh Yatti S Hidayat (1993) tentang Penelitian Mutu Beton Abu terbang Pada Lingkungan yang Agresif (Pantai dan Laut) dengan variasi penambahan abu terbang 0%, 10%, 20%, 25%, 30%, dan 40% terhadap berat semen menunjukkan bahwa :

- a. Kuat beton abu terbang pada umur muda (kurang dari 28 hari) lebih rendah dari pada kuat tekan beton normal.
- b. Kubus beton yang disimpan di laboratorium baik beton normal maupun beton abu terbang menunjukkan penambahan kekuatan tekan sampai dengan umur 3 tahun dan masih mengalami kenaikan. Sedangkan untuk beton yang disimpan di tepi pantai dan yang direndam di laut, kuat tekan pada umur 3 tahun lebih rendah daripada sebelumnya. Hal ini kemungkinan disebabkan karena proses perusakan oleh lingkungan (air laut dan pantai) lebih kuat daripada daya tahan betonnya yang tidak direncanakan dahulu untuk lingkungan yang agresif.

Dari penelitian Ridwan Suhud (1998) tentang beton mutu tinggi, menunjukkan bahwa abu terbang berperan sebagai pengisi ruang kosong (rongga) diantara butiran-butiran semen dan secara kimiawi akan memberikan sifat hidrolis pada kapur bebas $[Ca(OH)_2]$ yang dihasilkan pada saat proses hidrasi semen, dimana mortar hidrolis ini kan lebih kuat daripada mortar udara (kapur bebas + air); maka abu terbang seharusnya tidak hanya menambah kekedapan dan kemudahan pengerjaan, tetapi juga dapat menambah kekuatan beton.

C. Kerangka Berpikir

Mortar merupakan bahan bangunan yang terbuat dari campuran bahan ikat dengan pasir. Keberadaan mortar sebagai bahan bangunan haruslah selalu tersedia sebagai pendukung peningkatan pembangunan perumahan. Mortar dibuat sedemikian rupa sehingga dapat digunakan sebagai bahan bangunan, yaitu sebagai perekat bata, plesteran, saluran air dan sebagainya.

Pembuatan mortar selama ini masih tergantung pada penggunaan semen portland dan kapur sebagai bahan ikatnya, padahal ada beberapa bahan limbah lain yang sebenarnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan ikat yang mensubstitusi keberadaan semen portland dan kapur tadi. Salah satu bahan limbah tersebut adalah limbah abu sisa pembakaran batu bara yaitu abu terbang karena komposisi kimia abu terbang memungkinkan penggunaannya sebagai salah satu bahan ikat alternatif yang dapat dipadukan dengan semen portland. Penambahan abu terbang di dalam mortar semen portland dan kapur tentunya akan mengurangi penggunaan semen portland.

Dalam penelitian ini yang ingin ditekankan adalah pemanfaatan limbah abu terbang sebagai bahan tambah atau bahan ikat alternatif yang dikombinasikan dengan semen portland dan kapur. Abu terbang dipilih karena merupakan limbah yang mengandung pozolan yang dapat bereaksi dengan kapur mati $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ menjadi mortar hidrolik.

Kapur mati merupakan mortar udara dan merupakan kristal yang paling lemah di dalam beton atau mortar. Kapur mati tersebut terbentuk akibat reaksi pengerasan semen dengan air dan juga pada proses pengerasan kapur yang

bereaksi dengan air yang prosesnya tidak sempurna. Jumlah kapur ini dapat mencapai kurang lebih 35%. Semakin tinggi jumlah kapur mati dalam mortar, maka mortar akan semakin lemah sehingga kuat tekannya rendah. Guna mengatasi keberadaan kapur mati di dalam mortar tersebut, maka penggunaan abu terbang sebagai pozolan yang dapat bereaksi dengan kapur mati yang memberikan sifat hidrolik (dapat mengeras dalam air) adalah suatu pilihan yang bisa diterapkan.

Butiran abu terbang secara umum juga lebih halus dari butiran semen sehingga dapat menjadi bahan pengisi (*filler*) di dalam mortar yang dampaknya adalah mortar menjadi lebih padat karena pori-pori yang ada dapat terisi oleh butiran abu terbang. Kepadatan mortar akan mempengaruhi mutu baik itu ditinjau dari kuat tekan, kuat tarik dan serapan airnya.

Hasil penelitian TEKMIRA yang menunjukkan kenaikan kuat tekan SPK pada umur 28 hari yang telah melebihi semen standar SII seperti yang terlihat pada Gambar 2.6 memberikan satu gambaran bahwa penggunaan abu terbang sebagai bahan ikat alternatif memiliki kemungkinan untuk mencapai kuat tekan optimal pada umur yang lebih muda atau kurang dari 90 hari sebagaimana pendapat Tjokrodimulyo (1996: 49). Hasil penelitian tersebut juga didukung oleh hasil penelitian PT. Semen Gresik yang menunjukkan bahwa kuat tekan PPC pada umur 28 yang mencapai 93,90% dari kuat tekan PC dan diprediksikan akan melebihi kuat tekan PC pada umur 45 hari. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dicoba meneliti kuat tekan dan serapan air mortar dengan bahan tambah abu terbang pada umur 56 hari (SNI 03-6468-2000, 2002: 270).

Dari uraian di atas, diharapkan dengan penggunaan abu terbang sebagai bahan ikat tambahan dalam pembuatan mortar dapat meningkatkan mutu mortar, meningkatkan kuat tekan dan meminimalkan serapan air pada mortar. Abu terbang bersifat pozolan, sehingga reaksi pengerasannya berjalan lambat, walaupun pada umur 28 hari kuat tekan mortar lebih rendah dibanding mortar biasa, tapi kuat tekan mortar dengan bahan ikat tambahan abu terbang akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya umur mortar.

D. Hipotesis

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah tentang pemanfaatan abu terbang sebagai bahan tambah untuk pembuatan mortar semen portland dan kapur dengan cara diuji kuat tekan dan serapan airnya. Hipotesis yang ditarik adalah:

Ada pengaruh penambahan abu terbang terhadap mortar dengan bahan ikat semen portland dan kapur terhadap kuat tekan dan serapan air pada komposisi campuran bahan dengan perbandingan tertentu.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Populasi

Populasi adalah semua individu yang nantinya akan dikenai generalisasi penelitian yang diperoleh dari sampel (Sutrisno Hadi, 1975: 220). Populasi dalam di dalam penelitian ini adalah;

- a. Mortar yang menggunakan dengan komposisi bahan 1PC : 1KP : 8PS
- b. Mortar yang menggunakan dengan komposisi bahan 0,9PC : 0,1AT : 1KP : 8PS.
- c. Mortar yang menggunakan dengan komposisi bahan 0,8PC : 0,2AT : 1KP : 8PS.
- d. Mortar yang menggunakan dengan komposisi bahan 0,7PC : 0,3AT : 1KP : 8PS.
- e. Mortar yang menggunakan dengan komposisi bahan 0,6PC : 0,4AT : 1KP : 8PS.

Keterangan:

- PS : Pasir
PC : Portland cement (Semen portland)
AT : Abu terbang
KP : Kapur

Dari 5 macam komposisi perlakuan, masing-masing komposisi dibuat 7 buah benda uji untuk uji kuat tekan dan 5 buah benda uji untuk pengujian serapan air. Pengujian dilaksanakan pada saat benda uji berumur 56 hari ((SNI 03-6468-2000, 2002: 270).

B. Sampel

Sampel merupakan bagian dari populasi, sebagai contoh yang diambil dengan menggunakan cara-cara tertentu. Sampel adalah sebagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi tersebut (Sugiyono, 1985: 1). Sampel semen, pasir, kerikil diambil dari pengecer bahan bangunan yang diambil secara acak, sedangkan sampel abu terbang didapatkan dari PT. Varia Usaha Beton di Sayung, Demak.

Penelitian ini menggunakan sampel yang berupa benda uji kubus berukuran sisi 50 mm untuk uji kuat tekan tekan dan uji serapan air (SNI 03-6882-2002, 2002: 210), sedangkan yang terdiri atas satu kelompok kontrol dan 4 kelompok perlakuan. Kelompok kontrol adalah mortar yang menggunakan bahan ikat semen dan kapur (1PC : 0AT : 1KP), sedangkan kelompok perlakuan dibagi menjadi empat, yaitu: (1) mortar yang menggunakan komposisi abu terbang sebesar 10% (0,9PC : 0,1AT : 1KP); (2) mortar yang menggunakan komposisi abu terbang sebesar 20% (0,8PC : 0,2AT : 1KP); (3) mortar yang menggunakan komposisi abu terbang 30% (0,7PC : 0,3AT : 1KP); (4) mortar yang menggunakan komposisi abu terbang 40% (0,6PC : 0,4AT : 1KP)

C. Bahan Susun Mortar

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Air

Air yang digunakan dalam penelitian diambil dari jaringan air bersih dari Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.

b. Semen

Semen yang digunakan adalah semen portland type I produksi PT. Semen Gresik kemasan 50 kg.

c. Pasir

Pasir yang digunakan dalam penelitian adalah pasir Muntilan kabupaten Magelang.

d. Kapur

Kapur yang digunakan adalah kapur tohor yang lolos ayakan 0,6 mm.

e. Abu terbang

Abu terbang yang digunakan adalah abu terbang produksi PT. Tjiwi Kimia Putra yang didistribusikan pada PT. Varia Usaha Beton di Sayung Kabupaten Demak.

D. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdapat 3 buah variabel, yaitu;

a. Variabel bebas

Variabel bebas yang dipakai dalam penelitian ini adalah prosentase bahan tambahan berupa substitusi abu terbang terhadap kuat tekan dan serapan air pada mortar.

b. Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kuat tekan dan serapan air pada mortar untuk waktu pengerasan yang sama yang diperoleh dari hasil pengujian benda uji pada umur 56 hari.

c. Variabel kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan dilihat konstan sehingga peneliti dapat melakukan penelitian bersifat membandingkan (Sugiyono, 1992: 20). Sebagai variabel kontrol dalam penelitian ini adalah bahan-bahan pembuatan mortar, alat-alat pengujian mortar, tempat pengujian mortar (laboratorium) yang mana hal-hal tersebut harus diperlakukan sama pada setiap perlakuan.

E. Metode Pengumpulan Data

Data merupakan keterangan-keterangan mengenai variabel yang akan diteliti. Penggunaan metode dan alat pengumpulan data yang tepat memungkinkan diperoleh data yang obyektif.

Metode penelitian merupakan cara atau pendekatan yang akan di tempuh dalam melaksanakan penelitian eksperimen atau non eksperimen Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang akan dilaksanakan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Metode eksperimen digunakan untuk menyelidiki ada tidaknya hubungan sebab akibat dan besar hubungan sebab akibat tersebut dengan cara memberikan perlakuan-perlakuan tertentu pada beberapa kelompok eksperimen dan menyediakan kontrol pembanding (Nazir, 1983: 75).

F. Tahapan dan Prosedur Penelitian

Penelitian ini direncanakan dengan beberapa tahapan pekerjaan. Tahapan-tahapan tersebut meliputi:

- a. Tahap persiapan, meliputi penyiapan bahan dan peralatan untuk penelitian. Persiapan dan pemeriksaan bahan susun mortar dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Bahan susun mortar tersebut adalah; semen portland, kapur, pasir Muntilan dan abu terbang dari PT. Varia Usaha Beton produksi PT. Tjiwi Kimia Putra. Sedangkan air yang digunakan dalam penelitian adalah air dari instalasi air bersih di laboratorium.
- b. Tahap pengujian bahan, tahap ini berfungsi untuk mengetahui karakteristik dari masing-masing bahan susun mortar.
- c. Tahap pembuatan benda uji mortar, meliputi perhitungan dan penimbangan berat masing-masing bahan, pengadukan bahan, uji sebar mortar dan pengecoran pada cetakan.
- d. Tahap perawatan, dilakukan dengan merendam benda uji mortar selama 56 hari atau ditutup dengan karung basah.
- e. Tahap pengujian benda uji, baik itu pengujian kuat tekan dan serapan air pada mortar.
- f. Tahap analisis data, yaitu tahap pengolahan data-data hasil penelitian.
- g. Tahap pengambilan kesimpulan.

G. Peralatan Penelitian

- a. Ayakan

- a. Ayakan dengan berturut-turut 4,8 mm; 2,40 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm yang dilengkapi dengan tutup, pan dan alat penggetar.
- b. Ayakan nomor 4,8 mm dan 0,84 mm digunakan untuk pengujian kapur.
- c. Ayakan nomor 0,074 digunakan untuk pemeriksaan abu terbang.
- b. Timbangan, digunakan untuk menimbang bahan susun adukan mortar dan benda uji.
- c. Gelas ukur, digunakan untuk mengukur banyaknya air yang akan digunakan untuk adukan mortar.
- d. *Stop watch*, digunakan untuk pengukuran waktu pengujian.
- e. Piknometer, digunakan untuk mengukur berat jenis bahan-bahan susun mortar.
- f. Oven, digunakan untuk memanaskan dan mengeringkan bahan-bahan susun mortar dan benda uji.
- g. Desikator, digunakan untuk mendinginkan bahan dan benda uji setelah dikeluarkan dari oven.
- h. Ember aduk dan cetok, digunakan untuk mengaduk mortar.
- i. Cetakan kubus mortar, digunakan untuk mencetak benda uji kubus mortar.
- j. Jangka sorong dan siku-siku, digunakan untuk mengukur semua dimensi bahan dan benda uji.
- k. *Universal Testing Machine*, digunakan untuk menguji kuat tekan mortar.
- l. Bak rendam, digunakan untuk merendam benda uji selama masa perawatan benda uji.

H. Pemeriksaan dan Pengujian Bahan Susun Mortar

Sebelum bahan-bahan susun mortar digunakan, bahan-bahan tersebut diperiksa dan diteliti. Berikut ini adalah pemeriksaan terhadap-masing-masing bahan.

a. Semen portland

Dalam penelitian ini, pemeriksaan semen hanya dilakukan dengan pemeriksaan visual. Semen diamati warna dan kehalusan butirnya, kemudian jika terdapat gumpalan maka gumpalan semen tersebut dihancurkan sehingga butirannya benar-benar halus.

b. Kapur

Pemeriksaan kapur adalah dengan pemeriksaan visual sebagaimana pemeriksaan pada semen. Pemeriksaan lainnya adalah pemeriksaan berat jenis kapur, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- Ambil sampel kapur secara acak, kemudian kapur tersebut dikeringkan dalam waktu 24 jam sampai benar-benar kering.
- Ambil sampel tersebut menjadi 2 bagian dengan berat masing-masing bagian 10 – 15 gram.
- Timbang masing-masing piknometer (W1 gram), pastikan piknometer dalam keadaan kering saat ditimbang. Tandai masing-masing piknometer tersebut agar tidak terjadi kesalahan memasukkan data.
- Masukkan sampel kapur ke dalam piknometer dengan hati-hati, jangan ada yang tertumpah, kemudian timbang piknometer + kapur tadi (W2 gram).

- Tuangkan air ke dalam piknometer sedikit-demi sedikit hingga menutupi atau membasahi semua kapur yang ada, kira-kira $\frac{1}{2}$ dari piknometer. Goyang-goyangkan piknometer agar semua sampel terbasahi oleh air, namun jangan ada yang tertumpah.
- Tutup piknometer dan diamkan selama 2 – 24 jam.
- Setelah didiamkan, hilangkan gelembung udara yang ada dengan merebusnya di atas kompor, setelah gelembung udaranya hilang, dinginkan sehingga suhunya sama dengan suhu ruangan. Tambahkan air lagi sampai memenuhi piknometer dan keringkan permukaan piknometer.
- Timbang piknometer (W3 gram), kemudian ukur suhunya ($t^{\circ} C$).
- Buang air dan sampel kapur yang ada dalam piknometer kemudian bersihkan, selanjutnya isi piknometer dengan air destilasi yang bersih hingga penuh. Usahakan tenggang waktunya tidak terlalu lama sehingga suhunya bisa dipertahankan. Keringkan permukaan piknometer dengan kain atau lap.
- Timbang piknometer berisi air (W4 gram)
- Hitung berat jenis sampel yang ada.

c. Abu terbang

Pemeriksaan abu terbang adalah dengan pemeriksaan visual sebagaimana pemeriksaan pada semen dan kapur. Pemeriksaan lainnya adalah pemeriksaan berat jenis abu terbang, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- Ambil sampel abu terbang secara acak, kemudian abu terbang tersebut dikeringkan dalam waktu 24 jam sampai benar-benar kering.
- Ambil sampel tersebut menjadi 2 bagian dengan berat masing-masing bagian 10 – 15 gram.
- Timbang masing-masing piknometer (W1 gram), pastikan piknometer dalam keadaan kering saat ditimbang. Tandai masing-masing piknometer tersebut agar tidak terjadi kesalahan memasukkan data.
- Masukkan sampel abu terbang ke dalam piknometer dengan hati-hati, jangan ada yang tertumpah, kemudian timbang piknometer + abu terbang tadi (W2 gram).
- Tuangkan air ke dalam piknometer sedikit-demi sedikit hingga menutupi atau membasahi semua abu terbang yang ada, kira-kira $\frac{1}{2}$ dari piknometer. Goyang-goyangkan piknometer agar semua sampel terbasahi oleh air, namun jangan ada yang tertumpah.
- Tutup piknometer dan diamkan selama 2 – 24 jam.
- Setelah didiamkan, hilangkan gelembung udara yang ada dengan merebusnya di atas kompor, setelah gelembung udaranya hilang, dinginkan sehingga suhunya sama dengan suhu ruangan. Tambahkan air lagi sampai memenuhi piknometer dan keringkan permukaan piknometer.
- Timbang piknometer (W3 gram), kemudian ukur suhunya ($t^{\circ}C$).
- Buang air dan sampel abu terbang yang ada dalam piknometer kemudian bersihkan, selanjutnya isi piknometer dengan air destilasi yang bersih hingga penuh. Usahakan tenggang waktunya tidak terlalu lama sehingga

suhunya bisa dipertahankan. Keringkan permukaan piknometer dengan kain atau lap.

- Timbang piknometer berisi air (W4 gram)
- Hitung berat jenis sampel yang ada.

d. Pasir

1. Pemeriksaan berat jenis pasir

Langkah-langkah pemeriksaan berat jenis pasir adalah sebagai berikut:

- Keringkan pasir dalam oven dengan suhu 110° C sampai beratnya tetap, selanjutnya pasir didinginkan pada suhu ruang dengan menggunakan desikator. Pasir tersebut kemudian di rendam air selama 24 jam.
- Setelah 24 jam, air rendaman pasir dibuang dengan hati-hati agar butiran pasir tidak terbang, menebarkan pasir dalam talam, kemudian dikeringkan di udara panas dengan cara membolak-balik pasir sampai kering.
- Masukkan pasir dalam piknometer seberat 500 gram, kemudian masukkan air ke dalam piknometer hingga mencapai 90% isi piknometer. Putar dan guling-gulingkan piknometer sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya. Jika ada gelembung udara, buang gelembung tadi dengan menggunakan pipet.

- Tambahkan air kembali piknometer dengan air sampai batas 90% kemudian ditimbang beratnya (Bt).
- Rendam piknometer dalam air dan ukur suhunya untuk penyesuaian perhitungan dengan suhu standar 25° C.
- Pasir dikeluarkan dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 110° C sampai beratnya tetap kemudian didinginkan dalam desikator, timbang beratnya (Bk).

2. Pemeriksaan gradasi pasir

Langkah-langkah pemeriksaan gradasi pasir adalah sebagai berikut:

- Keringkan pasir dalam oven dengan suhu 110° C sampai beratnya tetap.
- Keluarkan pasir dari oven didinginkan dalam desikator selama 3 jam.
- Menyusun ayakan sesuai dengan urutannya, ukuran terbesar diletakkan di atas yaitu 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm dan 0,15 mm.
- Memasukkan pasir dalam ayakan paling atas, tutup dan ayak dengan cara digetarkan selama 10 menit kemudian diamkan pasir selama 5 menit agar pasir tersebut mengendap.
- Pasir yang tertinggal dalam masing-masing ayakan ditimbang beserta wadahnya..
- Gradasi pasir yang didapat dengan cara menghitung komulatif prosentase butir-butir pasir yang lolos pada masing-masing ayakan.

Nilai modulus halus pasir dihitung dengan menjumlahkan prosentase kumulatif butir yang tertinggal kemudian dibagi seratus.

3. Pemeriksaan kadar lumpur pasir

Langkah-langkah pemeriksaan kadar lumpur pasir adalah sebagai berikut:

- Mengambil contoh pasir yang lolos ayakan no. 200 (0,075mm) telah kering oven selama 24 jam dengan suhu 110° C, timbang beratnya kira-kira 100 gram (G1).
- Mencuci pasir dengan air bersih yaitu dengan menuangkan pasir ke dalam gelas ukur yang berisi air yang mencapai 200 cc. Kemudian goyang-goyangkan (kocok) gelas ukur hingga air dan pasir tercampur, selanjutnya diamkan selama 1 menit dan air dibuang.
- Percobaan ini diulang-ulang sampai air benar-benar jernih dan bersih.
- Kemudian pasir di taruh di cawan dan dikeringkan dalam oven selama 24 jam selanjutnya ditimbang beratnya (G2).

e. Air

Pemeriksaan terhadap air dilakukan secara visual, yaitu air harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan garam sesuai dengan persyaratan air minum. Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air dari laboratorium Jurusan Teknik Sipil UNNES.

I. Tahap Perancangan Adukan

Ada 3 tahapan dalam perancangan adukan ini, yaitu;

a. Perhitungan dan penimbangan bahan susun mortar

Dalam tahap ini semua bahan dihitung dan kemudian ditimbang sesuai kebutuhan dari masing-masing komposisi campuran yaitu semen portland, kapur, abu terbang, pasir dan air. Perbandingan komposisi campuran dari bahan susun mortar adalah menggunakan perbandingan berat, sehingga kebutuhan bahan ditentukan dengan berat sesuai kebutuhan masing-masing variasi komposisi campuran.

b. Pembuatan pasta mortar

Langkah-langkah dalam pembuatan pasta mortar adalah sebagai berikut:

- Setelah masing-masing bahan ditimbang, bahan kemudian diaduk dalam keadaan kering hingga homogen dalam bak adukan. Langkah ini dilakukan agar pencampuran bahan-bahan tersebut bisa lebih mudah dan merata sehingga diharapkan mendapat hasil yang merata.
- Tuangkan air ke dalam bak adukan dengan merata, kemudian aduk hingga didapatkan adukan yang merata.
- Diamkan selama kurang lebih 1 menit, di dalam bak adukan, kemudian aduk kembali hingga benar-benar tercampur merata.

c. Uji sebar pasta mortar

Syarat diameter rata-rata (d_r) dari hasil uji sebar adalah 1 – 1,15 kali diameter semula (d_s). Diameter cincin meja uji sebar adalah 100 mm, jadi

diameter rata-rata maksimum yang diijinkan adalah 115 mm. Langkah-langkah dalam uji sebar mortar adalah sebagai berikut:

- Setelah pasta mortar sudah diaduk dan siap digunakan, siapkan alat uji sebar mortar.
- Letakkan cincin sebar di atas meja sebar, lalu isi dengan pasta mortar hingga kurang lebih $\frac{1}{2}$ dari cincin, padatkan dengan alat pemadat kurang lebih 20 kali tumbukan. Pengisian dilakukan dalam 2 lapis, setiap lapis harus dipadatkan.
- Ratakan permukaan atas mortar dalam cincin sebar dan bersihkan mortar yang menempel pada sisi luar cincin dan pada meja sebar.
- Angkat cincin sebar perlahan-lahan sehingga di atas meja sebar terbentuk kerucut terpancung.
- Meja sebar digetarkan sebanyak 25 kali selama 15 detik dengan tinggi jatuh meja $\frac{1}{2}$ inchi atau 12,7 mm.
- Ukur diameter bawah mortar di atas meja sebar, minimal dari 4 arah yang berbeda, lalu hitung diameter rata-rata (dr) mortar.
- Jika hasil diameter rata-rata mortar lebih dari 115 mm, maka pengujian diulangi dengan menambah atau mengurangi pemakaian air dalam mortar.

J. Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Mortar

a. Pembuatan benda uji mortar

Setelah uji sebar dilakukan tahap selanjutnya adalah pembuatan benda uji mortar. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut;

- Mortar di aduk sebagaimana langkah-langkah saat pembuatan pasta mortar.
- Mortar dimasukkan ke dalam cetakan kubus, pengisian cetakan dilakukan sebanyak 2 lapis dan setiap lapis dipadatkan 32 kali dengan alat pemadat. Pencetakan kubus mortar harus dimulai paling lama 2 ½ menit setelah pengadukan.
- Ratakan permukaan kubus mortar dengan menggunakan sendok perata.
- Simpan cetakan kubus-kubus mortar tersebut di tempat yang lembab selama 24 jam.
- Setelah itu cetakan dibuka dan kubus-kubus tersebut dikumpulkan dan ditandai untuk masa perawatan benda uji.

b. Perawatan benda uji mortar

Perawatan benda uji mortar dilakukan selama 56 hari dengan merendamnya dalam air atau menyimpannya di tempat yang lembab. Masa perawatan diperkirakan sekitar 56 hari karena mortar tersebut menggunakan bahan tambah pozolan, di mana masa pengikatan pozolan lebih lambat jika dibandingkan dengan masa pengikatan semen portland biasa. Benda uji baru ditiriskan atau diangkat paling tidak 1 hari sebelum pengujian.

K. Pengujian Mortar

a. Uji kuat tekan

- Masing-masing benda uji diukur panjang, lebar, tingginya dan ditimbang beratnya.
- Letakkan benda uji pada mesin uji tekan secara simetris.
- Jalankan mesin tekan dengan penambahan berat yang konstan. Perhatikan jarum manometer yang menunjukkan kenaikan kuat tekan yang terjadi.
- Lakukan pembebanan sampai benda uji hancur (beban maksimum), kemudian baca beban maksimum yang dapat ditahan benda uji dengan melihat jarum manometer.
- Lakukan pembebanan sampai benda uji hancur (beban maksimum), kemudian baca beban maksimum yang dapat ditahan benda uji dengan melihat jarum manometer.

b. Uji serapan air

- Mortar yang telah berumur 56 hari dimasukkan oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
- Setelah dioven, mortar kemudian ditimbang beratnya (W_1 gram).
- Kemudian mortar direndam air selama 24 jam.
- Setelah 24 jam, mortar diangkat dan dibiarkan kering udara kemudian ditimbang beratnya (W_2).

L. Analisis Data Hasil Pengujian

Metode analisis data yang akan digunakan dalam penelitian ini dengan analisis regresi. Analisis regresi ini digunakan untuk menyelidiki hubungan atau

keterkaitan masing-masing variabel, yaitu hubungan variabel bebas dan variabel terikat. Hubungan yang didapat nantinya dinyatakan dalam persamaan matematik yang menyatakan hubungan fungsional antara variabel-variabel dan diharapkan dapat menyimpulkan populasi secara umum (Sudjana, 1996: 310).

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian Bahan Susun Mortar dan Pembahasan

1. Air

Air yang digunakan dalam penelitian adalah air dari laboratorium Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Air diperiksa secara visual yang menandakan bahwa air yang digunakan layak untuk membuat adukan mortar. Air jernih tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa sehingga memenuhi syarat yang ditetapkan oleh SK SNI-S04-1989-F (1989:23).

2. Semen portland

Semen yang digunakan adalah semen portland jenis I produksi PT. Semen Gresik dengan kemasan 50 kg/zak. Semen yang digunakan saat penelitian tidak menggumpal dan dalam keadaan kering sehingga semen layak digunakan sebagai bahan penelitian.

3. Pasir

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir Muntilan yang didapatkan dari toko bangunan terdekat dengan laboratorium tempat dilaksanakannya penelitian. Pasir Muntilan digunakan dalam penelitian ini karena secara umum mutu pasir tersebut memenuhi syarat untuk dapat

digunakan sebagai bahan bangunan, walaupun demikian tetap perlu di adakan pemeriksaan mengenai mutu pasir tersebut. Berikut ini adalah hasil pemeriksaan yang dilakukan.

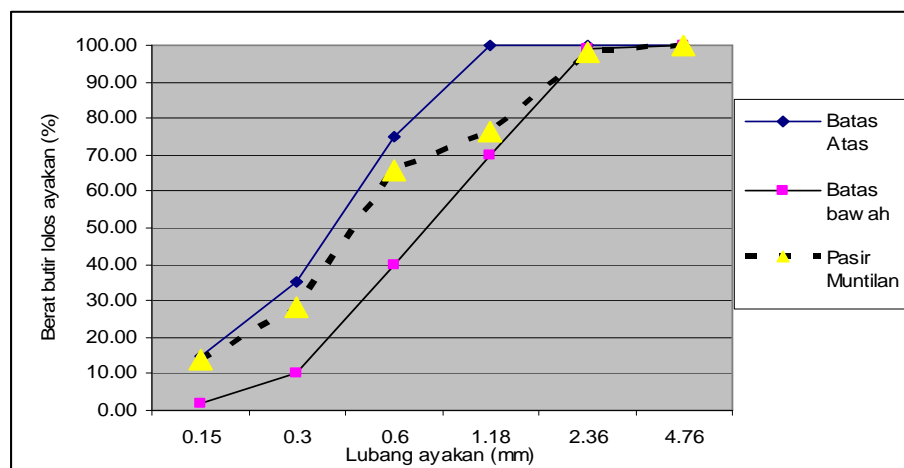
a. Kadar lumpur

Berdasarkan hasil 2 kali pemeriksaan yang dilakukan kadar lumpur pasir Muntilan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 3,707% sehingga pasir memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan bangunan karena menurut SNI 03-6821-2002 (2002: 172) kadar lumpur maksimum yang diijinkan adalah 5%.

b. Gradasi pasir

Hasil pemeriksaan pasir Muntilan bahwa modulus kehalusan pasir adalah 2,96 sehingga telah memenuhi syarat yang ditetapkan SNI 03-6821-2002 (2002: 172) yakni dengan modulus halus 2,0 sampai 3,0.

Hasil pemeriksaan gradasi pasir Muntilan menunjukkan bahwa pasir masuk dalam kategori sebagai pasir adukan/mortar. Grafik 4.1 berikut ini adalah grafik hasil pemeriksaan gradasi pasir Muntilan.



Gambar 4.1. Grafik Uji Gradasi Pasir Muntilan

c. Berat jenis pasir

Pemeriksaan berat jenis pasir Muntilan dilakukan sebanyak 2 kali dan hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa berat jenis pasir tersebut adalah 2,69. Berat jenis pasir Muntilan secara umum berkisar antara 2,5 sampai dengan 2,70 untuk beton normal dengan kuat tekan 15-40 MPa (Tjokrodimulyo, 1996), jadi pasir yang diperiksa tersebut masih memenuhi syarat sebagai bahan susun mortar.

4. Abu terbang

Abu terbang yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu terbang produk atau sisa pembakaran PT. Tjiwi Kimia Putra yang didistribusikan pada PT. Varia Usaha Beton. Abu terbang terlebih dulu diperiksa sebelum digunakan sebagai bahan penelitian yaitu untuk bahan susun mortar.

a. Warna dan kehalusan abu terbang

Abu terbang yang diperiksa ternyata dapat lolos seluruhnya pada ayakan 0,075 mm dan jika diperhatikan dan dipegang/dirasakan dengan tangan abu terbang memiliki butiran yang lebih halus dari semen. Abu terbang tersebut berwarna coklat kehitaman.

b. Berat jenis abu terbang

Berdasarkan pemeriksaan yang telah dilakukan, abu terbang yang digunakan dalam penelitian ini memiliki berat jenis rata-rata 2,129. Jadi berat jenis abu terbang lebih rendah dari berat jenis semen portland.

c. **Klasifikasi abu terbang**

Berdasarkan hasil pemeriksaan, abu terbang produksi PT. Tjiwi Kimia Putra distribusi PT. Varia Usaha Beton ini termasuk abu terbang kelas F (lihat lampiran 13). Hal ini didasarkan pada kadar SiO_2 (oksida silika) yang mencapai 48,31%, kadar Al_2O_3 (aluminium) sebesar 29,48% dan Fe_2O_3 (besi) sebesar 8,28%, dengan kandungan oksida silika, aluminium dan besi sudah mencapai lebih dari 70%.

5. Kapur

a. **Kehalusan kapur**

Kapur yang digunakan dalam adalah kapur tohor kelas I, maka sesuai persyaratan berat kapur yang tertinggal di atas ayakan bujur sangkar dengan diameter 0,88 mm harus kurang dari 5%. Kapur yang digunakan dalam penelitian ini hanya kapur yang lolos pada ayakan 0,85 mm sehingga sudah memenuhi syarat kapur tohor kelas I.

b. **Berat jenis kapur**

Berat jenis rata-rata dari hasil pemeriksaan pada lampiran 3 adalah 2,068. Jadi dari hasil pemeriksaan tersebut menunjukkan bahwa berat jenis kapur ternyata lebih rendah dari berat jenis abu terbang, semen portland dan pasir.

B. Hasil Uji Sebar Mortar dan Pembahasan

Data lengkap mengenai hasil pemeriksaan uji sebar mortar dapat dilihat pada lampiran 5. Tabel 4.1 berikut ini adalah hasil uji sebar mortar untuk masing-masing variasi komposisi campuran bahan.

Tabel 4.1. Diameter uji sebar mortar

Komposisi Campuran	Diameter uji sebar rata-rata (cm)				Diameter Rata-rata (dr)	% dr	Diameter maksimal (cm) 100%
	D1	D2	D3	D4			
1PC : 0AT : 1KP : 8PS	12.0	10.5	11.0	11.0	11.13	96.74	11.5
0,9PC : 0,1AT : 1KP : 8PS	10.5	10.5	11.0	10.8	10.70	93.04	11.5
0,8PC : 0,2AT : 1KP : 8 PS	10.0	10.5	10.0	10.5	10.25	89.13	11.5
0,7PC : 0,3AT : 1KP : 8PS	10.5	10.3	10.2	10.2	10.30	89.57	11.5
0,6PC : 0,4AT : 1KP : 8PS	10.0	10.5	10.00	10.0	10.20	88.70	11.5

Berdasarkan data tabel 4.1 hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa prosentase diameter rata-rata (dr) adalah antara 88,70% sampai dengan 96,74%, itu artinya data hasil pemeriksaan uji sebar yang telah dilakukan telah memenuhi syarat karena prosentase rata-rata uji sebar berada pada daerah antara 70% - 110%. Pengamatan visual dari hasil penelitian yang dilakukan juga menunjukkan bahwa pada prosentase dr sebesar 88,70% sampai 96,74% mortar cukup mudah untuk dikerjakan (tidak terlalu encer dan tidak terlalu kering).

C. Hasil Uji Kuat Tekan Mortar dan Pembahasan

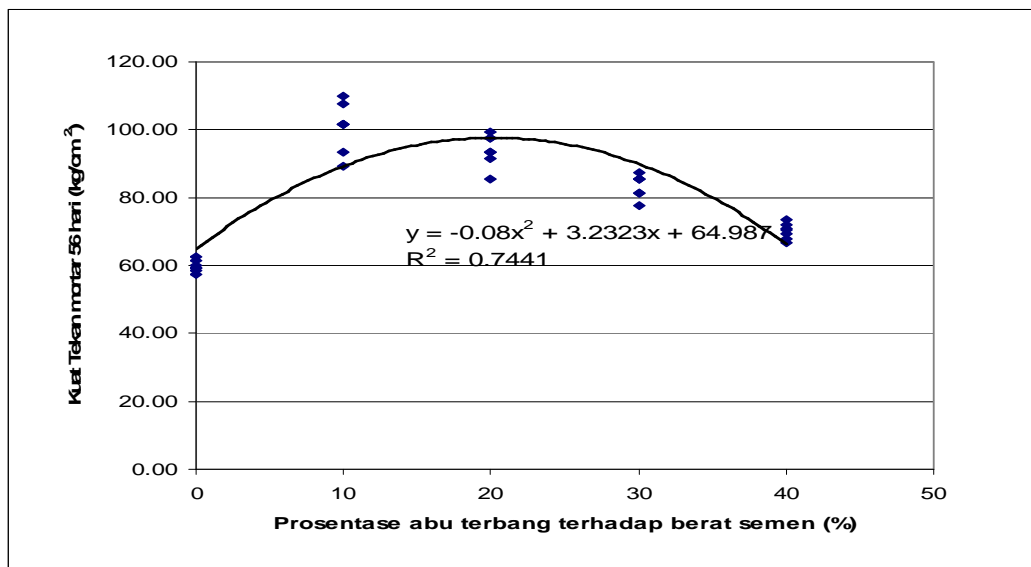
Uji kuat tekan mortar dilaksanakan setelah mortar mengalami perawatan hingga berumur 56 hari. Pengujian kuat tekan dilaksanakan setelah terlebih dahulu mengukur dimensi masing-masing sisi dari kubus mortar yang akan diuji. Hasil kuat tekan pada umur 56 hari kemudian diproyeksikan untuk mendapatkan kuat tekan karakteristik mortar pada umur 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan pada umur 56 hari dan proyeksi kuat tekan karakteristik (f_c') pada umur 28 hari ditunjukkan pada tabel 4.2 sedangkan hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 7.

Tabel 4.2. Kuat tekan mortar dengan bahan tambah abu terbang

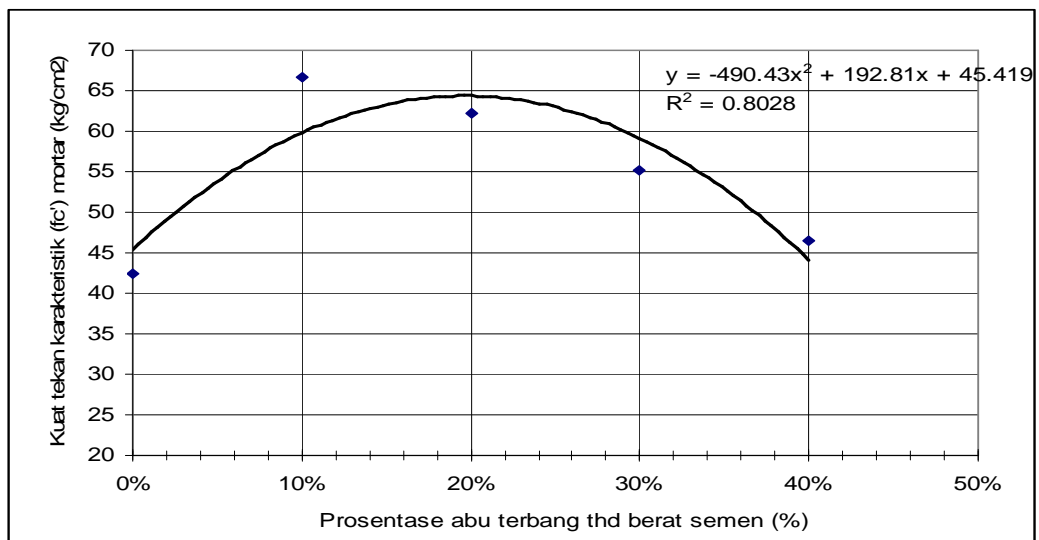
No	Prosentase Abu Terbang	Kuat Tekan Hancur 56 hari (Kg/cm ²)	Kenaikan kuat tekan (%)	Proyeksi kuat tekan karakteristik (f_c') umur 28 hari (Kg/cm ²)
1	0%	59.89	0.00	42.34
2	10%	100.72	65.37	66.69
3	20%	93.96	54.53	62.16
4	30%	83.41	37.65	55.17
5	40%	70.12	16.37	46.42

Berdasarkan tabel 4.2 di atas menunjukkan bahwa pada prosentase abu terbang terhadap berat semen sebesar 10% dicapai kuat tekan mortar optimal pada umur 56 hari yaitu 100,72 kg/cm² dengan f_c' = 66,69 kg/cm² dengan kenaikan kuat tekan sebesar 65,37% dari kuat tekan semula. Sedangkan mortar yang hanya berbahan ikat semen portland dan kapur prosentase abu terbang sebesar 0% yang dianggap sebagai kelompok kontrol menunjukkan bahwa kuat

tekan yang dicapai pada umur 56 hari sebesar $59,89 \text{ kg/cm}^2$ dengan $f_c' = 42,34 \text{ kg/cm}^2$. Kuat tekan tersebut masih di bawah kuat tekan mortar berbahan tambah abu terbang dengan prosentase 20% = $93,36 \text{ kg/cm}^2$ dengan $f_c' = 62,16 \text{ kg/cm}^2$, 30% = $83,41 \text{ kg/cm}^2$ dengan $f_c' = 55,17 \text{ kg/cm}^2$ dan 40% = $70,12 \text{ kg/cm}^2$ dengan $f_c' = 46,42 \text{ kg/cm}^2$. Hubungan kuat tekan mortar pada umur 56 hari dengan komposisi campuran bahan susun mortar dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut:



Gambar 4. 2. Kuat tekan mortar berbagai komposisi campuran umur 56 hari



Gambar 4. 3. Proyeksi kuat tekan karakteristik mortar umur 28 hari

Dari gambar 4.2 dan 4.3 terlihat bahwa kuat tekan mortar mengalami kenaikan karena penambahan abu terbang pada prosentase 10%, 20%, 30% dan setelah itu mengalami penurunan kembali pada prosentase 40% tapi kuat tekannya tetap lebih tinggi jika dibandingkan dengan mortar yang tanpa abu terbang. Hal ini sesuai dengan pendapat Ratmaya Urip (2002) yang mensyaratkan penggunaan abu terbang sebagai bahan bangunan yang paling baik adalah 20%-30%.

Kenaikan kuat tekan mortar pada penambahan abu terbang terjadi karena secara kimiawi abu terbang bersifat hidrolis yang bereaksi mengikat kapur bebas atau kalsium hidroksida $[Ca(OH)_2]$ yang dilepaskan semen saat proses hidrasi. Reaksi kimia yang terjadi tersebut membuat kapur bebas yang semula adalah mortar udara mengeras bersama air dan abu terbang yang akhirnya mempengaruhi kekuatan tekan mortar. Kadar kalsium hidroksida akibat proses hidrasi yang berkurang karena adanya pengikatan yang terjadi dengan abu terbang menyebabkan porositas dan permeabilitas berkurang sehingga membuat mortar menjadi lebih padat dan lebih kuat.

Abu terbang yang butirannya lebih halus dari semen dalam mortar secara mekanik juga akan mempengaruhi kuat tekan mortar karena akan mengisi pori-pori yang ada dalam mortar sehingga menambah kedapatan dan memudahkan pengerjaan, hal ini sesuai dengan pendapat Sofwan Hadi (2000) yang menyatakan bahwa abu terbang dapat menambah *workability* dan kualitas mortar dalam hal kekuatan dan kedapatan air. Kuat tekan mortar yang paling optimal didapatkan pada prosentase 10%.

Kapur sebagai bahan ikat hidrolik memiliki butiran yang terlalu besar sehingga tidak mampu bereaksi dengan abu terbang dan air, sedangkan yang mampu bereaksi dengan abu terbang dan air adalah kapur bebas yang merupakan hasil sampingan saat proses hidrasi semen terjadi. Menurut Ratmaya (2002), kapur bebas yang dilepaskan saat proses hidrasi semen adalah sekitar 20% dari berat semen sehingga sisa kapur bebas itulah yang nantinya akan bereaksi dengan abu terbang dan air menjadi mortar hidrolik yang lebih keras, maka wajar jika pada prosentase 10%, 20% dan 30% kuat tekan mortar mengalami peningkatan.

Laju kenaikan kuat tekan mortar kemungkinan akan bertambah seiring dengan umur mortar yang semakin bertambah sebagaimana pendapat Tjokrodimulyo (1996) yang menyatakan bahwa kuat tekan beton dengan bahan tambah abu terbang mengalami pengikatan yang lambat dan baru dapat mencapai kuat tekan optimal pada umur 90 hari.. Hal ini terjadi karena *Calcium Silicat Hidrat* (CSH) yang dihasilkan melalui reaksi Pozzolanik akan bertambah keras dan kuat seiring berjalannya waktu.

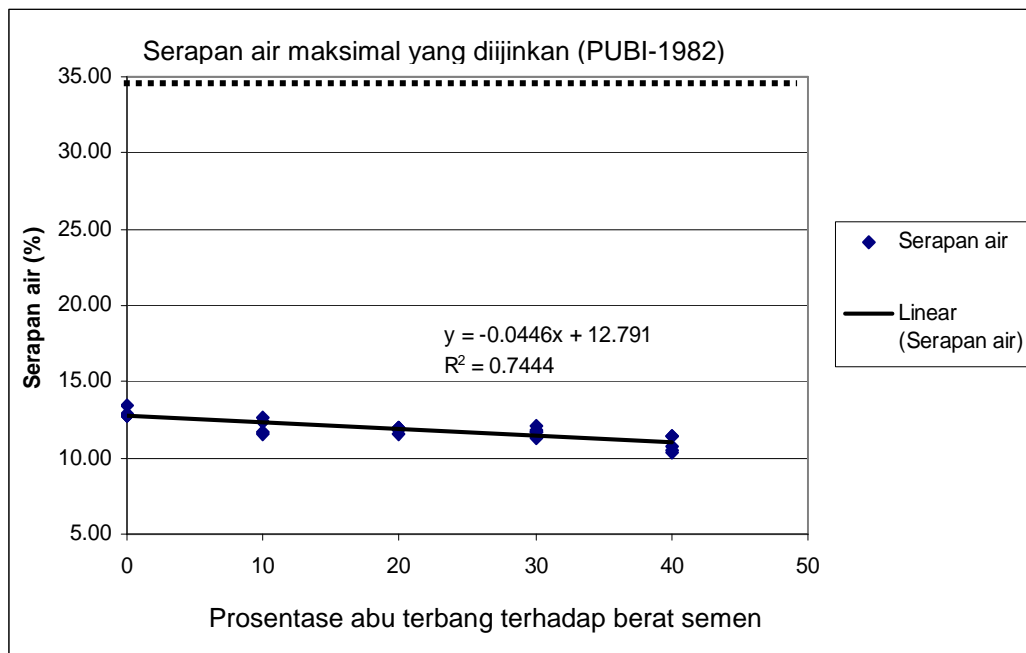
D. Hasil Uji Serapan Air dan Pembahasan

Pemeriksaan serapan air pada mortar dengan bahan tambah abu terbang dilaksanakan pada saat mortar berumur 56 hari. Data lengkap mengenai hasil pemeriksaan serapan air pada mortar dapat dilihat pada lampiran 8. Adapun hasil pemeriksaan tersebut secara garis besar dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3. Serapan air pada mortar dengan bahan tambah abu terbang

No	Prosentase Abu Terbang terhadap Berat Semen	Serapan Air Rata-rata (%)	Penurunan serapan air (%)
1	0%	12.912	0
2	10%	12.119	6.15
3	20%	11.868	8.09
4	30%	11.710	9.31
5	40%	10.886	15.69

Berdasarkan tabel 4.3 di atas dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah abu terbang yang digunakan maka serapan air yang terjadi pada mortar semakin kecil. Mortar yang menggunakan bahan ikat semen portland dan kapur dengan prosentase 0% merupakan mortar yang memiliki serapan air paling besar sebesar 12,912%. Sedangkan pada mortar yang menggunakan bahan tambah abu terbang menunjukkan penurunan serapan air yang berbanding terbalik. Semakin besar prosentase abu terbang yang digunakan maka serapan airnya semakin kecil. Penurunan serapan air terbesar adalah sebesar 15,69% terjadi pada abu terbang dengan prosentase sebesar 40%, walaupun demikian serapan air yang terjadi pada mortar tersebut masih memenuhi standar yang ditetapkan oleh PUBLI-1982 yang mensyaratkan serapan air maksimal pada mortar adalah sebesar 35%. Hubungan prosentase abu terbang terhadap berat semen yang digunakan pada mortar berbahan ikat semen portland dan kapur dengan besarnya nilai serapan air dapat dilihat pada grafik 4.3 berikut ini.



Grafik 4.3. Hubungan serapan air dengan prosentase abu terbang

Dari grafik 4.3 di atas, semakin besar prosentase abu terbang yang digunakan maka serapan air semakin berkurang. Serapan air optimal justru terjadi pada mortar yang tidak menggunakan bahan tambah abu terbang. Semakin bertambah abu terbang dalam komposisi campuran maka serapan air semakin berkurang. Hal ini sesuai dengan pendapat Sofwan Hadi (2000) yang menyatakan bahwa penggunaan abu terbang akan mengurangi serapan air pada beton atau mortar dan menambah workability mortar.

Hasil penelitian mortar dengan bahan tambah abu terbang yang menunjukkan penurunan nilai serapan air bertentangan dengan hasil penelitian Lasino (1993) tentang pemanfaatan limbah kapur industri soda sebagai bahan substitusi pada pembuatan conblock, paving block, dan genteng beton, yang menunjukkan bahwa nilai serapan air conblock mengalami peningkatan seiring

dengan jumlah pasta (semen+kapur+air). Meskipun dalam penelitian ini kedudukan kapur sebagai substitusi agregat, tetapi kapur masih termasuk dalam bahan ikat dan butiran kapur lebih besar daripada butiran semen. Hal ini menyebabkan terjadinya kerusakan pada pasta akibat pemanasan, sehingga porositas dan serapan air meningkat. Hal yang demikian tidak terjadi pada abu terbang yang menjadi bahan substitusi dalam mortar karena abu terbang selain sebagai bahan ikat juga sebagai bahan pengisi.

Abu terbang secara mekanis memiliki diameter butiran yang lebih halus dari butiran diameter semen, sedangkan secara kimiawi abu terbang mampu mengikat kapur padam yang dilepaskan oleh semen saat proses pengikatan atau hidrasi berlangsung menjadi massa padat yang tidak larut dalam air. Sebagai alternatif bahan ikat, abu terbang akan mengalami kerusakan saat proses pemeriksaan serapan air akibat pemanasan karena harus dioven terlebih dahulu. Sedangkan sebagai bahan pengisi (*filler*) abu terbang tidak akan mengalami kerusakan saat terjadi pemanasan dan justru akan membuat mortar menjadi lebih padat dan rapat sehingga nilai serapan air dan porositasnya menjadi kecil.

Dari hasil perhitungan modulus hidrolis (MH) pada Lampiran 16 menunjukkan bahwa prosentase abu terbang sebesar 20% – 30% memiliki MH yang mendekati MH yang dimiliki oleh semen, yaitu antara 1,8 – 2 (Sutopo dan Bhakti, 1977: 90) ini artinya penambahan abu terbang pada kapur dan semen portland akan mengembalikan sifat asli sebagai semen alam. Sedangkan pada prosentase 0% - 10% sebesar 2,47 – 2,975 nilai MH justru mendekati MH yang dimiliki kapur keras yaitu kurang dari MH semen portland (Sutopo dan Bhakti,

1977: 91). Hal ini menyebabkan mortar menjadi lebih cepat mengeras dan lebih padat walaupun pengikatan terjadi di dalam air. Pada prosentase abu terbang 40% nilai MH hanya sebesar 1,512 lebih rendah dari MH semen portland menunjukkan bahwa pada prosentase 40% abu terbang tidak efektif sebagai bahan ikat, tapi hanya sebagai bahan pengisi.

Abu terbang memiliki butiran yang lebih halus dari semen sehingga semakin besar prosentase abu terbang dalam mortar akan membuat *ball bearing* dalam pasta semakin banyak sehingga lubrikasi semakin baik. Menurut Ratmaya (2003) bentuk spherical partikel abu terbang menimbulkan karakter *water reducing* yang sama seperti *water reducing admixture* yang digunakan pada beton sebesar 2% – 10%. Dampak dari karakter *water reducing* pada abu terbang tentunya akan berdampak pada berkurangnya kebutuhan air yang akan meminimalkan pori-pori pada mortar. Mortar yang memiliki tekstur lebih padat dan sedikit pori tentu akan berpengaruh terhadap sifat mortar yang semakin kuat dan semakin rapat sehingga memungkinkan mortar lebih tahan terhadap serangan cuaca dan masuknya bahan-bahan kimia ke dalam mortar.

BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian mengenai penggunaan abu terbang dalam mortar yang telah dilaksanakan, yaitu:

1. Penambahan abu terbang dengan prosentase tertentu dari berat semen ternyata dapat meningkatkan kuat tekan mortar. Peningkatan kuat tekan terjadi pada prosentase abu terbang sebesar 10% dengan kuat tekan pada umur 56 hari sebesar $100,72 \text{ kg/cm}^2$ dan proyeksi kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari (f_c') = $66,69 \text{ kg/cm}^2$, pada prosentase abu terbang sebesar 20% dengan kuat tekan pada umur 56 hari sebesar $93,96 \text{ kg/cm}^2$ dan proyeksi kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari (f_c') = $62,16 \text{ kg/cm}^2$, pada prosentase abu terbang sebesar 30% dengan kuat tekan pada umur 56 hari sebesar $83,41 \text{ kg/cm}^2$ dan proyeksi kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari (f_c') = $55,17 \text{ kg/cm}^2$ dan pada prosentase abu terbang sebesar 40% dengan kuat tekan pada umur 56 hari sebesar $70,12 \text{ kg/cm}^2$ dan proyeksi kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari (f_c') = $46,42 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan pada mortar dengan kadar abu terbang 0% didapatkan kuat tekan pada umur 56 hari sebesar $59,89 \text{ kg/cm}^2$ dan proyeksi kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari (f_c') = $42,34 \text{ kg/cm}^2$.
2. Penambahan abu terbang pada bahan ikat semen portland dan kapur juga membuat mortar menjadi lebih kedap air karena nilai serapan air mortar menjadi semakin rendah. Serapan air pada mortar dengan abu terbang 0%

adalah sebesar 12,912%, pada prosentase 10% sebesar 12,119%, pada prosentase 20% sebesar 11,868%, pada prosentase 30% sebesar 9,31% dan pada prosentase abu terbang sebesar 40% nilai serapan airnya adalah 10,886%. Serapan air yang terjadi pada mortar masih memenuhi syarat yang ditetapkan oleh PUBI-1982.

3. Hasil analisis data dengan menggunakan persamaan regresi menunjukkan ada pengaruh yang signifikan akibat penggunaan abu terbang di dalam mortar terhadap kuat tekan dengan koefisien korelasi $R^2 = 0,7443$ dan terhadap serapan air pada mortar dengan koefisien determinasi sebesar 74,443%.

Dari penelitian tersebut dapat diketahui bahwa abu terbang selain sebagai bahan pengikat alternatif juga dapat menjadi bahan pengisi (*filler*). Sebagai bahan pengikat, keberadaan abu terbang dapat meningkatkan kuat tekan mortar sedangkan sebagai bahan pengisi abu terbang dapat mengurangi serapan air pada mortar.

B. Saran

Ada beberapa saran terkait dengan hasil penelitian yang telah dilaksanakan sehingga penelitian tersebut benar-benar dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari, antara lain:

1. Perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam sehingga didapatkan komposisi campuran bahan ikat semen portland, kapur dan abu terbang yang menghasilkan mortar yang berkualitas, memiliki kuat tekan dan kuat tarik yang tinggi serta mempunyai serapan air yang rendah.

2. Abu terbang adalah dapat menjadi bahan ikat alternatif yang dapat mengurangi konsumsi semen, maka perlu diusahakan dan dipublikasikan agar dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari sehingga dapat menjadi bahan ikat alternatif yang dapat meningkatkan nilai ekonomis limbah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1982. *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI-1982)*. Bandung
- Badan Penelitian dan Pengembangan NSPM KIMPRASWIL. 2002. *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara (SNI dan SK SNI Edisi 2002)*. Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah
- Clarence W Dunham. 1966. *The Theory and Practice of Reinforced Concrete*. New York, United States of America: McGraw-Hill Book Company
- Departemen ESDM dan Badan Litbang ESDM Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara. 2005. *Pabrik Percontohan Semen Pozolan Kapur, Lampung*. <http://www.tekmira.esdm.go.id/aset/pozolan/index/asp>
- Headwaters Resources of America. 2005. *Fly Ash Performance*. <http://ww.flyash.com/utilityindustrial.asp>
- Hidayat, S. Y. 1986. *Penelitian Pendahuluan Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) untuk Campuran Beton di Indonesia*. Jakarta: Jurnal Litbang Vol. III No. 4-5 April dan Mei 1986
- Husin, A. A. 1998. *Semen Abu Terbang untuk Genteng Beton*. Jakarta: Jurnal Litbang Vol. 14 No. 1 Tahun 1998
- Kardiyono Tjokrodimulyo. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit NAFIRI
- M. S. J. Gani. *Cement and Concrete*. Victoria Australia: Faculty of Engineering Monas University Clayton
- Moerdwiyono. 1998. *Diktat Teknologi Bahan*. Semarang
- Nadhiroh. M dan Lasino. 1986. *Pembuatan Semen Pozolan Kapur*. Bandung: : Jurnal Litbang Vol. III No. 4-5 April dan Mei 1986
- Nazir, Moh. 1998. *Metodologi Penelitian*. Jakarta: Galia Indonesia.
- Neville, A. M. 1977. *Properties of Concrete*. London: Pitman Publishing Limited
- Perpusatakaan Negara Malaysia. 2006. *Kapur Sirih*. <http://www.pnm.my/siripinang/sp-kapur.htm>.
- PT. Semen Gresik Indonesia. 2005. *Produk PT. Semen Gresik: Semen Portland Pozolan (PPC) dan Portland Cement (PC)*. <http://www.semengresik.com/indonesia/product/index.php?act=ppc>

- Pusat Penelitian dan Pengembangan. 1985. *Data Teknis Hasil Percobaan*. Semarang: Departemen Pekerjaan Umum
- Ratmaya Urip. 2003. *Teknologi Semen dan Beton: Fly Ash, Mengapa Seharusnya Dipakai pada Beton*. Gresik: PT. Semen Gresik Indonesia dan PT. Varia Usaha Beton
- Ronald E Walpole dan Raymond H Myers. 1986. *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*. Bandung: Penerbit ITB Bandung
- Scott, John. S. 1993. *Kamus Lengkap Teknik Sipil Edisi Ke-4*. Jakarta: Erlangga
- Shetty, M. S. 1978. *Concrete Technology*. India: LCUE
- Sofwan Hadi. 2000. *Pengaruh Ukuran Butir dan Komposisi Abu Terbang PLTU. Surabaya sebagai Pengisi dan Pozolan*.
<http://digilib.itb.ac.id/go.php?id=jbptit-gdl-s2-2005-robbytiaaw-1813>
- Sudjana. 1998. *Metode Statistika*. Jakarta: Rineka Cipta
- Sudjatmiko Nugroho. 2003. *Penggunaan Abu Terbang Sebagai Campuran Beton Aspal*
- Sugiyono. 2000. *Statistika untuk Penelitian*. Bandung: ALFABETA
- Suhud, R. 1993. *Beton Mutu Tinggi*. Jakarta: Jurnal Litbang Vol. IX No. 7-8 Juli – Agustus 1993
- Sutopo Edi. W dan Bhakti P. 1977. *Ilmu Bahan Bangunan*. Jakarta: Depdikbud
- Sutrisno Hadi. 2000. *Statistik Jilid 1, 2 dan 3*. Yogyakarta: Penerbit Andi
- Tatonas. 2003. *Petunjuk Pemakaian Compressive Strength of Hydraulic Cement. Type: TCM-160*. Yogyakarta: Tatonas
- Troxell, G. E. Davis, H. E, Kelly, J. W. 1968. *Composition and Properties of Concrete (Second Edition)*. New York: McGraw-Hill Book Company
- Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan 1989. *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam) (SK SNI S-04-1989-F)*. Bandung
- Wuryati Candra dan Samekto Rahmadiyanto. 2001. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius