



**PENGARUH ISIAN MORTAR TERHADAP  
KUAT LENTUR BAMBU**

skripsi  
disajikan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Jurusan Teknik Sipil

oleh  
Rizki Putriariani

5150403013

PERPUSTAKAAN  
UNNES

**TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

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

Hari :

Tanggal :

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr. Ir. Iman Satyarno, M.E.  
NIP : 131851323

Mego Purnomo, ST. MT.  
NIP : 132307552

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Ir. Iman Satyarno, M.E.  
NIP : 131415385

Mego Purnomo, ST. MT  
NIP : 131658240

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik UNNES

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Drs. Abdurrahman, MPd  
NIP. 130875753

Ir. Agung Sutarto, MT  
NIP. 131931831

## PERNYATAAN

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

Semarang, Januari 2009

Rizki Putriariani  
5150403013



## INTISARI

Pembangunan rumah ataupun bangunan lainnya di Indonesia sebagian besar menggunakan bahan bangunan dari kayu ataupun baja. Kayu memerlukan waktu selama 50 tahun untuk siap tebang, dan kayu mempunyai harga yang tidak murah. Begitu pula baja, harga tulangan baja semakin mahal ketersediaan bahan dasarnya yang semakin terbatas, serta memerlukan perawatan khusus yang cukup memakan waktu dan biaya. Sehingga diperlukan alternative lain seperti bambu, yang kemudian diisi dengan mortar untuk dimanfaatkan sebagai bahan bangunan.

Bambu memiliki sifat-sifat yang baik untuk dimanfaatkan sebagai bahan bangunan pengganti kayu, antara lain batangnya kuat terhadap kuat tarik, ulet, lurus, rata, keras, mudah dibelah, dan mudah dikerjakan serta ringan sehingga mudah untuk diangkut. Disamping itu struktur dari bambu cukup ringan dan lentur sehingga bangunan dari struktur bambu mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap gempa. Dengan pengisian mortar pada bambu dapat menambah kekuatan pada bambu dalam menahan beban. Sehingga bambu dengan isian mortar dapat digunakan sebagai bahan bangunan alternative.

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen, dengan menggunakan jenis bambu wulung. Kemudian eksperimen dimulai dengan melakukan pengujian kadar air. Pengujian kadar air digunakan tiga bambu yang masing-masing bambu diuji pada bagian pangkal, tengah, dan ujung. Dengan tiap bagian diambil masing-masing tiga benda uji. Pemeriksaan bahan grouting digunakan tiga buah silinder dengan diameter 9 cm dan tinggi 18 cm. Untuk pengujian kuat lentur digunakan benda uji sebanyak 24 benda uji. Antara lain 12 benda uji bambu dengan isian mortar dan 12 benda uji bambu kosong. Bambu yang digunakan berumur sekitar 3-5 tahun dengan kondisi kering udara, dengan panjang 200 cm dan dengan diameter 8-10 cm.

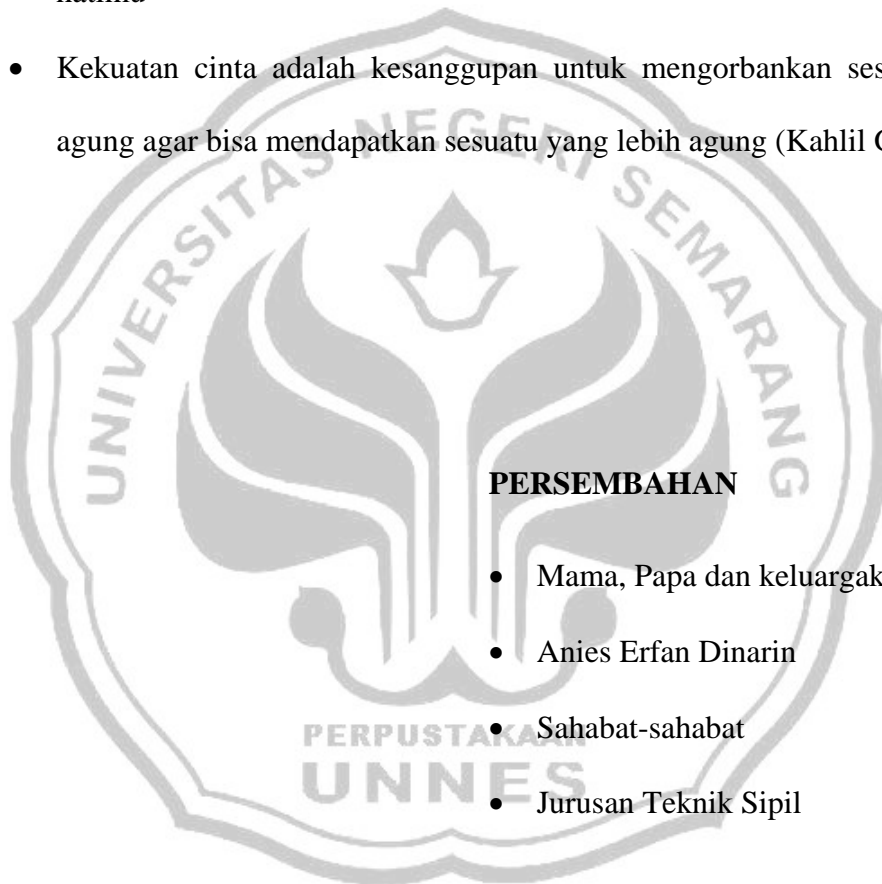
Pada pengujian kadar air diperoleh hasil : pada pangkal memiliki jumlah kadar air rata-rata 33,04%, pada bagian tengah memiliki rata-rata 30,935%, dan pada bagian ujungnya memiliki rata-rata 27,48%. Dari hasil pengujian bahan grouting diperoleh nilai modulus elastisitas : 129520 MPa, 133990 MPa, dan 135990 MPa. Hasil pengujian kuat lentur bambu dengan isian mortar didapat bambu dapat menahan beban rata-rata hingga 14000 N dengan jumlah lendutan maksimal yang terjadi rata-rata adalah 45 mm. Dan hasil pengujian kuat lentur bambu kosong hanya dapat menahan beban rata-rata hingga 6000 N, dengan jumlah lendutan maksimal yang terjadi rata-rata adalah 48 mm. Pada bambu dengan isian mortar pada bagian pangkal memiliki tegangan lentur rata-rata 36,49707369 MPa, dan pada bagian tengah bambu memiliki tegangan lentur rata-rata 29,5563374 MPa. Dan pada bambu kosong pada bagian pangkal memiliki tegangan lentur rata-rata 10,39374665 MPa, dan pada bagian tengah memiliki tegangan lentur rata-rata 11,30849967 MPa.

Kata kunci : bambu, mortar, kuat lentur.

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### MOTTO

- Gagal itu bukanlah kekalahan, selama kau memahami apa yang menguji hatimu
- Kekuatan cinta adalah kesanggupan untuk mengorbankan sesuatu yang agung agar bisa mendapatkan sesuatu yang lebih agung (Kahlil Gibran).



### PERSEMBAHAN

- Mama, Papa dan keluargaku
- Anies Erfan Dinarin
- Sahabat-sahabat
- Jurusan Teknik Sipil

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi dengan judul “Pengaruh Isian Mortar Terhadap Kuat Lentur Bambu” ini dapat penulis selesaikan.

Penulis menyadari bahwa penyusuna skripsi ini tidak mungkin terwujud tanpa bantuan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada :

1. Prof. Dr. H. Sudijono Sastroatmodjo, M.Si, Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Drs. Abdurrahman M.Pd selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Ir. Agung Sutarto, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
4. Nur Qudus S.Pd, MT selaku KaProdi Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.
5. Dr. Ir. Iman Satyarno, M.E selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing dan memberi pengarahan selama penulisan skripsi.
6. Mego Purnomo, ST, MT selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dan memberi pengarahan selama penulisan skripsi.
7. Seluruh dosen Jurusan Teknik Sipil.
8. Mama, Papa, kakak-kakakku dan malaikat-malaikat kecilnya yang telah memberikan semangat, motivasi, dan pengertiannya.

9. Anies Erfan Dinarin yang telah memberikan semangat, motivasi, perhatian, dan kesabarannya.
10. Sahabat-sahabatku, Icha, Itha, dan Dewi untuk kesetiaannya selama ini.
11. Teman-teman yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian, Dyka, mbak Anna, Tika, Danang, dan Reza.
12. Galuh dan Bayu untuk kebersamaannya selama penelitian.
13. Cha, chan, chiex, cher, dan “Juice Pete” untuk 3 tahun kebersamaannya.
14. Teman – teman mahasiswa jurusan Teknik yang telah membantu dalam proses penelitian dan penyelesaian skripsi ini.
15. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu kelancaran skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, dengan besar hati penulis sangat berterima kasih terhadap saran dan kritik yang akan dijadikan masukan guna perbaikan. Semoga skripsi ini bermanfaat untuk semuanya

Semarang, Januari 2009

Penulis

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN</b> .....	iii
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>INTISARI</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvi
<b>DAFTAR FOTO</b> .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Manfaat Penelitian .....	4
1.5. Batasan Masalah .....	4
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b>	
2.1. Bambu .....	5
2.1.1 Pengertian Bambu .....	5



2.1.2	Struktur Anatomi Bambu.....	5
2.1.3	Sifat Fisika Bambu.....	7
2.1.4	Sifat Mekanik Bambu .....	7
2.1.5	Perubahan Dimensi Bambu .....	12
2.1.6	Keawetan Bambu.....	13
2.2	Penelitian Terdahulu.....	15
2.2.1	Penelitian Jansse .....	15
2.2.2	Penelitian Morisco.....	15
2.2.3	Penelitian DPMB.....	16
2.2.4	Tegangan Ijin Untuk Perancangan .....	17
2.3	Penelitian Terdahulu Tentang Bambu Komposit.....	19
2.3.1	Bambu Belah Sebagai Tulangan Dinding .....	19
2.3.2	Bambu Sebagai Tulangan Beton.....	19

### **BAB III LANDASAN TEORI**

3.1	Kadar Air Bambu.....	22
3.2	Berat Jenis.....	22
3.3	Semen Portland .....	23
3.4	Air.....	24
3.5	Rapidard.....	25
3.6	Mortar .....	26
3.6.1	Pengertian Mortar.....	26
3.6.2	Jenis Mortar.....	26

3.6.2.1 Mortar Lumpur.....	26
3.6.2.2 Mortar Kapur .....	27
3.6.2.3 Mortar Semen.....	27
3.6.2.4 Mortar Khusus.....	28
3.6.3 Sifat Mortar.....	28
3.6.4 Perhitungan.....	29
3.6.4.1 Berat Jenis Pasir .....	29
3.6.4.2 Kandungan Lumpur Pada Pasir.....	29
3.6.4.3 Kadar Air Bambu .....	30
3.6.4.4 Kuat Tekan dari Bahan mortar.....	30
3.6.4.5 Perhitungan Tegangan Bambu .....	30
3.6.4.6 Kelengkungan Bambu.....	31

#### **BAB IV METODE PENELITIAN**

4.1 Bahan Penelitian.....	33
4.2 Variabel Penelitian.....	34
4.3 Alat Penelitian.....	35
4.4 Pelaksanaan Penelitian .....	37
4.4.1 Tahap Pemeriksaan Bahan Susun Mortar .....	37
4.4.1.1 Semen Portland .....	37
4.4.1.2 Pasir.....	37
4.4.1.2.1 Pemeriksaan Berat Jenis Pasir .....	37
4.4.1.2.2 Pemeriksaan Gradasi Pasir.....	39

4.4.1.2.3 Pemeiksaan Kandungan Lumpur pada Pasir .....	39
4.4.1.3 Air .....	40
4.5 Pemeriksaan Bambu .....	40
4.6 Pembuatan Benda Uji Mortar .....	41
4.7 Pembuatan Benda Uji Lentur.....	41
4.8 Pengujian Benda Uji Mortar .....	41
4.9 Pengujian Benda Uji Lentur .....	42
4.10 Perawatan Benda Uji .....	43

## **BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

5.1 Bahan Susun Mortar.....	44
5.1.1 Air.....	44
5.1.2 Semen .....	44
5.1.3 Pasir .....	45
5.1.2.1 Berat Satuan Pasir.....	45
5.1.2.2 Gradasi Pasir .....	45
5.1.4 Berat Jenis Pasir.....	46
5.1.5 Kandungan Lumpur Pasir.....	47
5.2 Sifat Fisik Bambu dan Mortar .....	47
5.2.1 Kadar Air .....	47
5.2.2 Pemeriksaan Mortar.....	48
5.2.3 Pengujian Lentur Bambu.....	49

**BAB VI SIMPULAN DAN SARAN**

6.1 Simpulan ..... 55

6.2 Saran ..... 58

**DAFTAR PUSTAKA ..... 59**



## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1 Hasil Uji Kembang-Susut Bambu.....	8
Tabel 2.2 Sifat Mekanika Bambu.....	9
Tabel 2.3 Kuat Tarik Bambu Kering Oven.....	10
Tabel 2.4 Kuat Tarik Rata-rata Bambu Pada Berbagai Posisi .....	11
Tabel 2.5 Kuat Tekan Rata-rata Bambu Bulat.....	12
Tabel 2.6 Kuat Tarik Rata-rata Bambu Kering Oven .....	16
Tabel 2.7 Modulus Elastisitas Lentur.....	17
Tabel 2.8 Modulus Elastisitas Tarik.....	17
Tabel 2.9 Kuat Batas dan Tegangan Ijin Bambu .....	18
Tabel 2.10 Hasil Pengujian 3 Spesies Bambu, Bambu Apus, Bambu Galah dan Bambu Petung.....	18
Tabel 5.1 Syarat Batas Gradasi Pasir .....	46
Tabel 5.2 Kadar Air Bambu.....	48
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar .....	49
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Bambu Dengan Isian Mortar .....	50
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Bambu Kosong .....	51
Tabel 5.6 Tegangan Pada Bambu Isian Mortar Pada Bagian Pangkal.....	53
Tabel 5.7 Tegangan Pada Bambu Isian Mortar Pada Bagian Tengah.....	54
Tabel 5.8 Tegangan Pada Bambu Kosong Pada Bagian Pangkal .....	54
Tabel 5.9 Tegangan Pada Bambu Kosong Pada Bagian Tengah .....	54

## DAFTAR GRAFIK

	<b>Halaman</b>
Grafik 5.1 Grafik Pemeriksaan Pasir Muntilan .....	46



## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 4.1 Benda Uji Lentur .....	42
Gambar 5.1 Pengujian Bambu Dengan Isian Mortar .....	51
Gambar 5.2 Pengujian Bambu Kosong .....	52



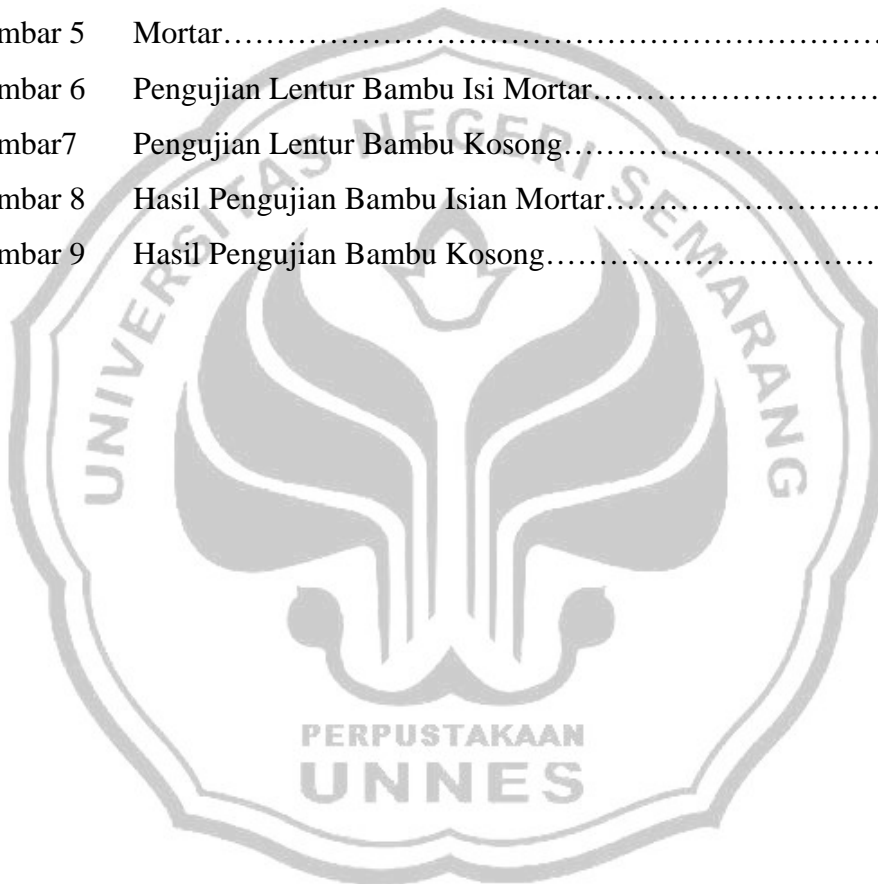
## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
Lampiran 1	Pemeriksaan Berat Jenis Pasir Muntilan ..... 1
Lampiran 2	Pemeriksaan Kandungan Lumpur Pasir Muntilan ..... 2
Lampiran 3	Pemeriksaan Gradasi Pasir Muntilan ..... 3
Lampiran 4	Grafik Penelitian Gradasi Pasir Muntilan ..... 4
Lampiran 5	Pemeriksaan Berat Satuan Pasir Muntilan ..... 5
Lampiran 6	Rancangan Adukan ..... 6
Lampiran 8	Kadar Air..... 8
Lampiran 9	Pengujian Mortar ..... 9
Lampiran 12	Pengujian Kuat Lentur Bambu Dengan Isian Mortar..... 12
Lampiran 107	Pengujian Kuat Lentur Bambu Kosong..... 107
Lampiran 193	Rekap Tegangan Lentur ..... 193
Lampiran 195	Contoh Perhitungan Pengujian Mortar..... 195
Lampiran 196	Contoh Perhitungan Pengujian Bambu Isian Mortar ..... 196
Lampiran 198	Contoh Perhitungan Pengujian Bambu Kosong..... 198



## DAFTAR FOTO

Gambar 1	Hidroulik Jack.....	200
Gambar 2	Dial Gauge.....	200
Gambar 3	Bambu Setelah Dipotong.....	201
Gambar 4	Bambu Setelah Diisi Mortar.....	201
Gambar 5	Mortar.....	202
Gambar 6	Pengujian Lentur Bambu Isi Mortar.....	202
Gambar 7	Pengujian Lentur Bambu Kosong.....	203
Gambar 8	Hasil Pengujian Bambu Isian Mortar.....	203
Gambar 9	Hasil Pengujian Bambu Kosong.....	204



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pembangunan rumah dan ataupun bangunan lainnya di Indonesia sebagian besar menggunakan bahan bangunan dari baja ataupun kayu. Kayu sebagai bahan bangunan rumah (penggunaannya sekitar 60 % dari jumlah bahan bangunan yang digunakan pada bangunan rumah) seperti penggunaan untuk kuda-kuda, kusen dan kerangka atap keberadaannya semakin berkurang. Selain mempunyai harga yang tidak murah, perawatannya pun dapat dikategorikan memerlukan perawatan yang cukup sulit apalagi kayu memerlukan waktu selama 50 tahun untuk siap di tebang. Disamping itu harga tulangan baja pun semakin mahal karena ketersediaan bahan dasarnya semakin terbatas. Dalam pembangunannya pun memerlukan perawatan khusus yang cukup memakan waktu dan biaya.

Karena itu, para ahli telah mencoba kemungkinan penggunaan bahan lain seperti bambu untuk dimanfaatkan sebagai tulangan beton alternative. Apalagi mengingat bambu dapat tumbuh disembarang lokasi, mulai di dataran rendah sampai dataran tinggi, di daerah beriklim tropis maupun sub tropis, juga karena bambu cepat tumbuh dan dapat dipanen hanya dalam waktu 2 sampai 5 tahun sejak mulai ditanam. Suatu kurun waktu yang relative singkat, serta dengan mengingat bahwa bambu mudah ditanam dan tidak memerlukan suatu perawatan yang khusus, maka bambu mempunyai peluang besar untuk menggantikan baja atau kayu yang baru siap ditebang setelah berumur 50 tahun (Morisco, 1996).

Bambu merupakan bahan bangunan biologik, yaitu bahan bangunan yang dapat dibudidayakan kembali (regeneratif) sehingga tidak dikhawatirkan akan kelangkaannya. Tanaman bambu di Indonesia ditemukan di dataran rendah sampai pegunungan dengan ketinggian sekitar 300 m dpl. Pada umumnya ditemukan di tempat-tempat terbuka dan daerahnya bebas dari genangan air. Tanaman bambu hidup merumpun, kadang-kadang ditemui berbaris membentuk suatu garis pembatas dari suatu wilayah desa yang identik dengan batas desa di Jawa. Pada umumnya yang sering digunakan oleh masyarakat di Indonesia adalah bambu wulung, bambu petung, bambu andong dan bambu hitam.

Di beberapa negara seperti Belanda, Jerman, Amerika Serikat dan negara-negara Amerika Latin, bangunan bambu dikenal sebagai bangunan yang eksotik, kuat, tahan lama, dan tahan terhadap pengaruh gempa. Dalam artian, bambu sangat memenuhi persyaratan sebagai bahan bangunan yang tahan terhadap gempa karena sifat kelenturannya yang cukup tinggi.

Penggunaan bambu sebagai perkuatan beton pada komponen struktur bangunan dapat digunakan sebagai pengganti baja tulangan yang selama ini sering digunakan. Bambu dikenal sebagai bahan yang ulet, mempunyai kekuatan tarik jauh lebih tinggi dari pada kayu, bahkan dari penelitian Pusat Studi Ilmu Teknik (PSIT) UGM diketahui kuat tarik kulit bambu petung setara dengan kuat tarik baja mutu sedang yang biasa dipakai oleh masyarakat sebagai tulangan beton. Sedangkan modulus elastisitas bambu lebih rendah dibandingkan dengan baja.

Bambu memiliki sifat-sifat yang baik untuk dimanfaatkan, antara lain batangnya kuat, ulet, lurus, rata, keras, mudah dibelah, dan mudah dikerjakan

serta ringan sehingga mudah untuk diangkut. Disamping itu struktur dari bambu cukup ringan dan lentur sehingga bangunan dari struktur bambu mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap gempa. Suatu kenyataan bambu mempunyai serat yang sejajar, sehingga kekuatannya terhadap gaya normal cukup baik. Bambu berbentuk pipa sehingga momen lembamnya besar, tetapi ringan, dengan adanya ruas-ruas maka bahaya tekuk local cukup rendah. Dengan pengisian mortar pada bambu diharapkan dapat menambah kekuatan bambu dalam menerima beban, menambah momen inersia sehingga menjadi kaku serta dengan diisi mortar bambu bersifat lebih stabil dan pejal. Karena jika bambu dibiarkan dalam ruangan terbuka, bambu mudah pejal, pecah, dan berubah akibat pengeringan udara.

Di Indonesia penggunaan bambu sebagai bahan bangunan cukup menonjol. Pada tahun 1955 Monroy telah melukiskan bahwa 80% penggunaan bambu di Indonesia adalah untuk konstruksi bangunan. Pada tahun 1980 bangunan bambu sebagai bahan bangunan di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), Jawa Tengah (Jateng), Jawa Timur (Jatim), dan Bali cukup tinggi yaitu sekitar 13% dari seluruh bahan bangunan yang berupa kayu dan bukan kayu. Peran bambu pada masa yang akan datang diperkirakan akan meningkat sesuai dengan peningkatan jumlah penduduk dan kegiatan pembangunan, dengan demikian bambu merupakan jenis tanaman yang penting untuk dikembangkan sebagai hutan tanaman, baik didalam maupun diluar kawasan hutan, LPIP (Gatot, 2001).

## 1.2 Perumusan Masalah

Seberapa besar pengaruh isian mortar terhadap kuat lentur bambu, dan bagaimana pengaruh kuat lentur bambu antara bambu dengan isian mortar dengan bambu kosong saat menahan beban tertentu.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh isian mortar terhadap isian bambu.
2. Pemanfaatan bambu sebagai bahan bangunan alternative.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh isian mortar terhadap kuat lentur bambu.
2. Hasil eksperimen yang dilakukan dapat dimanfaatkan sebagai alternative bahan bangunan yang lebih ekonomis di masyarakat.

## 1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, masalah dibatasi pada :

1. Bambu yang digunakan adalah bambu wulung yang telah berumur antara 3-5 tahun dengan variabel bambu yaitu diameter antara 8-10 cm dan tinggi 200 cm.
2. Bambu tersebut kering udara dan tidak perlu dijemur hanya ditaruh dalam ruangan.
3. Pengujian kuat lentur dilakukan pada saat umur benda uji 28 hari.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Bambu**

##### **2.1.1 Pengertian Bambu**

Bambu merupakan tanaman berumpun dan termasuk dalam famili gramineae dan terdapat hampir diseluruh dunia kecuali di Eropa. Jumlah yang ada di daerah Asia Selatan dan Asia Tenggara kira-kira 80% dari keseluruhan yang ada di dunia (Uchimura, 1980). Di Indonesia bambu merupakan tanaman yang sudah dikenal oleh masyarakat sebagai bahan bangunan sejak ratusan tahun lalu. Tanaman rumpun bambu dapat ditemui di pedesaan, bahkan sebagian besar masyarakat desa mempunyai rumpun bambu di pekarangannya. Bambu mempunyai kekuatan tarik cukup tinggi sampai 1280 kg/cm<sup>2</sup> (Morisco, 1996), ringan, sangat cepat pertumbuhannya (hanya perlu 3-5 tahun sudah siap ditebang), berbentuk pipa berruas sehingga cukup lentur untuk dimanfaatkan sebagai kolom.

##### **2.1.2 Struktur Anatomi Bambu**

Struktur anatomi batang bambu mempunyai kaitan erat dengan sifat-sifat fisik dan mekaniknya. Menurut Liese (1980), bambu memiliki ciri-ciri antara lain pertumbuhan primer yang sangat cepat tanpa diikuti pertumbuhan sekunder, batangnya beruas-ruas semua sel yang terdapat pada internodia mengarah pada sumbu aksial, sedang pada nodia mengarah pada sumbu transversal, dalam internodia tidak ada elemen-elemen radial (misalnya jari-jari) kulit bagian luar

terdiri dari satu lapis sel epidermis, sedang kulit bagian dalam terbentuk dari sklerenkim. Struktur melintang ruas ditentukan oleh ikatan pembuluh. Pada bagian tepi, ikatan pembuluh berukuran kecil dan berjumlah banyak. Pada bagian dalam ikatan pembuluh berukuran besar dan berjumlah sedikit, secara umum di dalam batang jumlah ikatan pembuluh menurun dari pangkal ke ujung dan kerapatannya meningkat.

Batang bambu terdiri dari sel parenkim dan ikatan pembuluh yang terdiri vessel, pembuluh tapis dengan sel tetangga dan serabut. Jumlahnya di dalam batang adalah 50% parenkim, 40% serabut, 10% vessel dan pembuluh tapis. Sel parenkim yang membangun jaringan dasar mempunyai dua tipe sel yaitu sel panjang dan sel tegak lurus berukuran  $100\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ , sedangkan sel pendek berbentuk kubus, sel panjang berdinding tebal dan mulai berlignin pada permukaan pertumbuhan tunas. Sel pendek mempunyai sitoplasma yang padat dan berdinding tipis. Dinding tersebut tidak mengalami lignifikasi walaupun dalam bambu tua, sitoplasmanya tetap aktif untuk waktu yang lama. Sel parenkim dihubungkan satu sama yang lainnya dengan noktah sederhana dan berukuran kecil pada dinding longitudinal.

Berdasarkan ketinggian batang, ikatan pembuluh akan semakin mengecil dari pangkal ke ujung. Epidermis merupakan sel terluar dari batang, dinding epidermis terdiri dari lapisan luar dan lapisan dalam. Lapisan dalam lebih tebal dan mengandung lignin tinggi. Bambu memiliki serabut 40% sampai 50% dari total jaringan, bentuknya panjang dan meruncing pada ujungnya. Pada penampang melintang, panjang serabut biasanya meningkat dari bagian tepi dan mencapai

maksimum pada bagian tengah lalu menurun dari arah luar dalam. Serabut bagian dalam batang selalu lebih pendek dan berada dekat buku, sedangkan serabut terpanjang terdapat pada bagian tengah.

### 2.1.3 Sifat Fisika Bambu

Menurut Ghavami (1988), batang bambu pada umumnya berupa batang silinder dengan diameter bervariasi dari 2 cm sampai 16 cm dan ketinggian bervariasi dari 3 meter sampai 21 meter. Diameter bambu berkurang sejalan dengan panjangnya, dari pangkal hingga ujung. Bambu yang silindris ini secara keseluruhan dipisahkan oleh nodia-nodia (ruas-ruas), permukaan luar batang tertutup oleh kulit luar yang keras mencegah sebagian kehilangan air dari batang bambu, secara umum ada 40% sampai 70% serat terkonsentrasi di bagian luar dan 15% sampai 30% di bagian dalam batang. Serat-serat tersebut terarah sepanjang sumbu batang dengan diameter 0,08mm hingga 0,7mm, tergantung pada spesies dan lokasinya pada tampang lintang.

Dan sebagai bahan bangunan, sifat fisika dari bambu yang perlu diketahui adalah sifat kembang susut agar komponen bangunan dapat didisain sedemikian sehingga tidak mengalami perubahan bentuk yang berlebihan sebagai akibat perubahan temperatur/kelembapan.

Triwiyono dan Morisco (2000) melakukan penelitian yang spesimennya diambil dari pangkal, tengah, dan ujung. Pengujian kembang-susut bambu yang dilaksanakan adalah kembang-susut volume tulangan keseluruhan, yang merupakan kombinasi antara kembang-susut radial dan tangensial. Kembang-



susut diperhitungkan terhadap volum kering udara, karena keadaan ini dianggap sebagai keadaan yang mendekati aplikasi bambu sebagai tulangan beton.

Tabel 2.1 Hasil Uji Kembang-susut Bambu

Spesies	Posisi	Muai rata-rata (%)	Susut rata-rata (%)	Kisaran (%)
<i>Gigantochloa apus</i> Bambu Apus	Pangkal	19,129	1,364	20,493
	Tengah	13,586	4,891	18,477
	Ujung	11,923	4,479	16,402
<i>Bambusa arundinacea</i> Bambu Ori	Pangkal	13,073	4,262	17,336
	Tengah	10,873	6,965	17,837
	Ujung	11,392	7,499	18,891
<i>Dendrocalamus asper</i> Bambu Petung	Pangkal	1,852	9,261	11,113
	Tengah	5,856	9,941	15,797
	Ujung	2,935	9,699	12,633
<i>Gigantochloa atrovioleacea</i> Bambu Wulung	Pangkal	15,461	2,677	18,138
	Tengah	8,284	8,950	17,235
	Ujung	3,866	7,562	11,428

Sumber : Triwiyono dan Morisco (2000)

#### 2.1.4 Sifat Mekanik Bambu

Menurut Surjono (1993), sifat mekanik adalah sifat yang berhubungan dengan kekuatan bahan dan merupakan ukuran kemampuan suatu bahan untuk menahan gaya luar yang bekerja padanya. Gaya luar adalah gaya yang datang dari luar benda tersebut ( membebani benda tersebut ) dan cenderung merubah ukuran dan bentuk benda tersebut. Sifat-sifat mekanik tersebut meliputi kekuatan

lentur statis, kekuatan tarik, kekuatan geser, sifat kekerasan dan lain-lain ( Wangaard, 1950 dalam Lukman ), seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat Mekanika Bambu

No.	Sifat	Bambu hitam	Bambu apus
1.	Keteguhan lentur statik		
	a. Tegangan pada batas proporsi (kg/cm <sup>2</sup> )	447	327
	b. Tegangan pada batas patah (kg/cm <sup>2</sup> )	663	546
	c. Modulus elastisitas (kg/cm <sup>2</sup> )	99000	101000
	d. Usaha pada batas proporsi (kg/dm <sup>3</sup> )	1,2	0,8
	e. Usaha pada batas patah (kg/dm <sup>3</sup> )	3,6	3,3
2.	Keteguhan geser (kg/cm <sup>2</sup> )	61,4	39,5
3.	Keteguhan belah (kg/cm <sup>2</sup> )	41,4	58,2
4.	Keteguhan pukul (sifat kekerasan)		
	a. Pada bagian dalam (kg/dm <sup>3</sup> )	32,53	45,1
	b. Arah tangensial (kg/dm <sup>3</sup> )	31,76	31,9
	c. Pada bagian luar (kg/dm <sup>3</sup> )	17,23	31,5

Sumber : Ginoga (1977)

Menurut Yap (1983), kebanyakan pengujian atas bambu di Indonesia menghasilkan kekuatan tarik (tegangan patah untuk tarik) sebesar 250 sampai 1000 kg/cm<sup>2</sup>, serta modulus kenyal sebesar 10000 sampai 30000 MPa. Pengujian ini juga menunjukkan kekuatan dan modulus kenyal bagian luar lebih besar daripada bagian dalam, juga kekuatan internodes lebih besar daripada nodes.

Kumar dan Dobriyal (1990), berdasarkan hasil penelitiannya menyatakan bahwa kekuatan bambu bagian luar lebih dari dua kali kekuatan bambu bagian dalam. Selanjutnya Morisco (1996), mengadakan pengujian kekuatan bambu Ori ( Bambusa Bambos Backer ), bambu Petung ( Dendrocalamus Asper Schult ), bambu Wulung ( Gigantochloa Verticillata Munro ), serta bambu Tutul ( Bambusa

Vulgaris Schrad ). Berdasarkan hasil yang disajikan pada Tabel 2.3 terlihat bahwa kekuatan bambu dengan nodia lebih rendah dari bambu tanpa nodia.

Turunnya kekuatan ini disebabkan karena serat bambu di sekitar nodia tidak lurus, sebagian berbelok menjauhi sumbu batang sedang sebagian lain berbelok menuju sumbu batang. Dengan demikian perancangan batang tarik dari bambu harus didasarkan pada kekuatan bambu dengan nodia.

Tabel 2.3 Kuat Tarik Bambu Kering Oven

Jenis Bambu	Kuat Tarik ( MPa )	
	Tanpa Nodia	Dengan Nodia
Ori	291	128
Petung	190	116
Wulung	166	147
Tutul	216	74

Sumber : Morisco ( 1966 )

Tabel 2.4 Kuat Tarik Rata-rata Bambu Pada Berbagai Posisi

Jenis Bambu	Bagian	Kuat Tarik (MPa)
<i>Dendrocalamus asper</i> (bambu Petung)	Pangkal	228
	Tengah	177
	Ujung	208
<i>Bambusa vulgaris</i> (bambu Tutul)	Pangkal	239
	Tengah	292
	Ujung	449
<i>Gigantochloa verticilata</i> (bamboo Galah)	Pangkal	192
	Tengah	335
	Ujung	232
<i>Gigantochloa apus</i> (bamboo Apus)	Pangkal	144
	Tengah	137
	Ujung	174

Sumber : Morisco ( 1966 )

Kekuatan tarik serat bambu yaitu suatu ukuran kekuatan bambu dalam hal kemampuannya untuk menahan gaya-gaya yang cenderung menyebabkan bambu itu terlepas satu sama lain. Kekuatan tarik dibedakan menjadi dua macam yaitu kekuatan tarik tegak lurus serat dan kekuatan tarik sejajar serat. Kekuatan tarik sejajar arah serat merupakan kekuatan tarik yang terbesar pada bambu. Kekuatan tarik tegak lurus serat mempunyai hubungan dengan ketahanan bambu terhadap pembelahan (Yododibroto, 1979).

Tabel 2.5 Kuat Tekan Rata-rata Bambu Bulat

Jenis Bambu	Bagian	Kuat Tekan (MPa)
<i>Dendrocalamus asper</i> (bambu Petung)	Pangkal	277
	Tengah	409
	Ujung	548
<i>Bambusa vulgaris</i> (bambu Tutul)	Pangkal	532
	Tengah	543
	Ujung	464
<i>Gigantochloa verticilata</i> (bamboo Galah)	Pangkal	327
	Tengah	399
	Ujung	405
<i>Gigantochloa apus</i> (bamboo Apus)	Pangkal	215
	Tengah	288
	Ujung	335

Sumber : Morisco ( 1966 )

### 2.1.5 Perubahan Dimensi Bambu

Menurut Prawiroatmodjo (1976), perubahan dimensi bambu tidak sama dari ketiga arah struktur radial, tangensial dan longitudinal sehingga kayu atau bambu bersifat anisotropis. Kedua jenis perubahan dimensi mempunyai arti yang sama penting, tetapi berdasarkan pengalaman praktis yang lebih sering menggunakan bambu dalam keadaan basah, maka pengerutan bambu menjadi perhatian yang lebih besar dibanding pengembangannya. Angka pengerutan total untuk kayu atau bambu normal berkisar antara 4,5% sampai 14% dalam arah

radial, 2,1% sampai 8,5% dalam arah tangensial dan 0,1% sampai 0,2% dalam arah longitudinal.

Pada penampang melintang bambu, makin mendekati bagian kulit batang susunan sel sklerenkim semakin rapat, sehingga kekuatan batang bambu paling besar berada pada bagian batang sebelah luar, selanjutnya pada kulit bagian luar bambu terdapat lapisan tipis dan halus yang sangat kuat. Dari pangkal ke ujung batang lapisan ini cenderung semakin tipis. Karena adanya bagian kulit batang bambu yang sangat kuat ini, maka perubahan dimensi akan terpengaruh yaitu dimensi bambu akan lebih stabil terutama ke arah tangensial. Akibatnya variasi kekuatan bagian kulit ini akan menyebabkan variasi penyusutan tangensial (Sutapa, 1986).

Bambu sebaiknya dipotong pada waktu musim panas agar kadar airnya sedikit sehingga perubahan dimensinya kecil. Bambu cenderung menyerap jumlah air yang besar bila terendam atau tertimpa hujan dan bila hal ini berlangsung pada waktu yang cukup lama, bambu dapat menyerap hingga 100% dari berat keringnya. Penyerapan air ini diikuti oleh pembesaran dimensi yang bertambah sebanding dengan penyerapan hingga mencapai batas kejenuhan/saturation point.

#### **2.1.6 Keawetan Bambu**

Menebang bambu pada saat yang tepat dapat mengurangi resiko serangan bubuk. Masyarakat pedesaan menggunakan pedoman waktu untuk menebang bambu agar terhindar dari serangan bubuk, yaitu pada waktu mangsa tua, yang umumnya dipilih mangsa ke10 atau ke11. hal ini disebabkan kandungan pati

(lignin) dalam pembuluh bambu yang menjadi makanan hama bubuk tidaklah sama sepanjang musim, kandungan pati bubuk naik turun mengikuti musim, mangsa ke11 jatuh pada bulan Mei merupakan mangsa paling sedikit serangan hama bubuk (Suthoni,1983).

Masing-masing jenis bambu juga mempunyai kandungan pati yang berbeda. Untuk mengurangi kadar pati dalam bambu, masyarakat pedesaan biasanya menggunakan cara perendaman dalam air sampai berminggu-minggu tapi makin lama direndam dalam air akan mengurangi kekuatan tekan maupun kekuatan lengkungnya (Sulthoni, 1983). Menurut Sutapa (1991), perendaman bambu dalam air sampai sembilan minggu tidak mempengaruhi kekuatan mekanika bambu, tetapi ada penurunan berat jenis bambu setelah direndam. Besarnya penurunan berat jenis bambu tersebut adalah 0,572; 0,552; 0,541 dan 0,523 masing-masing untuk lama perendaman 0 ; 3 ; 6 dan 9 minggu. Adanya kecenderungan turunnya berat jenis ini menandakan bahwa apabila perendaman dilakukan pada waktu yang terlalu lama kekuatan mekaniknya akan turun.

Disamping dengan cara perendaman, pengawetan bambu juga dilakukan dengan menggunakan zat kimia yang dikenal dengan proses Boucherie yang ditemukan di India kira-kira 40 tahun yang lalu, proses ini dengan menggunakan pompa air yang sederhana untuk mendorong bahan pengawet yang telah dicampur dengan air kedalam pembuluh bambu, dari bagian pangkal menuju ujung batang. Kandungan air bambu yang manis akan didorong keluar dan digantikan dengan larutan bahan pengawet sehingga bubuk tidak dapat menemukan zat manis sebagai bahan makanannya sehingga rayap tidak akan makan bambu atau

melubangi bambu dan kemudian bersarang di dalamnya, dan jika bubuk masih memakan bagian dari bambu atau melubangi bambu dan kemudian bersarang didalamnya, larva yang telah menetas akan mati karena zat yang termakan telah tercampur dengan bahan pengawet (YBLL, Ubud Bali, 1994).

## **2.2 Penelitian Terdahulu**

### **2.2.1 Penelitian Janssen**

Janssen (1980) mulai melakukan penelitian sifat mekanik bambu pada tahun 1974, khususnya yang berkaitan dengan sambungan rangka kuda-kuda untuk keperluan gedung sekolah dan bengkel. Berbagai pengujian telah dilakukan oleh Janssen di laboratorium untuk mengetahui kekuatan bambu terhadap tarik, tekan, lentur, dan geser, dengan pembebanan jangka panjang dan jangka pendek. Dalam penelitiannya dipakai bambu dari spesies *Bambusa Blumeana* berumur 3 tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan bambu sangat dipengaruhi oleh kelembaban bahan. Dari hasil penelitian kekuatan lentur rata-rata adalah sebesar 84 MPa, modulus elastisitas sebesar 20.000 MPa.

### **2.2.2 Penelitian Morisco**

Penelitian di bidang bambu juga dilakukan oleh Morisco pada tahun 1994-1999. Penelitian ini didorong oleh kenyataan bahwa kuat tarik bambu sangat tinggi, sedang dalam praktek kekuatan itu belum dimanfaatkan karena belum adanya metoda penyambungan bambu yang dapat menghasilkan sambungan dengan kekuatan yang memadai.



Pengujian ini dilakukan pada bambu tanpa maupun dengan nodia, yang ditujukan untuk membedakan kekuatan tarik sejajar sumbu batang. Dan pada Tabel 2.6 menunjukkan bahwa bambu tanpa nodia lebih kuat dibandingkan bambu dengan nodia.

Tabel 2.6 Kuat Tarik Rata-rata Bambu Kering Oven

Jenis Bambu	Kuat tarik tanpa nodia (MPa)	Kuat tarik dengan nodia (MPa)
Bambusa arundinacea (bambu Ori)	291	128
Dencrocalamus asper (bambu Petung)	190	116
Gigantochloa atroviolacea (bambu Wulung)	166	147
Gigantochloa verticilata (bambu Legi)	288	126
Bambusa vulgaris (bambu Tutul)	216	74
Gigantochloa verticilata (bambu Galah)	253	124
Gigantochloa apus (bambu Apus)	151	55

Sumber : Morisco (1994- 1999)

### 2.2.3 Penelitian DPMB

Penelitian sifat mekanik pada bambu untuk tulangan beton telah dilakukan DPMB (1984) pengujian dilakukan dengan bambu Apus (*Gigantochloa apus*), bambu Temen atau bambu Galah (*Gigantochloa verticilata*) dan bambu Petung (*Dencrocalamus asper*). Dalam penelitian ini digunakan bambu yang baik dan bebas cacat, berumur lebih dari 3 tahun, tinggi batang bambu kurang lebih 12 meter. Pengujian dilakukan setelah bambu kering udara, dengan kadar air 10% hingga 20%.

Tabel 2.7 Modulus Elastisitas Lentur (MPa)

Jenis Bambu	Minimum		Maksimum		Rata- rata	
	Dengan nodia	Tanpa nodia	Dengan nodia	Tanpa nodia	Dengan nodia	Tanpa nodia
Bambu apus	1,075	1,34	17,033	19,359	5,571	12,133
Bambu galah	2,862	3,667	29,569	22,789	5,562	12,139
bambu petung	2,267	12,249	26,672	31,547	10,329	21,658

Sumber : DPMB (1984)

Tabel 2.8 Modulus elastisitas tarik (MPa)

Jenis Bambu	Minimum		Maksimum		Rata- rata	
	Dengan nodia	Tanpa nodia	Dengan nodia	Tanpa nodia	Dengan nodia	Tanpa nodia
Bambu apus	4,467	7,796	16,105	24,455	8,908	15,225
Bambu galah	9,193	2,435	23,984	89,845	16,091	29,638
Bambu petung	12,533	18,989	19,516	82,645	14,864	32,079

Sumber : DPMB (1984)

#### 2.2.4 Tegangan Ijin untuk perancangan

Pemakaian bambu sebagai bahan bangunan cukup banyak dijumpai diberbagai daerah di Indonesia, maka Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman sebagai salah satu lembaga pemerintah yang bernaung dibawah Departemen Pekerjaan Umum, dalam upaya untuk membuat pedoman bagi masyarakat, telah melakukan penelitian, terhadap kekuatan bambu. Menurut Tular dan Sutidjan (1961), modulus elastisitas E bambu berkisar antara 9807- 29420 MPa, tetapi untuk perancangan dipakai E sebesar 29420 MPa.

Tabel 2.9 Kuat Batas dan Tegangan Ijin Bambu

Macam tegangan	Kuat batas (MPa)	Tegangan ijin (MPa)
Tarik	981- 3920	294,2
Lentur	686- 2940	98,07
Tekan	245- 981	78,45
E tarik	98070- 294200	196,1 x 10 <sup>3</sup>

Sumber : Tular dan Sutidjan (1961)

Tabel 2.10 Hasil Pengujian 3 Spesies Bambu, Bambu Apus, Bambu Galah dan Bambu Petung

Sifat	Kisaran	Jenis Spesimen
Kuat tarik	118- 275 MPa	234
Kuat lentur	78,5- 196 MPa	234
Kuat tekan	49,9- 58,8 MPa	234
E tarik	8728- 31381 MPa	54
E tekan	5590- 21182 MPa	234
Batas regangan tarik	0,0037- 0,0244	54
Berat jenis	0,67- 0,72	132
Kadar lengas	10,04- 10,81%	117

Sumber : Backer (Siopongo dan Munandar, 1987)

Pada Tabel 2.9 menunjukkan tegangan ijin yang dapat dipakai untuk berbagai macam bambu. Tegangan ijin yang direkomendasikan ini cenderung berada pada sisi yang aman untuk pemakaian berbagai macam bambu. Dengan demikian angka-angka tersebut jika dipakai sebagai dasar dalam perancangan, sehingga akan menghasilkan struktur yang konserfatif.

## **2.3 Penelitian Terdahulu Tentang Bambu Komposit**

### **2.3.1 Bambu Belah Sebagai Tulangan Dinding**

Bambu belah sebagai tulangan dinding diawetkan secara konvensional, yaitu dengan perendaman di dalam air. Bambu yang telah diawetkan dengan cara ini dapat bertahan cukup lama. Dinding dengan jenis ini mampu bertahan lebih dari 20 tahun dan terhindar dari rayap.

Untuk membuat dinding plester dengan tulangan bambu, mula-mula bambu dipecah-pecah sesuai ukuran yang diinginkan, kemudian bambu dianyam, lalu dipasang pada rangka kayu atau bambu. Anyaman bambu ini tidak perlu rapat dan berfungsi sebagai tulangan. Plester dibuat dari campuran semen dan pasir dengan perbandingan volume 1 pc : 5 pasir, ditambah air secukupnya. Adukan ini diplesterkan pada anyaman bambu yang telah terpasang. Tebal plester dapat dibuat antara 3-6 cm.

### **2.3.2 Bambu Sebagai Tulangan Beton**

Pemakaian bambu sebagai tulangan beton masih belum ada kesepakatan diantara pakar bambu. Karena lekatan antara bambu dengan beton kurang baik. Hal ini terjadi karena bambu sangat higroskopis, sedang kandungan air pada bambu sangat mempengaruhi kembang-susut. Pemakaian belahan bambu dalam ukuran besar sebagai tulangan beton tidak memberikan hasil yang baik, begitu juga pemakaian bambu utuh dengan diameter kecil atau cabang.

Dalam upaya untuk meningkatkan lekatan antara bambu dan beton, Surjokusumo dan Nugroho (1996) telah melakukan penelitian memakai bambu

petung (*Dendrocalamus asper*) sebagai tulangan beton. Dalam penelitian ini, terlebih dahulu bambu direndam di dalam air selama 3 bulan untuk menurunkan kandungan patinya. Berdasarkan hasil penelitian ini, Surjokusumo dan Nugroho (1996) menyatakan bahwa dari pemakaian bahan kimia untuk memperbaiki lekatan antara bambu dengan beton seperti aspal, vernis atau cat, pemberian lapis vernis pada permukaan bambu dapat memberikan hasil paling memuaskan.

Untuk memperbesar lekatan antara bambu tulangan dengan beton, maka Lopez (1996) telah melakukan penelitian dengan tulangan dari bambu yang dipilin seperti kabel. Sebagai bahan ulangan beton, bambu diambilkan dari bagian kulit dengan ketebalan 30% dari tebal total. Pengambilan bagian kulit ini dengan pertimbangan bahwa bagian itu relatif cukup padat sehingga sifat higroskopisnya rendah dan tidak memerlukan lapisan kedap air. Karena bagian itu hampir tidak menyerap air, maka kembang-susutnya juga sangat kecil. Selain itu, bagian kulit ini adalah bagian yang terkuat, dengan kuat tarik  $2052 \text{ kg/cm}^2$ . dari penelitian ini terlihat bahwa kuat tarik bagian luar ini adalah kurang lebih tiga kali kuat tarik bagian dalam.

Bambu dibentuk seperti kabel yang terdiri atas 3 strip atau lebih. Agar pemuntiran kabel bambu ini mudah dilakukan, maka dipilih bambu yang umurnya baru 9 bulan. Mengingat bahwa nodia bambu adalah bagian yang terlemah terhadap tarkan maka dalam pembuatan kabel bambu, nodia-nodia strip bambu perlu diusahakan tidak berkumpul pada satu titik. Dalam penelitian ini, dengan bentuk kabel terpilin maka lekatan antara kabel dengan beton diperoleh sebesar  $18,22 \text{ kg/cm}^2$ , atau lebih dari 3 kali lekatan antara beton dengan bambu

berdiameter kecil ( $5,09 \text{ kg/cm}^2$ ). Penulangan cara Lopez (1996) ini di Ecuador telah diaplikasikan pada program perumahan prafabrikasi di kota Guayaquil. Kabel bambu diaplikasikan pada balok dan fondasi, sedang pelat beton diberi tulangan bambu strip. Dalam 10 tahun bangunan dengan tulangan bambu tersebut tidak memperlihatkan keretakan.



## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **Kadar Air**

Menurut Liesse (1980), kandungan air dalam batang bambu bervariasi baik arah memanjang maupun arah melintang. Hal ini tergantung pada umur, waktu penebangan dan jenis bambu. Pada umur satu tahun batang bambu mempunyai kandungan air yang relative tinggi, yaitu kurang lebih 120% sampai 130%, baik pada pangkal maupun ujungnya. Pada bagian ruas kandungan air lebih rendah daripada bagian nodia. Kandungan air pada arah melintang yaitu bagian dalam lebih tinggi dibanding bagian luar. Selanjutnya Liesse (1980), menyatakan bahwa batang bambu yang telah berumur tiga tahun sampai empat tahun kandungan air pada bagian pangkal lebih tinggi daripada bagian ujung. Pada waktu penebangan juga disebutkan bahwa batang bambu yang ditebang pada musim kering mempunyai kandungan air yang minimum.

#### **Berat Jenis**

Berat jenis dinyatakan sebagai perbandingan antara berat kering tanur suatu benda terhadap berat suatu volume air yang sama dengan volume benda itu. Berat jenis bambu merupakan ungkapan banyaknya zat kayu atau sel dinding sel. Bambu yang mempunyai berat jenis besar berarti mempunyai jumlah zat dinding sel persatuan volume besar. Selanjutnya zat kayu ditentukan oleh beberapa factor antara lain tebal dinding sel, besarnya sel dan jumlah sel berdinding tebal. Jumlah

sel berinding pada bamboo berarti jumlah sel sklerenkim pada bamboo tersebut. Menurut Liesse (1980), berat jenis bambu berkisar antara  $0,5 \text{ gr/cm}^3$  sampai  $0,9 \text{ gr/cm}^3$ . Batang bambu bagian luar mempunyai berat jenis lebih tinggi daripada bagian dalam. Sedangkan pada arah memanjang berat jenis meningkat dari pangkal ke ujung. Berat jenis mempunyai hubungan terbalik dengan kadar air, semakin tinggi berat jenis semakin kecil kandungan airnya.

### **Semen Portland**

Semen Portland adalah 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, 1988:1). Persentasi dari oksida-oksida yang terkandung didalam semen Portland adalah sebagai berikut :

1. Kapur ( $\text{CaO}$ ) : 60 - 66 %
2. Silika ( $\text{SiO}_2$ ) : 16 - 25 %
3. Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) : 3 - 8 %
4. Besi : 1 - 5 %

Beberapa jenis dari semen portland dibuat dengan mengadakan variasi baik dalam perbandingan unsur-unsur utamanya maupun dalam derajat kehalusannya. Senyawa-senyawa tersebut diatas saling bereaksi di dalam tungku dan membentuk senyawa-senyawa kompleks dan biasanya masih terdapat kapur sisa karena tidak cukup bereaksi sampai keseimbangan reaksi tercapai. Pada



waktu perbandingan terjadi proses pengkristalan dan yang tidak terkristal beebentuk *amorf*.

Proses hidrasi pada semen Portland sangat kompleks, sehingga tidak semua reaksi dapat diketahui secara rinci. Rumus proses kimia (berupa perkiraan) untuk reaksi hidrasi dari unsur  $C_2S$  dan  $C_3S$  dapat ditulis sebagai berikut (Neville.1977) :



### 3.4 Air

Air yang digunakan untuk pembuatan beton harus bersih dan tidak mengandung minyak, tidak mengandung alkali, garam-garaman, zat organik yang dapat merusak mortar. Air tawar yang biasanya diminum baik air diolah oleh PDAM atau air dari sumur yang tanpa diolah dapat digunakan untuk membuat mortar. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat sehingga mudah dipadatkan.

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

1. Tidak mengandung lumpur atau benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.

2. 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 1000 ppm sebagai  $\text{SO}_3$ .
3. Air harus bersih.
4. Derajat keasaman (pH) normal  $\pm 7$ .
5. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
6. Jika dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan beton memakai air suling, penurunan kekuatan adukan yang memakai air yang diperiksa tidak lebih dari 10 %.
7. Semua air yang mutunya meragukan dianalisa secara kimia dan di evaluasi mutunya menurut pemakaian.
8. Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat diatas air tidak boleh mengandung khlorida lebih dari 50 ppm.

### 3.5 Rapidard

Mempunyai bentuk dan warna kuning cair. Berfungsi untuk mempercepat waktu dan pengerasan beton. Kegunaan rapidard :

1. Untuk pekerjaan beton yang membutuhkan waktu penyelesaian cepat.
2. Rapidard mengandung bahan anti korosi dan meningkatkan daya kerja adukan beton.

3. Mengurangi jumlah pemakaian air sesuai dengan jumlah rapidard yang ditambahkan.

Efek- efek yang terjadi adalah kekuatan normal beton dapat dicapai dalam waktu singkat.

Cara pemakaian : Rapidard dicampurkan dengan air adukan yang akan dipakai pada campuran beton.

## **3.6 Mortar**

### **3.6.1 Pengertian Mortar**

Mortar adalah campuran yang terdiri dari agregat halus, bahan pengikat dan air dengan cara diaduk sampai homogen. Mortar sering digunakan sebagai bahan plesteran, pekerjaan pasangan dan banyak pekerjaan lainnya. Bahan perekat yang digunakan dapat bermacam-macam, yaitu tanah liat, kapur, semen merah (bata merah yang dihaluskan) maupun semen Portland (Tjokrodimuljo, K. 1996).

### **3.6.2 Jenis Mortar**

Tjokrodimuljo (1996) membagi mortar<sup>4</sup> berdasarkan jenis bahan ikatnya menjadi empat jenis yaitu :

#### **3.6.2.1 Mortar Lumpur**

Mortar lumpur dibuat dari campuran pasir, tanah liat/lumpur dan air. Pasir tanah liat dan air tersebut dicampur sampai rata dan mempunyai kelecakan yang cukup baik. Jumlah pasir harus diberikan secara tepat untuk memperoleh adukan

yang baik. Terlalu sedikit pasir menghasilkan mortar yang retak-retak setelah mengeras sebagai akibat besarnya susutan pengeringan. Terlalu banyak pasir menyebabkan adukan kurang dapat melekat. Mortar ini biasanya dipakai sebagai bahan tembok atau bahan tungku api di desa.

### **3.6.2.2 Mortar Kapur**

Mortar kapur dibuat dari campuran pasir, kapur dan air. Kapur dan pasir mula-mula dicampur dalam keadaan kering, kemudian ditambahkan air. Air diberikan secukupnya agar diperoleh adukan yang cukup baik (mempunyai kekecekan baik). Selama proses pengerasan kapur mengalami susutan, sehingga jumlah pasir umumnya dipakai 2 atau 3 volume kapur. Mortar ini biasa dipakai untuk pembuatan tembok bata.

### **3.6.2.3 Mortar Semen**

Mortar semen dibuat dari campuran pasir, semen Portland dan air dalam perbandingan campuran yang tepat. Perbandingan antara volume semen dan volume pasir berkisar antara 1 : 2 dan 1 : 6 atau lebih besar. Mortar ini kekuatannya lebih besar dari pada kekuatan kedua mortar terdahulu, oleh karena itu biasa dipakai untuk tembok, pilar, kolom atau bagian lain yang menahan beban. Karena mortar ini rapat air maka dipakai juga untuk bagian luar dan dipakai pada bagian yang berada di bawah tanah. Pasir dan semen mula-mula dicampur secara kering sampai merata di atas suatu tempat yang rata dan rapat air. Kemudian sebagian air yang diperlukan ditambahkan kemudian diaduk lagi.

### 3.6.2.4 Mortar Khusus

Mortar khusus dibuat dengan menambahkan bahan khusus pada mortar kapur dan mortar semen dengan tujuan tertentu. Mortar ringan diperoleh dengan menambahkan *asbestos*, *jute fibers* (serat rami), butir kayu, serbuk gergajian kayu dan sebagainya. Mortar ini digunakan untuk bahan isolasi panas atau peredam suara. Selain itu juga ada mortar tahan api, diperoleh dengan menambahkan bubuk bata api dengan *aluminous cement*, dengan perbandingan satu *aluminous cement* dan dua bubuk bata api. Mortar biasanya dipakai untuk tungku api dan sebagainya.

### 3.6.3 Sifat-sifat Mortar

Mortar harus memenuhi standart untuk digunakan sebagai bahan bangunan. Mortar yang baik harus memenuhi sifat-sifat sebagai berikut :

1. Murah.
2. Tahan lama (awet) dan tidak mudah rusak oleh pengaruh cuaca.
3. Mudah dikerjakan (diaduk, diangkut, dipasang dan diratakan).
4. Melekat dengan baik dengan bata, batako, batu dan sebagainya.
5. Cepat kering dan keras.
6. Tahan terhadap rembesan air.
7. Tidak timbul retak-retak setelah dipasang.

Pemakaian mortar pada bangunan tertentu diisyaratkan untuk memenuhi mutu adukan yang tertentu pula. Sebagai contoh untuk bangunan yang bertingkat banyak diisyaratkan menggunakan mortar yang kuat tekan minimumnya 3,0 MPa.

Yang perlu diperhatikan dalam mortar :

1. Mudah dikerjakan (workability).
2. Sifat penyusutan (shrinkage) yang kecil.
3. Kekuatan (strength) yang cukup.

### 3.6.4 Perhitungan Hasil Penelitian

#### 3.6.4.1 Berat Jenis Pasir

$$\text{Bulk Spesifik Gravity} = \frac{W_2}{(W_1 + W_0 - W_3)} \dots\dots\dots(\text{Pers. 3.1})$$

$$\text{Bulk Spesifik Gravity SSD} = \frac{(W_0)}{(W_1 + W_0 - W_3)} \dots\dots\dots(\text{Pers. 3.2})$$

$$\text{Apparent Spesifik Gravity} = \frac{(W_2)}{(W_1 + W_2 - W_3)} \dots\dots\dots(\text{Pers. 3.3})$$

$$\text{Absorpsi} = \frac{W_0 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots(\text{Pers. 3.4})$$

Dimana :

$W_3$  = berat piknometer berisi pasir dan air (gram)

$W_2$  = berat pasir setelah kering oven (gram)

$W_3$  = berat piknometer berisi air (gram)

$W_0$  = berat pasir 500 gram dalam keadaan kering permukaan (gram)

#### 3.6.4.2 Kandungan Lumpur Pada Pasir

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \dots\dots\dots(\text{Pers. 3.5})$$

Dimana :

W1 = berat pasir kering oven

W2 = berat pasir kering setelah dicuci (gram)

### 3.6.4.3 Kadar Air Bambu

$$K_a = \frac{W_b - W_a}{W_a} \times 100\% \dots\dots\dots(\text{Pers. 3.6})$$

Dimana :

W<sub>b</sub> = berat kering udara (kg)

W<sub>a</sub> = berat kering tanur (kg)

K<sub>a</sub> = kadar air (%)

### 3.6.4.4 Kuat Tekan Dari Bahan Mortar

$$\sigma_{tk} = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(\text{Pers. 3.7})$$

Dimana :

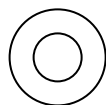
σ<sub>tk</sub> = kuat tekan (MPa)

F = beban (N)

A = luas penampang (mm<sup>2</sup>)

### 3.6.4.5 Perhitungan Tegangan Bambu

$$n = \frac{E_2}{E_1} \dots\dots\dots(\text{Pers. 3.8})$$



$$I_i = I_1 + nI_2 \dots\dots\dots(\text{Pers. 3.9})$$

$$y = \frac{y_1 A_1 + n y_2 A_2}{A_1 + n A_2} \dots\dots\dots(\text{Pers. 3.10})$$

$$\sigma_1 = \frac{M y}{I_i} \dots\dots\dots(\text{Pers. 3.11})$$

$$\sigma_2 = \frac{n M (y - t)}{I_i} \dots\dots\dots(\text{Pers. 3.12})$$

Dimana :

n = Angka modular (modular ratio)

I<sub>i</sub> = Momen inersia idiil (momen inersia penampang komposit)  
(cm<sup>4</sup>)

y = Jarak dari serat atas atau bawah balok susun (cm)

σ = Tegangan bahan (kg/cm<sup>2</sup>)

M = Momen (kgcm)

A = Luas tampang (cm<sup>2</sup>)

E = Modulus elastisitas (kg/cm<sup>2</sup>)

#### 3.6.4.6 Kelengkungan Bambu

$$\emptyset = \frac{w_1 - 2w_2 + w_3}{\Delta r^2} \dots\dots\dots(\text{Pers. 3.13})$$

$$\varepsilon = - y \cdot \emptyset \dots\dots\dots(\text{Pers. 3.14})$$

Dimana :

∅ = Kelengkungan batang

W<sub>1</sub> = Lendutan pada titik 1

W<sub>2</sub> = Lendutan pada titik 2



$W_3$  = Lendutan pada titik 3

$\Delta r$  = Jarak antar titik

$\varepsilon$  = Regangan batang

$y$  = Jarak dari serat atas atau bawah balok susun



## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen yang dilakukan dengan mengadakan penelitian di Laboratorium Bahan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Jenis penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengujian bahan, pengujian kuat lentur. Adapun langkah-langkah metodologi yang dilaksanakan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

#### **4.1 Bahan Penelitian**

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bambu

Dalam penelitian ini digunakan bambu Wulung (*Gigantochloa Verticillata* Monro). Bambu ini memiliki tebal dinding 0,6 sampai 1,75 cm, jarak ruas (node) 35 sampai 60 cm serta tinggi batang 8 sampai 12 m, setiap batang dipilih yang dalam keadaan sehat, normal dan tanpa cacat serta mencapai umur paling sedikit tiga tahun.

2. Bahan Mortar

Sebagai bahan mortar (bahan pengisi) digunakan campuran pasir semen dengan perbandingan berat 3 : 1 dengan fas 0,5.

### 3. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari jaringan air bersih dari Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Secara visual air tersebut berwarna jernih, tidak berasa dan tidak berbau.

### 4. Semen

Semen yang digunakan adalah semen Portland type I produksi PT Tonasa.

### 5. Agregat Halus

Pasir yang digunakan dalam penelitian adalah pasir Muntilan kabupaten Magelang Jawa Tengah.

### 6. Zat adiktif

Zat adiktif yang digunakan dalam penelitian adalah merk Rapidard.

## 4.2 Variabel Penelitian

Benda uji digunakan sebanyak 12 buah bambu kosong dan 12 untuk bambu isian mortar. Dimensi benda uji yang digunakan adalah diameter antara 8-10 cm sedangkan tinggi 200 cm. Pengambilan benda uji diambil pada setiap bambu adalah untuk bambu bagian pangkal dan bambu bagian ujung. Sedangkan untuk ruas-ruasnya dilubangi terlebih dahulu.

Bahan pengisiannya berupa mortar atau campuran antara semen dan pasir yang ditambahkan dengan zat adiktif yang berupa rapidart untuk mempercepat pengeringan.

### 4.3 Alat penelitian

Dalam penelitian ini peralatan yang digunakan adalah :

1. Universal Testing Machine (UTM)

Dalam penelitian ini digunakan UTM merk United dengan model SFM-30 serial no 989540 dengan kapasitas maksimum 133440 N (30 Kips) atau 13608 Kg. Berfungsi sebagai alat penguji tekan dan tarik.

2. Timbangan

Untuk mengukur berat dari bahan pengisi sebelum dicampur air, digunakan timbangan dengan kapasitas 2 Kg.

3. Ayakan

- a. Ayakan dengan diameter berturut-turut 4,8 mm ; 2,46 mm ; 1,2 mm ; 0,6 mm ; 0,3 mm ; 0,15 mm dilengkapi dengan tutup pan dan alat penggetar dengan merk Tatonas.
- b. Ayakan dengan diameter 0,075 mm dengan merk Tatonas digunakan untuk pemeriksaan kandungan lumpur dan pasir.

4. Gelas Ukur

Gelas ukur dipergunakan untuk mengukur volume air sebelum dicampur dengan bahan mortar, kapasitas gelas ukur yang dipergunakan 1000 ml.

#### 5. Cetakan Silinder

Digunakan cetakan silinder dengan diameter 8 cm dan tinggi 16 cm, untuk mencetak benda uji guna mengetahui kuat lentur dari bahan mortar.

#### 6. Oven dan Desikator

##### - Oven

Digunakan untuk menghitung kadar air. Benda uji kadar air di oven untuk mengetahui berapa besar kadar air yang terdapat pada benda uji tersebut.

##### - Desikator

Digunakan saat menghitung kadar air. Bambu yang telah dipotong sesuai ukuran ditaruh dalam desikator sesaat setelah bambu telah dioven.

#### 7. Mesin Uji Tekan

Mesin uji merk TANIFUJI kapasitas 1000 KN (100 ton) dengan diameter pelat beban 18 cm serta tinggi ruang bebas maksimum 33 cm digunakan untuk menuji kuat tekan dari silinder.

#### 8. Alat Pembebanan

Alat yang digunakan untuk pembebanan adalah hidroulik jack merk MARUTA kapasitas 15 Ton dan 23 Ton dioperasikan dengan tenaga manusia.

## 9. Dial Gauge

Untuk pembacaan lendutan, dipergunakan dial gauge merk MARUI. Tingkat ketelitian yang dapat terbaca adalah sampai dengan 0,01 mm.

### **4.4 Pelaksanaan Penelitian**

#### **4.4.1 Tahap Pemeriksaan Bahan Susun Mortar**

Persiapan dan pemeriksaan bahan susun mortar dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Bahan dan tahapan pemeriksaan meliputi :

##### **4.4.1.1 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.

##### **4.4.1.2 Pasir**

###### **4.4.1.2.1 Pemeriksaan Berat Jenis Pasir**

Langkah-langkah pemeriksaan berat jenis pasir adalah sebagai berikut :

- 1) Pasir dikeringkan dalam tungku pemanas (oven) dengan suhu sekitar 110° C sampai beratnya tetap.
- 2) Pasir direndam di dalam air selama 24 jam.

- 3) Air bekas rendaman dibuang dengan hati-hati sehingga butiran pasir tidak ikut terbang, pasir dibiarkan diatas nampan dikeringkan sampai tercapai keadaan jenuh kering muka. Pemeriksaan kondisi jenuh kering muka dilakukan dengan memasukkan pasir ke dalam kerucut terpacu dan dipadatkan dengan menumbuk sebanyak 25 kali. Pada saat kerucut diangkat pasir akan runtuh tetapi pasir masih berbentuk kerucut.
- 4) Pasir diatas sebanyak 500 gram ( $W_0$ ) dimasukkan ke dalam piknometer kemudian dimasukkan air sampai 90 % penuh. Untuk mengeluarkan udara yang terjebak dalam butiran pasir, piknometer diputar dan diguling-gulingkan sampai tidak terlihat gelembung udara didalamnya.
- 5) Air ditambahkan hingga piknometer penuh kemudian piknometer ditimbang ( $W_1$ ).
- 6) Pasir dikeluarkan dan dikeringkan dalam oven dengan suhu  $110^{\circ}\text{C}$  sampai beratnya tetap kemudian didinginkan dalam desikator. Kemudian pasir ditimbang ( $W_2$ ).
- 7) Piknometer dibersihkan lalu diisi air sampai penuh kemudian ditimbang ( $W_3$ ).

#### 4.4.1.2.2 Pemeriksaan Gradasi Pasir

Tujuannya untuk mengetahui variasi diameter butiran pasir dan modulus kehalusan pasir. Alat yang digunakan yaitu set ayakan 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, timbangan, dan alat penggetar.

Langkah-langkah pemeriksaan gradasi halus pasir sebagai berikut :

- 1) Pasir yang akan diperiksa dikeringkan dalam oven dengan suhu  $110^{\circ}\text{C}$  sampai beratnya tetap.
- 2) Ayakan disusun sesuai dengan urutannya, ukuran terbesar diletakkan pada bagian paling atas, yaitu 4,8 mm diikuti dengan ukuran ayakan yang lebih kecil berturut-turut 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; dan 0,15.
- 3) Pasir dimasukkan ke dalam ayakan yang paling atas dan diayak dengan cara digetarkan selama  $\pm 10$  menit.
- 4) Pasir yang tertinggal pada masing-masing ayakan dipindahkan ketempat atau wadah yang tersedia kemudian ditimbang.
- 5) Gradasi pasir diperoleh dengan menghitung jumlah kumulatif prosentase butiran yang lolos pada masing-masing ayakan. Nilai modulus butiran halus dihitung dengan menjumlahkan prosentase kumulatif butiran tertinggal, kemudian dibagi seratus.

#### 4.4.1.2.3 Pemeriksaan Kandungan Lumpur Pada Pasir

Langkah-langkah pemeriksaan kandungan lumpur untuk agregat halus pasir sebagai berikut :



- 1) Mengambil pasir yang telah kering oven selama 24 jam dengan suhu  $110^{\circ}\text{C}$  seberat 100 gr ( $W_1$ ).
- 2) Mencuci pasir dengan air bersih yaitu dengan memasukkan pasir kedalam gelas ukur 250 cc setinggi 12 cm diatas permukaan pasir. Kemudian diguling-gulingkan 10 kali dan didiamkan selama 2 menit. Air yang kotor dibuang tanpa ada pasir yang ikut terbang., langkah ini dilakukan sampai air tampak jernih.
- 3) Menuangkan pasir kedalam cawan kemudian membuang sisa air dengan pipet setelah itu pasir dikeringkan dalam oven dengan suhu  $110^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam.
- 4) Setelah 24 jam pasir dikeluarkan dalam oven dan didinginkan hingga mencapai suhu kamar kemudian pasir ditimbang ( $W_2$ ).

#### 4.4.1.3 Air

Air diperiksa warna dan kejernihannya secara visual yang menandakan bahwa air yang digunakan layak untuk membuat adukan mortar.

#### 4.5 Tahap Pemeriksaan Bambu

Dalam tahap ini pemeriksaan dilakukan pada bambu yang digunakan yaitu bambu wulung. Bambu wulung yang digunakan berumur 3-5 tahun. Bambu tersebut dipotong dengan ukuran 200 cm untuk tinggi dan 8-10 cm untuk diameternya. Bambu wulung ini cukup ditaruh dalam ruangan.

#### **4.6 Tahap Pembuatan Benda Uji Mortar**

1. Adukan mortar dimasukkan dalam cetakan silinder yang terbuat dari pipa yang sebelumnya telah diberi minyak pelumas pada bagian dalamnya.
2. Cetakan diisi dengan adukan mortar kemudian dipadatkan dengan cara digetarkan supaya mortar tidak turun apabila sudah kering. Hal ini dilakukan terus menerus hingga semua cetakan terisi penuh.
3. Permukaan mortar diratakan dengan tongkat perata sehingga permukaan atas adukan mortar rata dengan bagian atas cetakan.

#### **4.7 Tahap Pembuatan Benda Uji Lentur**

1. Bambu dipotong sesuai ukuran yaitu sepanjang 2 meter dengan diameter 8-10 cm.
2. Sebelum bambu diisi mortar, ruas-ruas yang ada dilubangi terlebih dahulu.
3. Setelah ruas dalam bambu telah dilubangi, mortar diisikan kedalam bambu dengan bantuan alat penggetar agar bambu terisi mortar dengan rata.

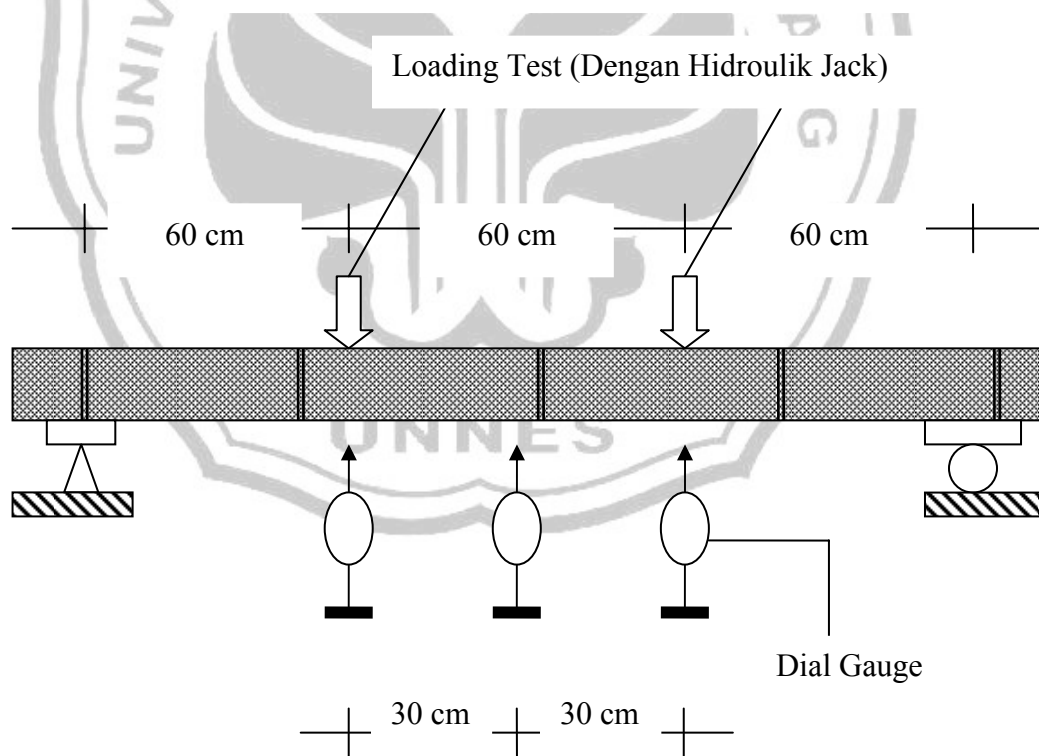
#### **4.8 Tahap Pengujian Benda Uji Mortar**

1. Letakkan bahan uji mortar pada mesin uji tekan.
2. Pasang dial gauge pada mesin uji tekan.
3. Jalankan mesin dengan penambahan berat yang konstan.
4. Baca besarnya lendutan yang terjadi pada dial gauge saat jarum pada mesin tekan terjadi penambahan.

### Tahap Pengujian Benda Uji Lentur

1. Letakkan benda uji pada mesin uji lentur secara simetris, lalu letakkan dial gauge pada tiap titik yang telah ditentukan. Jalankan mesin uji lentur (hidroulik jack) dengan penambahan berat yang konstan. Perhatikan jarum manometer yang menunjukkan beban yang dapat diterima oleh benda uji.
2. Saat hidroulik jack sedang menekan benda uji, baca besarnya lendutan yang terjadi pada dial gauge yang telah dipasang pada tiap-tiap titik.
3. Pengujian dihentikan saat benda uji bambu mulai pecah.

Gambar 4.1. Pengujian Lentur Bambu Isian Mortar



Gambar 4.1 menunjukkan benda uji bambu yang akan diuji kelenturannya. Benda uji diberi beban dengan alat hidroulik jack dan menggunakan dua beban terpusat agar terjadi lentur murni dan tidak terjadi geser. Pengujian benda uji menggunakan tumpuan sendi-roll dan diberi dial gauge pada titik-titik yang telah ditentukan.

### **Perawatan Benda Uji**

Perawatan benda uji mortar ini dilakukan selama 28 hari dengan menyimpannya di dalam ruangan. Masa perawatan diperkirakan sekitar 28 hari karena mortar tersebut menggunakan bahan penambah yang berupa zat adiktif yang dalam hal ini dapat mempercepat proses pengeringan.

Bambu dengan isian mortar akan mengalami gangguan dalam hal kerekatan. hal ini terjadi karena bambu sangat higroskopis, sedang kandungan air pada bambu sangat mempengaruhi kembang-susut. Karena itulah yang mengganggu kerekatan antara bambu dengan mortar. Namun dengan adanya sisa-sisa dari nodia yang telah dilubangi, dapat dijadikan shear connector. Sehingga kerekatan bambu dengan mortar menjadi lebih erat.

## **BAB V**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Pemeriksaan Bahan Susun Mortar**

Pemeriksaan bahan susun mortar dilakukan untuk menentukan layak atau tidaknya bahan-bahan penyusun mortar tersebut digunakan dalam pembuatan benda uji. Bahan-bahan yang diperiksa antara lain : air, semen, dan pasir. Dari pemeriksaan yang telah dilakukan terhadap bahan-bahan tersebut diperoleh hasil sebagai berikut :

##### **5.1.1 Air**

Dari pengamatan secara visual yang dilakukan terhadap air di laboratorium Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang yang digunakan dalam pembuatan mortar menunjukkan bahwa air tersebut bersih, tidak berwarna, tidak berbau, jernih dan tidak mengandung lumpur, minyak maupun benda terapung sehingga air tersebut dianggap memenuhi syarat untuk digunakan dalam pembuatan mortar.

##### **5.1.2 Semen**

Setelah dilakukan pemeriksaan secara visual bahwa semen dalam keadaan baik yaitu berbutir halus, tidak terdapat gumpalan-gumpalan, sehingga semen dapat digunakan sebagai bahan susun mortar.

### **5.1.3 Pasir Muntilan**

Pemeriksaan terhadap pasir Muntilan yang telah dilakukan antara lain : pemeriksaan berat jenis, gradasi dan kandungan lumpur dalam pasir. Dari hasil pemeriksaan diperoleh hasil sebagai berikut :

#### **5.1.3.1 Berat Satuan Pasir**

Penelitian berat satuan terhadap pasir Muntilan yang dilakukan di laboratorium bahan Universitas Negeri Semarang memperoleh hasil yaitu berat satuan pasir Muntilan yang dilakukan dengan pemadatan sebesar 1,69 kg/m<sup>3</sup> dan besarnya berat satuan pasir Muntilan yang diperiksa tanpa pemadatan sebesar 1,20 kg/m<sup>3</sup>. Pasir Muntilan yang digunakan digolongkan dalam agregat normal yaitu dengan berat satuan tanpa pemadatan antara 1,20 – 1,60. (Tjokrodimuljo, 1996).

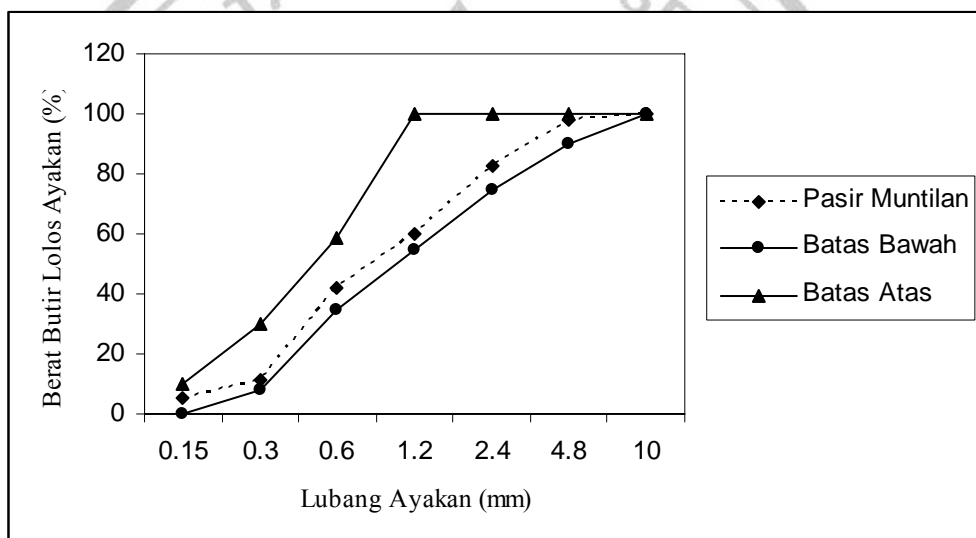
#### **5.1.3.2 Gradasi Pasir**

Hasil pemeriksaan pasir muntilan bahwa modulus kehalusan pasir adalah 3,06 sehingga memenuhi syarat yang ditetapkan SK SNI - S - 04 - 1989 - F yaitu dengan modulus halus 1,5 sampai 3,8. Tabel syarat batas gradasi agregat halus pada 2 zone dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Syarat Batas Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Berat tembus kumulatif (%)								Pasir Muntilan
	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		
	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	
10	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4,8	90	100	90	100	90	100	95	100	97,87
2,4	60	95	75	100	85	100	95	100	82,73
1,2	30	70	55	100	75	100	90	100	60,23
0,6	15	34	35	59	60	79	80	100	41,95
0,3	5	20	8	30	12	40	15	50	11,45
0,15	0	10	0	10	0	10	0	15	5,56

Grafik 5.1. Gradasi Pasir Muntilan



Dalam hasil pemeriksaan gradasi pasir muntilan di atas menunjukkan bahwa pasir masuk dalam kategori sebagai pasir agak kasar (zone 2).

#### 5.1.4 Berat Jenis Pasir

Pemeriksaan menunjukkan bahwa berat jenis pasir Muntilan adalah 2,449%. Berat jenis pasir Muntilan secara umum berkisar antara 2,5 sampai dengan 2,70 untuk beton normal dengan kuat tekan 15 – 40 MPa (Tjokrodimuljo,

1996), jadi pasir yang diperiksa masih memenuhi syarat sebagai bahan susun mortar.

### **5.1.5 Kandungan Lumpur Pasir**

Berdasarkan hasil pemeriksaan yang dilakukan, kadar lumpur pasir Muntlan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 4,37% sehingga pasir memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan bangunan karena kadar lumpur maksimum yang diijinkan adalah 5% (SNI 03-6821-2002).

## **5.2 Sifat Fisik Bambu**

### **5.2.1 Kadar Air**

Pemeriksaan sifat fisik dan mekanik bambu dari sekaran, gunungpati dilakukan pada kondisi bambu kering udara. Semua benda uji pada proses pembuatan dan pengeringan mendapat perlakuan yang sama. Setelah benda uji mencapai kering udara dilakukan pengukuran dan pengujian.

Untuk mengetahui kadar air benda uji pada kondisi yang dianggap kering udara tersebut dilakukan pengambilan sample secara acak dari bambu yang akan digunakan dalam penelitian. Pengujian kadar air digunakan tiga bambu yang masing-masing bambu diuji pada bagian pangkal, tengah, dan ujung. Hasil lengkap pengujian kadar air terdapat pada lampiran, dan besarnya kadar air menurut posisinya tercantum pada Tabel 5.2 :



Tabel 5.2 Kadar Air

Kode	Pangkal (%)	Tengah (%)	Ujung (%)
BU 1	35,85 %	29,77 %	26,06 %
BU2	26,78 %	32,61 %	28,90 %
BU3	36,51 %	29,26 %	27,98 %

Kadar air bambu pada pangkal antara 26,78 % - 36,51 % dengan rata-rata 33,04 %, bambu pada bagian tengah mempunyai rata-rata 29,26 % - 32,61 %, dan pada bagian ujungnya mempunyai rata-rata 26,06 % - 28,90 %.

Dari data diatas, dapat dilihat bahwa kadar air benda uji pada bagian pangkal lebih besar dari bagian ujung, hal ini menunjukkan bahwa umur bambu berkisar pada tiga hingga empat tahun, dan memiliki kualitas yang tergolong baik.. Sesuai dengan pernyataan Liesse (1980) yang menyatakan bahwa batang bambu yang telah berumur tiga tahun sampai empat tahun kandungan air pada pangkal lebih tinggi pada bagian ujung. Dan bambu dengan kualitas baik dapat diperoleh pada umur 3-5 tahun, suatu kurun waktu yang relatif singkat (Morisco, 1999).

### 5.2.2 Pemeriksaan Mortar

Nilai kuat tekan mortar diperoleh dari hasil pengujian 3 buah silinder dengan diameter 8 cm dan tinggi 16 cm.

Kuat tekan yang dipergunakan adalah kuat tekan rata-rata yang didapat dari 3 buah benda uji yang diuji pada umur 28 hari. Tujuan pengisian bahan

mortar adalah untuk mencari modulus elastisitas dari bahan mortar yang selanjutnya digunakan sebagai pembagi dengan modulus elastisitas bambu sehingga didapat angka modular komposit.

Dari hasil penelitian tersebut diperoleh nilai modulus elastisitas mortarnya adalah 12952 MPa, 13399 MPa, dan 13599 MPa. Rangkuman kuat tekan dari masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan data selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 8.

Berikut tabel 5.3 rekap hasil pengujian benda uji mortar :

Tabel 5.3 Kuat Tekan Mortar

Benda Uji	Beban Maksimum (N)	Tegangan Maksimum (MPa)	Modulus Elastisitas (E)
1	70000	13.933121	13599
2	70000	13.933121	12952
3	65000	12.937898	13399

### 5.2.3 Pengujian Lentur Bambu

Pengujian kuat lentur menggunakan dua macam benda uji. Yang pertama adalah pengujian kuat lentur bambu isian mortar, dan yang kedua adalah pengujian kuat lentur bambu kosong. Pengujian lentur masing-masing dilakukan dengan 12 buah benda uji dengan panjang bambu bersih 2 m. Diameter yang digunakan pada masing-masing benda uji berkisar antara 8-10 cm. Pengujian lentur menggunakan tumpuan sendi-roll dengan dua pembebanan. Dengan menggunakan parameter modulus elastisitas bambu dari pengujian tarik yang hasilnya diambil dari hasil penelitian terdahulu, dan modulus elastisitas mortar dari uji tekan bahan mortar.

Pada Tabel 5.4 adalah rekap hasil lendutan yang terjadi pada setiap benda uji dengan isian mortar. Dari data tersebut menunjukkan bahwa benda uji dapat menahan beban maksimal terbesar hingga 14532 N. Pembacaan dial gauge dilakukan secara bersamaan, dan dibaca setiap beban mengalami kenaikan 50 kg atau 500 N. Pengujian dihentikan ketika angka pada hidroulik jack berhenti atau menurun, dan benda uji sudah mengalami pecah. Data selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran-12 hingga Lampiran-106 .

Tabel 5.4 Hasil Lendutan Pada Setiap Benda Uji Dengan Isian Mortar

Benda Uji	Beban Maksimal Yang Terjadi (N)	Lendutan		
		Lend. 1 (mm)	Lend. 2 (mm)	Lend. 3 (mm)
1	14532	36,68	40,26	38,21
2	13532	39,14	40,45	38,88
3	14032	41,31	43,88	40,85
4	13532	38,26	39,92	38,15
5	13532	38,75	40,58	38,19
6	13532	39,26	40,33	38,64
7	13532	38,92	40,53	38,49
8	14032	43,14	45,26	42,51
9	13532	34,28	35,73	33,59
10	14032	43,32	45,44	42,51
11	13532	38,73	40,59	38,37
12	14032	44,13	46,29	43,52

Gambar 5.1. Kerusakan Yang Terjadi Pada Bambu Isian Mortar



Pada bambu isian mortar mengalami kerusakan pada bagian pinggir dan atau pada bagian tengah benda uji. Kerusakannya berupa retakan atau pecah seperti yang digambarkan pada Gambar 5.1.

Tabel 5.5 Hasil Lendutan Pada Setiap Benda Uji Kosong

Benda Uji	Beban Maksimal Yang Terjadi (N)	Lendutan		
		Lend. 1 (mm)	Lend. 2 (mm)	Lend. 3 (mm)
1	6032	44,45	48,61	43,7
2	5532	37,22	39,94	36,82
3	6532	52,38	56,42	51,31
4	6532	53,83	57,72	52,25
5	5532	37,18	39,83	36,69
6	6032	43,65	46,36	42,41
7	6032	44,56	46,38	43,75
8	6532	52,14	55,93	51,25
9	6532	54,28	56,51	53,41
10	5032	32,84	35,28	32,79
11	5532	35,58	38,37	35,23
12	6532	53,04	55,26	52,15

Tabel 5.5 adalah rekap hasil lendutan yang terjadi pada benda uji kosong. Benda uji dapat menerima beban maksimal terbesar hingga 6532 N. Sistem pengujian dilakukan sama seperti pada saat pengujian benda uji dengan isian mortar. Pembacaan dihentikan ketika benda uji sudah mengalami kelengkungan dan spidometer pada hidroulik jack statis atau menurun.

Gambar 5.2. Kerusakan Yang Terjadi Pada Bambu Kosong



Pada bambu kosong mengalami kerusakan pada bagian tengah benda uji. Kerusakannya berupa lengkungan seperti yang digambarkan pada Gambar 5.2.

Pada bambu dengan isian mortar pada bagian pangkal memiliki tegangan lentur rata-rata 36,49707369 MPa dan pada bagian tengah bambu memiliki tegangan lentur rata-rata 29,5563374 MPa. Dan pada bambu kosong pada bagian pangkal memiliki tegangan lentur rata-rata 10,39374665 MPa dan pada bagian

tengah bambu memiliki tegangan lentur rata-rata 11,30849967 MPa. Pada bagian ujung bambu memiliki tegangan lentur yang kecil karena bambu pada bagian ujung memiliki diameter yang kecil sehingga momen inersia yang didapat juga kecil yang mengakibatkan kekakuan pada bambu pada bagian ujung kecil.

Pada Tabel 5.6, Tabel 5.7, Tabel 5.8, Tabel 5.9 secara berurut adalah analisis tegangan yang terjadi pada bambu isian mortar dan bambu kosong pada bagian pangkal dan tengah. Pada bagian pangkal, antara bambu kosong dan bambu isian mortar memiliki kenaikan hingga 300%. Dan pada bagian tengah, antara bambu kosong dengan bambu isian mortar memiliki kenaikan hingga 200%. Dari data yang didapat ini, maka dengan pengisian mortar pada bambu dapat menambah momen inersia bambu yang menghasilkan bambu menjadi kaku sehingga dengan kekakuan yang besar bambu dapat menerima beban dengan maksimal dan mendapatkan tegangan yang besar.

#### 5.6 Tegangan Pada Bambu Isian Mortar Pada Bagian Pangkal

Momen (kgcm)	Momen Inersia (I) (cm <sup>4</sup> )	Diameter (d) (cm)	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
39495	615,926197	8.55	33,82485207
37620	538,6405907	8.4	35,61966983
41370	549,312421	8.45	38,59757069
39495	592,83366	8.45	34,80932156
41370	549,312421	8.45	38,59757069
41370	570,3970946	8.35	37,53345731
Rata-rata			364,9707369

## 5.7 Tegangan Pada Bambu Isian Mortar Pada Bagian Tengah

Momen (kgcm)	Momen Inersia (I) (cm <sup>4</sup> )	Diameter (d) (cm)	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
31995	570,3970946	8.35	290,2786963
30120	528,1251145	8.35	289,437097
26370	528,1251145	8.35	253,4016019
30120	559,4208739	8.3	277,283182
41370	507,5570883	8.25	409,5780648
26370	528,1251145	8.35	253,4016019
Rata-rata			295,563374

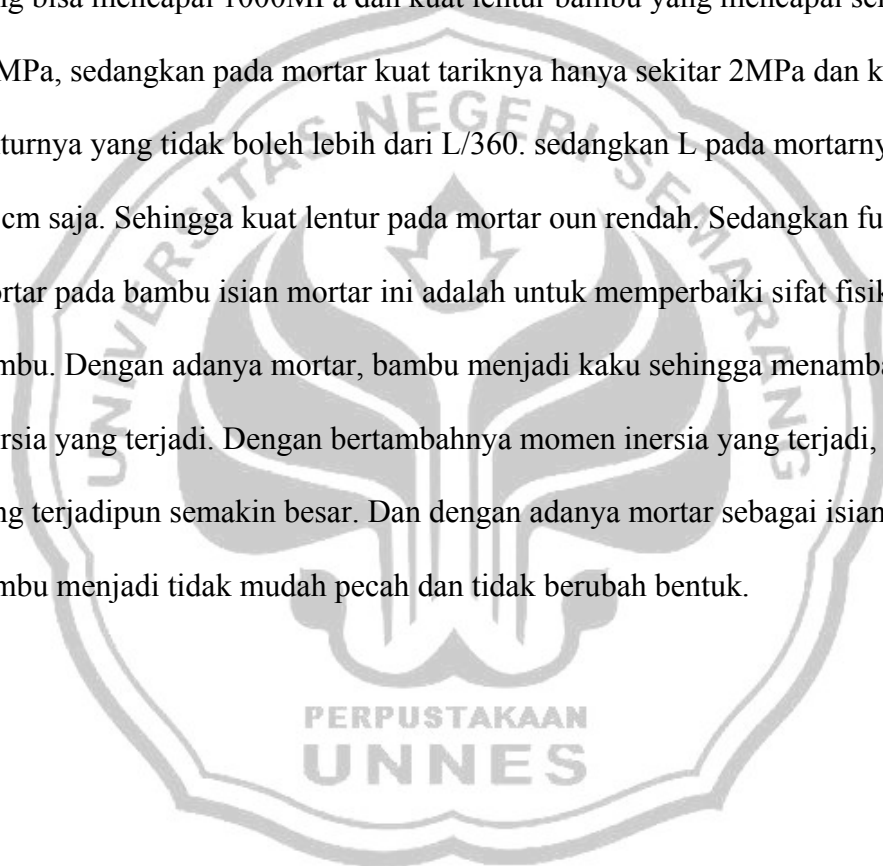
## 5.8 Tegangan Bambu Kosong Pada Bagian Pangkal

Momen (kgcm)	Momen Inersia (I) (cm <sup>4</sup> )	Diameter (d) (cm)	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
3870	329,69372	8.4	6,103846928
5745	242,3818988	8.35	11,79187684
3870	282,227542	8.35	6,959012526
9495	282,227542	8.35	17,07385631
5745	282,227542	8.35	10,33062712
5745	291,4220213	8.45	10,10326017
Rata-rata			10,39374665

## 5.9 Tegangan Pada Bambu Kosong Pada Bagian Tengah

Momen (kgcm)	Momen Inersia (I) (cm <sup>4</sup> )	Diameter (d) (cm)	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
9495	273,2291165	8.25	17,46240504
5745	273,2291165	8.25	10,56572058
3870	234,5610223	8.25	8,125710663
3870	273,2291165	8.25	7,117378356
5745	273,2291165	8.25	10,56572058
7620	273,2291165	8.25	14,01406281
Rata-rata			11,30849967

Bambu pada bambu isian mortar ini memiliki fungsi memperkuat sifat mekanika dari mortar. Seperti hasil pengujian yang telah dilakukan, kuat tekan mortar hanya berkisar pada 13 MPa, sedangkan kuat tekan bambu bisa mencapai hingga 50 MPa. Begitu pula dengan kuat tarik dan kuat lentur mortar jauh lebih kecil dibandingkan dengan kuat tarik dan kuat lentur bambu. Kuat tarik bambu yang bisa mencapai 1000MPa dan kuat lentur bambu yang mencapai sekitar 10MPa, sedangkan pada mortar kuat tariknya hanya sekitar 2MPa dan kuat lenturnya yang tidak boleh lebih dari  $L/360$ . sedangkan L pada mortarnya adalah 18 cm saja. Sehingga kuat lentur pada mortaroun rendah. Sedangkan fungsi mortar pada bambu isian mortar ini adalah untuk memperbaiki sifat fisika dari bambu. Dengan adanya mortar, bambu menjadi kaku sehingga menambah momen inersia yang terjadi. Dengan bertambahnya momen inersia yang terjadi, tegangan yang terjadipun semakin besar. Dan dengan adanya mortar sebagai isian bambu, bambu menjadi tidak mudah pecah dan tidak berubah bentuk.





## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Besarnya kadar air bambu pada bagian pangkal lebih tinggi dari bagian ujung yaitu sebesar 27,65% pada bagian ujung, 30,55% pada bagian tengah dan 36,51% pada bagian pangkal. Untuk kualitas bambu yang baik digunakan untuk benda uji diperoleh pada umur 3-5 tahun dengan kadar air pada pangkal lebih tinggi dari bagian ujung.
2. Bahan mortar berupa silinder dengan diameter 9 cm dan tinggi 18 cm dengan nilai modulus elastisitas 12952 MPa, 13399 MPa, dan 13599 MPa.
3. Bambu yang diisi dengan mortar lebih kuat dibandingkan dengan bambu kosong karena dengan diisi mortar akan mengurangi lendutan yang terjadi. Bambu yang diisi mortar mampu menahan beban rata-rata hingga 14000 N dengan jumlah lendutan maksimal rata-rata sebesar 45 mm, sedangkan bambu kosong hanya mampu menahan beban rata-rata hingga 6000 N dengan jumlah lendutan maksimal rata-rata sebesar 48 mm.
4. Pada bambu dengan isian mortar pada bagian pangkal memiliki tegangan lentur rata-rata 36,49707369 MPa dan pada bagian tengah bambu memiliki tegangan lentur rata-rata 29,5563374 MPa. Dan pada bambu kosong pada

bagian pangkal memiliki tegangan lentur rata-rata 10,39374665 MPa dan pada bagian tengah bambu memiliki tegangan lentur rata-rata 11,30849967 MPa. Sehingga dapat disimpulkan pada bagian pangkal, jika bambu diisi dengan mortar akan mengalami kenaikan hingga 3%. Dan pada bagian tengah, jika bambu diisi dengan mortar bambu kana mengalami kenaikan hingga 2%.

5. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

Kuat	Beton (MPa)	Bambu (MPa)
Tekan	13, 60138	35,687
Lentur	< L/360	10,85112316
Tarik	0,5 $\sqrt{f_c}$ s/d 0,6 $\sqrt{f_c}$	1711,761167

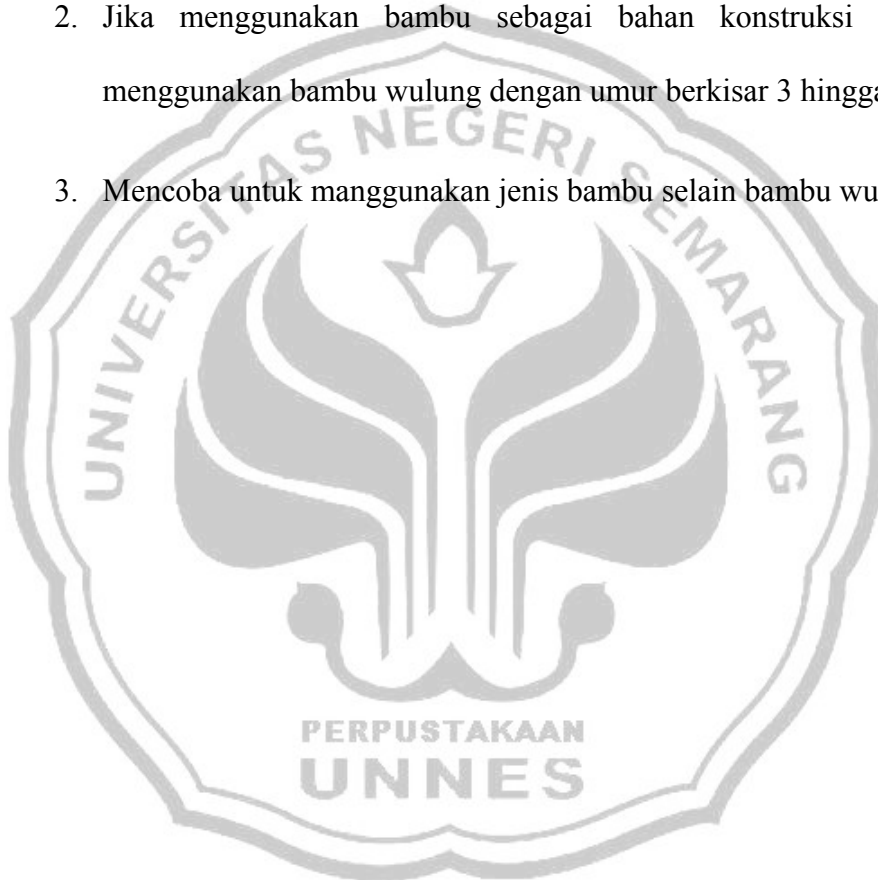
Pada bambu dengan isian mortar ini, bambu memiliki fungsi untuk memperkuat sifat mekanika mortar. Dan mortar memiliki fungsi memperbaiki sifat fisika bambu. Sehingga bambu menjadi kaku dan tidak mudah pecah karena diisi mortar.

6. Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, maka bambu dengan isian mortar dapat dijadikan sebagai bahan bangunan alternatif yang lebih ekonomis.

## B. Saran

Dari kesimpulan di atas dapat diberikan saran sebagai berikut:

1. Jika menggunakan bambu sebagai bahan konstruksi, keadaan bambu harus dalam keadaan kering.
2. Jika menggunakan bambu sebagai bahan konstruksi hendaknya menggunakan bambu wulung dengan umur berkisar 3 hingga 5 tahun.
3. Mencoba untuk menggunakan jenis bambu selain bambu wulung.



## DAFTAR PUSTAKA

- Gatot, 2001, *Pemanfaatan Komposit Bambu-Beton untuk Lantai Gedung*, Tesis, Program Pasca Sarjana, UGM, Yogyakarta.
- Hakim, A., 1987, *Pengujian Beberapa Sifat Fisika dan Mekanika Enam Jenis Bambu Dalam Kondisi Segar*, Fakultas Kehutanan, UGM, Yogyakarta.
- Morisco, 1996, *Bambu Sebagai Rekayasa*, Pidato Pengukuhan Jabatan Lector Kepala Madya dalam Bidang Teknik Konstruksi, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta.
- Morisco, 1999, *Rekayasa Bambu*, Nafiri Offset, Yogyakarta.
- Morisco, 2006, *Bahan Kuliah Teknologi Bambu*, Magister Teknologi Bahan Bangunan, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta.
- Prawirohatmodjo, S., 1976, *Sifat Mekanika Kayu*, Yayasan Pembinaan Fakultas Kehutanan, UGM, Yogyakarta.
- Sutapa, J.P.G., 1986, *Pengujian Beberapa Sifat Anatomi Fisik dan Mekanik Bambu Apus, Legi dan Petung*, Fakultas Kehutanan, UGM, Yogyakarta.
- Tjokrodinuljo, K., 1996, *Teknik Beton*, Nafiri Offset, Yogyakarta.
- Yap, F.K.H., 1983, *Bambu Sebagai Bahan Bangunan*, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan (DPMB), DPU dan Tenaga Listrik, Bandung.



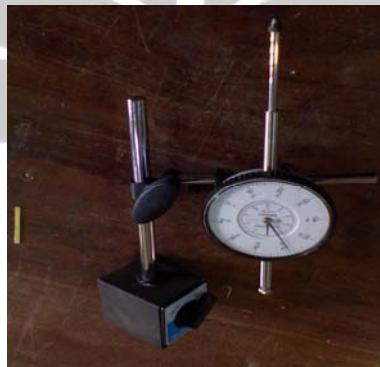
Gambar 3 Bambu Setelah Dipotong



Gambar 4 Bambu Setelah Diisi Mortar



Gambar 1 Hidroulik Jack



Gambar 2 Dial Gauge



Gambar 5 Mortar



Gambar 6 Pengujian Bambu Dengan Isian Mortar



Gambar 7 Pengujian Bambu Kosong



Gambar 8 Hasil Pengujian Pada Bambu Isian Mortar





Gambar 9 Hasil Pengujian Pada Bambu Kosong

