

Tesis

**KONSTRUKSI BAMBU PADA STRUKTUR  
BANGUNAN BENTANG LEBAR**

***"BAMBOO CONSTRUCTION FOR WIDE SPAN STRUCTURE"***

Oleh :

**DITTA ASTRINI WIJAYANTI  
0606003921**

**Pembimbing I: Dr. Ir. Emirhadi Suganda, MSc**

**Pembimbing II: Ir. Sukisno, MSi**



**PROGRAM MAGISTER  
TEKNOLOGI BANGUNAN DEPARTEMEN ARSITEKTUR  
UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPOK 2008**

## **ABSTRAK**

*Mulai berkurangnya bahan bangunan yang tidak dapat diperbaharui menjadi alasan perlu adanya bahan material pengganti.*

*Bambu yang merupakan bahan bangunan yang dapat diperbaharui dan memiliki siklus hidup relatif singkat jika dibandingkan dengan kayu dapat menjadi alasan mengapa bambu merupakan bahan bangunan yang berkelanjutan. Karena itu bambu menjadi sangat menarik untuk diteliti. Namun saat ini penggunaan bambu hanya terbatas pada struktur bangunan rumah tinggal.*

*Berawal dengan penelitian terhadap potensi dari bambu melalui uji kekuatan di laboratorium, ternyata bambu memiliki sifat mekanis yang baik seperti kuat tarik yang cukup tinggi dan sifat fisis yang unik. Pada penelitian ini terdapat beberapa hal yang dapat kita lihat antara lain, pertama adalah bambu dapat diterapkan pada struktur bentang lebar dengan lebar bentang maksimal tiga puluh dua meter saat diterapkan pada struktur space frame atau bambu dapat mencapai lebar maksimal saat diterapkan pada sistem struktur yang mengalami gaya tarik lebih besar dibandingkan gaya tekannya.*

*Sedangkan jenis sambungan bambu pada struktur bentang lebar yang baik diterapkan adalah sambungan ball joint dengan material pendukung baja, menggunakan sistem baut yang memerlukan enam buah baut dengan jarak sepuluh koma lima meter dengan beberapa jenis perletakan.*

Kata kunci: Berkelanjutan, Bambu, Bangunan Bentang Lebar, Material

## **ABSTRACT**

*The decreasing of unrenueable resources material become a reason for the existence of subtitutive materials.*

*Bamboo is categorized as a sustainable construction material because of its renewable resources and its short term life cycle if it compared with wood. Therefore bamboo very interesting to be obsreve, but at this time the usage of bamboo just limited in building structure of house.*

*According to that behavior of bamboo which good in mechanical and physical. Therefore this reasearch intention to open another knowledge of the usage of bamboo as construction material, one them namely bamboo construction for wide span structure. This reasearch give knowledge about the maximum span that possible to build with bamboo construction is 32m if it applied in space frame structure and the alternative joint of bamboo construction compered to behavior of bamboo is ball joint system with other material that support bamboo material.*

Keywords: renewable, bamboo, wide span structure, material

## KATA PENGANTAR

Dengan segala puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat-Nya untuk dapat menyelesaikan tugas ini tepat pada waktunya.

Penulisan Tesis ini disusun sebagai syarat dalam menyelesaikan pendidikan di Program Pasca Sarjana, Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulisan ini dilakukan ditengah pembangunan yang begitu pesat, dan disaat manusia cenderung memanfaatkan sumber daya alam tanpa memperhatikan kelestariannya. dilatarbelakangi karena melihat mulai menurunnya kualitas lingkungan hidup akibat eksploitasi manusia yang terlalu berlebihan. Salah satunya adalah penggunaan sumber daya alam sebagai bahan bangunan. Penggunaan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, seperti baja, alumunium. Sedangkan penggunaan kayu dengan penebangan hutan kayu yang berlebihan dapat mengganggu keseimbangan alam. Maka perlu dicarikan bahan bangunan sebagai pengganti bahan bangunan tersebut yang penggunaannya tidak merusak lingkungan.

Bambu, salah satu bahan bangunan yang tidak asing lagi bagi masyarakat Indonesia, dapat digunakan sebagai bahan pengganti bahan bangunan yang sudah mulai langka tersebut. Beberapa kriteria yang dapat menjadi alasan bambu sebagai bahan pengganti antara lain karena bambu memiliki daur hidup yang relatif singkat dan ketersediaannya yang masih berlimpah sehingga penggunaannya tidak mengganggu keseimbangan alam.

Berangkat dari potensi bambu yang sangat besar namun penggunaannya yang belum terlalu dikembangkan, tulisan ini diharapkan dapat memberikan alternatif dalam memanfaatkan dan lebih memperkenalkan bambu sebagai bahan bangunan. Disamping itu juga untuk memberikan suatu konsep pemikiran yang baru dalam penggunaan bambu sebagai bahan konstruksi pada struktur bangunan bentang lebar.

Dalam menyelesaikan tugas ini, saya mendapat bimbingan, bantuan, masukan dorongan semangat dari banyak pihak. Maka pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Dr. Ir. Emirhadi Suganda, MSc selaku pembimbing I atas bimbingannya, arahan dan pencerahannya dalam menyelesaikan Tesis ini.
2. Ir. Sukisno, MSi selaku pembimbing II atas segala bimbingan dan arahnya.
3. Dosen-dosen Arsitektur Universitas Indonesia khususnya pada Dosen Pasca Sarjana Teknologi Bangunan yang telah memberi pengajaran dan bimbingan yang sangat bermanfaat.
4. Rekan-rekan dari Laboratorium Beton Tehnik Sipil, Universitas Indonesia, yang telah membantu dalam penyelesaian tugas ini.
5. Rekan-rekan dari Tehnik Sipil atas bantuannya.
6. Untuk kedua orangtuaku dan saudara-saudaraku tercinta, mbak Adis, mas Bayu dan mbak Puteri yang menjadi kekuatanku dalam menyelesaikan tesis ini.
7. Teman-teman yang tersayang terimakasih atas segala dukungan dan bantuannya dalam menyelesaikan tesis ini.
8. Dan yang terakhir kepada dia yang telah menolong dengan kasihnya, doanya dan harapannya.

Akhir kata semoga penulisan ini dapat terus dilanjut dalam tesis dan dapat memberi manfaat bagi pembacanya.

Depok, 18 Juli 2008

(Ditta Astrini Wijayanti)

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Permasalahan .....	4
I.3 Pertanyaan Penelitian .....	5
I.4 Tujuan Penelitian .....	5
I.5 Manfaat Penelitian.....	6
I.6 Batasan Penelitian .....	6
I.7 Sistematika Penulisan .....	7
I.8 Skema Alur Pikir.....	8
<b>BAB II KAJIAN TEORI</b> .....	<b>9</b>
II.1 Bambu .....	9
II.1.1 Pengetahuan Dasar dan Sifat Umum Bambu .....	9
A. Sifat Fisis.....	10
B. Sifat Mekanis.....	11
C. Sifat Anatomis .....	13
D. Persyaratan Bambu Untuk Bangunan .....	14
E. Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Bambu yang Pernah Dilakukan.....	15
II.1.2 Jenis Bambu.....	15
A. Bambu Tali/Apus (Gigantochloa Apus).....	17
B. Bambu Betung (Dendrocalamus Asper) .....	17
C. Bambu Wulung/Hitam (Gigantochloua Verticillata).....	19
II.1.3 Pertumbuhan Bambu .....	20
II.1.4 Pengawetan Bambu .....	21
A. Masa Memotong Batang Bambu (Pemanenan).....	21

B. Berbagai Cara Kimiawi Pengawetan Bambu .....	22
C. Pengawetan Dengan Perendaman .....	22
D. Pengawetan Dengan Cara Pengaliran (boucherie process)...	23
E. Pengawetan Dengan Cara Penekanan (bucherie process) .....	23
F. Mengecat Dengan Zat Penolak Serangga .....	24
G. Pengawetan Pelapis Bambu Terhadap Iklim .....	25
II.1.5 Bahan Bangunan Dari Bambu .....	26
II.1.6 Konstruksi Bambu .....	26
II.1.6.1 Potensi Bambu sebagai Konstruksi Ringan .....	27
II.1.6.2 Atap .....	27
A. Fungsi, bentuk, dan komponen konstruksi atap .....	27
B. Elemen atap .....	27
C. Konstruksi Atap Tradisional .....	28
D. Konstruksi Kuda-kuda Tradisional .....	28
E. Konstruksi Atap Kasau (usuk) .....	29
F. Konstruksi Rangka Batang .....	29
G. Konstruksi Kubah torak dari bambu .....	30
H. Penutup Atap .....	31
1. Fungsi dan Syarat-Syarat Pelapis dan Penutup Atap .....	31
2. Perlindungan Oleh Pelapis dan Penutup Atap Terhadap Pengaruh Luar .....	31
3. Sistem Sambungan Bahan Pelapis dan Penutup Atap .....	32
3.a. Pengikat reng .....	32
3.b. Penutup atap daun bambu .....	32
3.c. Penutup atap sirap bambu .....	33
3.d. Penutup atap kelaka .....	33
3.e. Penutup atap bambu-tanah liat komposit .....	33
II.1.7 Jenis-Jenis Sambungan Bambu .....	34
A. Alat-Alat Sambungan Bambu .....	35
B. Tali pengikat bambu .....	35
II.1.8 Konstruksi Rangka Batang Dalam Ruang .....	35
II.1.8.1 Sambungan-Sambungan pada Rangka Bambu .....	36
II.1.9 Aplikasi dan Pengembangan Penggunaan Bambu Sebagai Bahan Konstruksi .....	37

II.2 Kayu Sebagai Perbandingan Terhadap Bambu.....	43
II.2.1 Perbandingan Sifat Batang Bambu dengan Kayu .....	44
II.2.2 Sambungan Baut Pada Kayu .....	45
II.3 Bangunan Bentang Lebar .....	47
II.3.1 Struktur Rangka .....	48
A. Konstruksi Space Frame.....	49
B. Kontruksi Truss .....	50
II.4 Kesimpulan Kajian Teori .....	51
II.5 Kerangka Teori.....	53
II.6 Hipotesis .....	54
II.7 Kerangka Konsep Penelitian.....	54
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>55</b>
III.1 Faktor yang Mempengaruhi Penelitian.....	56
III.2 Variabel Penelitian .....	57
III.2.1 Uji kekuatan:.....	57
a. Variabel Tetap .....	57
b. Variabel bebas.....	57
III.2.2 Uji Struktur Program Komputer SAP2000 .....	57
a. Variabel Tetap .....	57
b. Variabel bebas.....	57
III.3 Lingkup Penelitian .....	58
III.4 Lingkup Studi Kasus .....	58
III.5 Lingkup Materi Penelitian .....	58
III.6 Langkah-langkah Penelitian .....	59
III.6.1 Studi Literatur .....	59
III.6.2. Uji Laboratorium .....	59
III.6.3. Eksperimen Simulasi Program Komputer SAP2000 .....	61
a. Data yang diperlukan dalam melakukan simulasi .....	62
b.Langkah-langkah melakukan Program Komputer SAP2000 .....	63
III.6.4 Perhitungan Sambungan.....	67
III.7 Alat Penelitian .....	67
III.8 Tempat dan Waktu Penelitian .....	68

III.9 Data dan Informasi yang Dibutuhkan .....	69
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN .....</b>	<b>70</b>
IV.1 Uji Laboratorium.....	70
IV.1.1 Uji Kekuatan Tarik.....	71
A. Analisis Uji Kuat Tarik Bambu Tali.....	71
B. Analisis Uji Kuat Tarik Bambu Wulung.....	72
C. Analisis Uji Kuat Tarik Bambu Betung .....	73
D. Analisis Perbandingan Kekuatan Tarik Antara Bambu Tali, Wulung, Betung .....	75
E. Analisis Letak Patah pada Batang Bambu.....	76
IV.1.2 Uji Kekuatan Lentur .....	76
A. Analisis Uji Kuat Lentur Bambu Tali.....	77
B. Analisis Uji Kuat Lentur Bambu Wulung .....	78
C. Analisis Uji Kuat Lentur Bambu Betung .....	79
D. Analisa Perbandingan Kuat Lentur antara Tiga Jenis Bambu .....	80
IV.1.3 Uji Kekuatan Tekan.....	81
A. Analisis Uji Kuat Tekan Bambu Tali .....	81
B. Analisis Uji Kuat Tekan Bambu Wulung.....	82
C. Analisis Uji Kuat Tekan Bambu Betung .....	83
D. Analisis Perbandingan Kekuatan Tekan anantara Tiga Jenis Bambu.....	84
E. Analisis Perubahan Bentuk Fisik Bambu Setelah Uji Kekuatan Tekan .....	85
IV.1.4. Analisis Perbandingan Kekuatan Antara ke-Tiga Jenis Bambu .....	86
A. Penelitian Kekuatan Bambu yang Sudah Pernah Dilakukan.....	86
B. Penelitian Kekuatan Bambu yang Saat Ini Dilakukan .....	87
IV.2 Uji Simulasi Komputer SAP2000.....	87
IV.2.1 Data .....	87
A. Spesifikasi material .....	87
B. Jenis Struktur Bentang Lebar yang akan diterapkan	

Pada Bambu.....	88
IV.2.2 Struktur Rangka Ruang (Space Frame) .....	88
A. Analisis Gaya Tarik yang Bekerja pada Batang.....	89
B. Analisis Gaya Tekan yang Bekerja pada Batang.....	89
C. Analisis Lendutan yang terjadi pada Struktur .....	90
IV.2.3. Struktur Rangka Bidang (Space Truss) .....	90
A. Analisis Gaya Tarik yang Bekerja pada Batang.....	91
B. Analisis Gaya Tekan yang Bekerja pada Batang.....	91
C. Analisis Lendut yang Terjadi pada Struktur .....	91
IV.2.4 Perbandingan Besar Gaya-Gaya yang Terjadi pada Batang.....	92
IV.2.5 Perbandingan besar lendutan yang terjadi pada struktur .....	93
IV.2.6 Struktur Rangka Ruang Jarak Simpul 160 cm (Space Frame).....	93
IV.2.7 Konstruksi Space Frame Dan Space Truss dengan Bahan Material Kayu sebagai Pembanding .....	94
A. Konstruksi Space Frame kayu.....	94
B. Konstruksi Space Truss Kayu.....	96
IV.2.8 Perbandingan Gaya Batang yang dialami antara Kayu dan Bambu pada Kontruksi Space Frame dan Space Truss .....	97
IV.3 Jenis Sambungan.....	97
IV.4 Perhitungan Sambungan pada Bambu.....	97
IV.5 Desain Sambungan .....	100
IV.6 Kesimpulan Uji Laboratorium dan Simulasi Komputer Program SAP2000.....	101
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	<b>102</b>
V.1 Kesimpulan .....	102
V.1.1 Kesimpulan Menjawab Pertanyaan Penelitian.....	102
V.1.2 Kesimpulan dari Hipotesis .....	103
V.2 Saran .....	103

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Jenis-Jenis Bambu untuk Mebel dan Bahan Bangunan .....	14
Tabel 2.2. Sifat fisik dan mekanis tiga jenis bambu pada daerah berbuku dan tanpa buku.....	15
Tabel 2.3. Beberapa sifat fisis dan mekanis pada bagian ruas dan buku bambu Betung .....	18
Tabel 2.4. Masa Pemotongan Bambu.....	21
Tabel 2.5. Keawetan Bambu Berdasarkan Tempat Penggunaan.....	24
Tabel 2.6. Cara Pengawetan Pelapis Bambu Terhadap Iklim .....	25
Tabel 2.7. Macam Komponen dan Beban Bakunya.....	26
Tabel 2.8. Perlindungan Oleh Pelapis dan Penutup Atap Terhadap Pengaruh Luar.....	31
Tabel 2.9. Tegangan yang diperkenankan Untuk Kayu Mutu A.....	43
Tabel 2.10.Klarifikasi Berat Jenis, Kekuatan Lentur dan Tekan Absolut Kayu .....	43
Tabel 2.11.Persyaratan bambu betung dibandingkan kayu jati .....	44
Tabel 2.12.Perbandingan Nilai Anatomis dan Mekanis Bambu, Kayu Kamper dan Jati .....	45
Tabel 3.1. Jenis-Jenis Bambu untuk Mebel dan Bahan Bangunan .....	56
Tabel 3.2. Sampel Uji.....	59
Tabel 4.1. Data Spesifikasi Bahan .....	70
Tabel 4.2. Uji Kuat Tarik Bambu Tali .....	71
Tabel 4.3. Uji Kuat Tarik Bambu Wulung.....	73
Tabel 4.4. Uji Kuat Tarik Bambu Betung.....	74
Tabel 4.5. Perbandingan Kekuatan Tarik Antara Bambu Tali, Wulung, Betung .....	75
Tabel 4.6. Uji Kuat Lentur Bambu Tali .....	77
Tabel 4.7. Uji Kuat Lentur Bambu Wulung.....	78
Tabel 4.8. Uji Kuat Lentur Bambu Betung.....	79
Tabel 4.9. Perbandingan Kuat Lentur antara Tiga Jenis Bambu .....	80
Tabel 4.10.Uji Kuat Tekan Bambu Tali .....	81
Tabel 4.11.Uji Kuat Tekan Bambu Wulung.....	82
Tabel 4.12.Uji Kuat Tekan Bambu Betung.....	83

Tabel 4.13.Perbandingan Kekuatan Tekan anantara Tiga Jenis Bambu.....	84
Tabel 4.14.Perbandingan Kekuatan Antara ke-Tiga Jenis Bambu .....	86
Tabel 4.15.Perbandingan Sifat Mekanis Tiga Jenis Bambu Tali, Wulung, Betung .....	86
Tabel 4.16.Perbandingan Sifat Mekanis .....	87
Tabel 4.17.Gaya-gaya Maksimal yang Bekerja pada Batang Struktur Space Frame berdasarkan Hasil Simulasi .....	89
Tabel 4.18.Gaya-gaya Maksimal yang Bekerja pada Batang Struktur .....	
Space Truss berdasarkan Hasil Simulasi.....	90
Tabel 4.19.Perbandingan Gaya yang Terjadi pada Batang Struktur Space Frame Dan Space Truss .....	92
Tabel 4.20.Perbandingan Lendutan yang Terjadi pada Batang Struktur Space Frame Dan Space Truss.....	93
Tabel 4.21.Gaya-gaya Maksimal yang Bekerja pada Batang Struktur Space Frame dengan jarak simpul 160cm berdasarkan Hasil Simulasi.....	94
Tabel 4.22.Gaya-gaya Maksimal yang Bekerja pada Batang Struktur Space Frame berdasarkan Hasil Simulasi .....	95
Tabel 4.23.Gaya-gaya Maksimal yang Bekerja pada Batang Struktur Space Truss berdasarkan Hasil Simulasi .....	96

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Skema Alur Pikir.....	8
Gambar 2.1. Anatomi Bambu Tali.....	17
Gambar 2.2. Anatomi Bambu Betung .....	18
Gambar 2.3. Anatomi Bambu Wulung .....	19
Gambar 2.4. Siklus Hidup Bambu.....	20
Gambar 2.5. Perbandingan Masa Siklus Hidup Bambu dan Kayu .....	20
Gambar 2.6. Pengawetan Bambu.....	23
Gambar 2.7. Pengawetan Bambu dengan Cara Pengaliran.....	23
Gambar 2.8. Pengawetan Bambu dengan Cara Penekanan.....	23
Gambar 2.9. Pengawetan Bambu dalam drum besi.....	24
Gambar 2.10. Elemen Atap .....	28
Gambar 2.11. Konstruksi Atap Tradisional .....	28
Gambar 2.12. Konstruksi Kuda-Kuda Tradisional.....	28
Gambar 2.13. Konstruksi Kuda-Kuda Bergantung.....	29
Gambar 2.14. Konstruksi Rangka Batang Bekerja pada Titik Simpul.....	29
Gambar 2.15. Konstruksi Rangka Batang Bambu .....	29
Gambar 2.16. Konstruksi Kubah Torak dari Bambu .....	30
Gambar 2.17. Penutup Atap Daun Bambu .....	32
Gambar 2.18. Penutup Atap dengan Sirap yang Dijepit dan yang Diikat .....	33
Gambar 2.19. Penutup Atap Dengan Sirap Kelaka .....	33
Gambar 2.20. Penutup Atap Kelaka .....	33
Gambar 2.21. Sambungan Memanjang pada Batang Bambu .....	34
Gambar 2.22. Sambungan Tiang dengan Peran .....	34
Gambar 2.23. Sambungan Tiang dengan Palang dan Sambungan Penopang...	34
Gambar 2.24. Pemasangan Kasau pada Peran .....	34
Gambar 2.25. Alat Sambungan Yang Cocok Untuk Bambu .....	35
Gambar 2.26. Sambungan Ikat bambu .....	35
Gambar 2.27. Konstruksi Rangka Batang Dalam Ruang.....	36
Gambar 2.28. Sambungan Rangka .....	37
Gambar 2.29. Sambungan ikat .....	37
Gambar 2.30. Sambungan Ikat Bambu.....	38
Gambar 2.31. Struktur rangka Bambu dengan Baja .....	39

Gambar 2.32. Struktur Bambu pada Bangunan Tinggi.....	39
Gambar 2.33. Atap Bambu di Fukuoka (Japan).....	40
Gambar 2.34. Factory Hall Under Construction In Pensilvania (Colombia) .....	40
Gambar 2.35. Jembatan Bambu Mendocino High-Tech' Pada Tahun 2000 .....	40
Gambar 2.36. Paviliun Bambu Rocco Yim Pada "Festival of Vision".....	41
Gambar 2.37. Konstruksi Bambu Menggantung.....	41
Gambar 2.38. Sambungan Ikat Bambu.....	42
Gambar 2.39. Bangunan Tradisional Cina.....	42
Gambar 2.40. Modul Struktur Bentang Lebar .....	47
Gambar 2.41. Struktur Rangka .....	48
Gambar 2.42. Modul Space Frame.....	49
Gambar 2.43. Aplikasi Space Frame pada Bangunan.....	50
Gambar 2.44. Jenis Truss.....	50
Gambar 2.45 Jembatan Truss .....	50
Gambar 2.46 Jembatan Kereta dengan Truss .....	50
Gambar 2.47. Truss .....	50
Gambar 2.48. Kerangka Teori.....	53
Gambar 2.49. Kerangka Konsep Pemikiran.....	54
Gambar 3.1. KerangkaPenelitian.....	55
Gambar 3.2 Profil Sampel Uji Tarik.....	59
Gambar 3.3. Profil Sampel Uji Tarik .....	60
Gambar 3.4. Profil Sampel Uji Tekan .....	60
Gambar 3.5. Profil Sampel Uji Lentur .....	61
Gambar 3.6. Beban Pada Setiap Joint Terdapat Pada Setiap Joint .....	63
Gambar 3.7. Beban Pada Setiap Joint Terdapat Pada Setiap Joint .....	65
Gambar 3.8. Setiap Jointny Direleasesa .....	65
Gambar 3.9. Beban Pada Setiap Joint Terdapat Pada Setiap Joint .....	66
Gambar 3.10. Konstruksi Yang Mengalami Lendutan .....	67
Gambar 3.11. Alat Uji Tarik .....	68
Gambar 3.12. Alat Uji Tekan .....	68
Gambar 3.13. Alat Uji lentur .....	68
Gambar 4.1 Penampang Bambu Sebagai Sample .....	70
Gambar 4.2. Profil Sample Untuk Uji Tarik.....	71
Gambar 4.3. Sampel Bambu Tali Bagian Buku Dan Ruas .....	71

Gambar 4.4. Grafik Kuat Tarik Bambu Tali .....	72
Gambar 4.5. Sampel Bambu Wulung Bagian Buku Dan Ruas .....	72
Gambar 4.6. Sampel Kuat Tarik Bambu Wulung Bagian Buku Dan Ruas.....	73
Gambar 4.7. Sampel Kuat Tarik Bambu Wulung Bagian Buku Dan Ruas.....	73
Gambar 4.8. Grafik Kuat Tarik Bambu Betung .....	74
Gambar 4.9. Perbandingan Kuat Tarik antara Tiga Jenis Bambu .....	75
Gambar 4.10. Sampel Bambu Setelah Mendapat Perlakuan .....	76
Gambar 4.11. Gambar Analisa Letak Putus Uji Kuat Tarik.....	76
Gambar 4.12. Profil Sample Untuk Uji Lentur.....	76
Gambar 4.13. Sampel Uji Kuat Lentur Bambu Tali Bagian Buku Dan Ruas.....	77
Gambar 4.14. Grafik Uji Kuat Lentur Bambu Tali.....	77
Gambar 4.15. Sampel Uji Kuat Lentur Bambu Wulung Bagian Buku Dan Ruas	78
Gambar 4.16. Grafik Uji Kuat Lentur Bambu Wulung .....	78
Gambar 4.17. Sampel Uji Kuat Lentur Bambu Betung Bagian Buku Dan Ruas.	79
Gambar 4.18. Grafik Uji Kuat Lentur Bambu Betung .....	79
Gambar 4.19. Perbandingan Kuat Lentur antara Tiga Jenis Bambu .....	80
Gambar 4.20. Profil Sample Untuk Uji Tarik .....	81
Gambar 4.21. Sampel Uji Kuat Tekan Bambu Tali Bagian Buku Dan Ruas.....	81
Gambar 4.22. Grafik Uji Kuat Tekan Bambu Tali.....	82
Gambar 4.23. Sampel Uji Kuat Tekan Bambu Wulung Bagian Buku Dan Ruas	82
Gambar 4.24. Grafik Uji Kuat Tekan Bambu Wulung .....	83
Gambar 4.25. Sampel Uji Kuat Tekan Bambu Betung Bagian Buku Dan Ruas.	83
Gambar 4.26. Grafik Uji Kuat Tekan Bambu Betung .....	84
Gambar 4.27. Perbandingan Kuat Tekan antara Tiga Jenis Bambu .....	85
Gambar 4.28. Bambu Beruas .....	85
Gambar 4.29. Bambu Tanpa Ruas .....	85
Gambar 4.30. Grafik Perbandingan Kekuatan Tiga Jenis Bambu .....	86
Gambar 4.31. Struktur Space Frame Bambu .....	88
Gambar 4.32. Gaya Batang Rangka Ruang Bambu.....	89
Gambar 4.33. Struktur Space Truss Bambu .....	90
Gambar 4.34. Gaya batang Space Truss Bambu .....	91
Gambar 4.35. Kontruksi Space Frame Bambu Dengan Jarak Simpul 160 cm ....	93
Gambar 4.36. Kontruksi Space Frame dengan Material Kayu.....	94
Gambar 4.37. Gaya Batang Rangka Ruang pada Kayu .....	95

Gambar 4.38. Kontruksi Space Frame dengan Material Kayu.....	96
Gambar 4.39. Gaya Batang Space Truss Kayu.....	96
Gambar 4.40. Desain Sambungan.....	100



## DAFTAR LAMPIRAN

Hasil Perhitungan Simulasi Komputer Program SAP2000 Gaya yang Berkerja Pada Struktur Space Frame Bentang 20m&40m, Jarak Simpul 2m..... A

Hasil Perhitungan Simulasi Komputer Program SAP2000 Gaya yang Berkerja Pada Struktur Space TrussBentang 20m & 40m, Jarak Simpul 2m..... B



# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Pertumbuhan jumlah penduduk dari tahun ke tahun semakin pesat. Pertumbuhan itu mengakibatkan naiknya kebutuhan tempat tinggal, yang memicu meningkatnya kebutuhan akan kayu, baja, alumunium, beton sebagai bahan bangunan utama yang selama ini digunakan masyarakat untuk membangun perumahan, gedung dan lainnya. Kebutuhan dan penggunaan material utama tersebut yang terlalu berlebihan dapat mengganggu keseimbangan alam karena sebagian besar diantaranya tidak terbarukan, sedangkan guna memulihkan kembali berbagai jenis tumbuhan untuk dimanfaatkan kayunya diperlukan waktu yang sangat lama. Dengan kebutuhan kayu yang berlebihan akan mendorong dilakukannya penebangan hutan dalam jumlah besar yang dapat mengarah keperusakan yang membahayakan kelestarian alam. Berdasarkan pertimbangan itu maka sudah saatnya perlu dicari alternatif baru pengganti bahan material yang ketersediannya mulai terbatas bahkan semakin habis. Dan sejak saat ini seharusnya manusia semakin menyadari betapa menghadirkan bahan alami lain selain kayu salah satunya bambu merupakan keharusan.

Dalam kaitan dengan pembangunan yang berkelanjutan maka pemilihan bahan bangunan juga menjadi sebuah faktor penting yang patut dipertimbangkan. Sekurangnya menyangkut beberapa hal diantaranya pemanfaatan bahan dari alam, penggunaan material yang tersedia pada lokasi yang akan dibangun, dampak pemanfaatannya terhadap alam dan manusia, serta energi yang diperlukan dalam penggunaannya.

Selain itu disamping memenuhi kriteria arsitektur secara umum (estetika, harga, teknis dll.) masih terdapat beberapa kriteria lain yakni kriteria ekologi dalam memilih bahan material yang juga perlu dipertimbangkan, sebagai berikut: <sup>1</sup>

1. Potensi jumlah dan kemudahan perolehan bahan.
2. Dampak penggunaan bahan terhadap keseimbangan lingkungan menyangkut ketersediaannya di alam.
3. Kandungan dari bahan yang dinilai dapat membahayakan bagi manusia dan ekosistemnya.

Sebagaimana telah dikemukakan terdahulu bahan bangunan terbagi dalam beberapa jenis, yakni jenis bahan bangunan yang dapat diperbaharui dan bahan

---

<sup>1</sup>Ken Yeang, *The Green Skyscraper: The Basis for Designing Sustainable Intensive Buildings*: Menjelaskan tentang merancang yang berkelanjutan, diantaranya mengenai pemilihan bahan material yang berkelanjutan, Prestel, 2000.

bangunan yang tidak dapat diperbaharui. Bahan bangunan yang tidak dapat diperbaharui antara lain adalah besi, baja, alumunium, plastik, dan bahan bangunan lain berasal dari mineral dan logam. Sedangkan bahan bangunan yang dapat diperbaharui berasal dari tumbuhan. Tumbuhan yang juga terdiri dari berbagai jenis itu sendiri terbagi menjadi dua, tumbuhan dengan daur hidup panjang 25 tahun seperti kayu dan tumbuhan dengan daur hidup singkat 4-5 tahun contohnya bambu.

Mencermati berbagai sifat dan keadaan akan kriteria diatas, bambu yang merupakan produk hasil hutan non kayu yang sudah sangat akrab dengan kehidupan masyarakat umum karena sifatnya yang relatif mudah dan dapat tumbuh hampir disemua tempat, maka penggunaan bambu sebagai alternatif bahan bangunan pengganti kayu tepat. Termasuk keterkaitannya dalam mewujudkan konservasi alam karena rumpun bambu sangat cepat berkembang dengan demikian besar kemungkinan dapat membantu mengurangi penggundulan hutan akibat penebangan kayu secara berlebihan, terlebih karena jumlah bambu yang cukup banyak, mudah berkembang biak, serta umur dan tenggang waktu untuk dapat dipergunakannya yang relatif pendek, karenanya bambu adalah salah satu alternatif bahan bagi bangunan yang juga berkelanjutan.<sup>2</sup>

Berbagai alasan, kenyataan serta pertimbangan yang mengacu pada berbagai aspek diatas maka semakin mendorong dasar pemikiran bahwa sudah selayaknya bambu dimasukkan sebagai salah satu jenis bahan alternatif. Hal tersebut menjadi dasar mengeksplorasi pengembangan penggunaan bahan material bambu sebagai alternatif bahan bangunan dengan struktur bentang lebar. Langkah pengembangan konstruksi bambu ini untuk mendorong konsep pemikiran dalam upaya meningkatkan pemanfaatan potensi yang mudah diperoleh dan tersedia.

Perlu disampaikan bahwa kebanyakan penelitian yang berkembang tentang bambu yang sudah dilakukan selama ini masih lebih mengarah pada pengenalan tentang sifat-sifat dari bambu sebagai pengganti bahan bangunan hanya pada bangunan rumah tinggal, sedangkan penelitian yang menyangkut pengembangan bambu sebagai bahan konstruksi pada struktur bangunan bentang lebar belum banyak diteliti. Oleh sebab itu penelitian ini tentang bagaimana mengembangkan pemanfaatan potensi bambu secara optimal guna menjawab tuntutan kebutuhan bahan bangunan selain bahan bangunan utama yang sudah ada, yang sediaannya semakin menipis.

---

<sup>2</sup> Muammar Vebry, ST, M.Sc Peneliti pada Aceh Institute & Programme Officer UN-HABITAT United Nation Human Settlements Programme : *bambu adalah bahan bangunan yang berkelanjutan*, karena bambu sudah memenuhi kriteria prinsip utama dalam pemilihan bahan bangunan dengan memaksimalkan penggunaan sumber yang dapat diperbaharui, 2006.

Beberapa penelitian mengenai bambu sebagai bahan bangunan yang sebelumnya dilakukan antara lain oleh Relina (2002), penelitian yang berkisar mengenai masalah teknologi rekayasa bambu dalam struktur dan konstruksi bangunan ini masih terbatas dan lebih difokuskan bagi bangunan rangka kaku dengan penyusun elemen struktur dari bambu.<sup>3</sup>

Selain itu Andry Widyowijatnoko (1999) telah pula berupaya menguraikan secara deskriptif berbagai teknik dan metode konstruksi bambu plester yang ada agar dikembangkan sehingga dapat diterapkan lagi pada saat ini.<sup>4</sup>

Penelitian lain dilakukan oleh Noermalicha (2001), mengenai rekayasa rancang bangun laminasi lengkung bambu dan bambu sebagai pengganti tulangan beton.<sup>5</sup>

Beberapa penelitian lain tentang bambu olahan, juga dilakukan oleh Aenudin (1995), yang mengembangkan penggunaan bambu lapis atau bambu laminasi sebagai alternatif bahan bangunan.<sup>6</sup>

Dan berdasarkan berbagai hasil penelitian yang sudah ada tersebut maka dipandang masih perlu dikembangkannya lagi penelitian tentang pemanfaatan bambu sebagai bahan bangunan alternatif, menambah jenis dan jumlah bahan bangunan utama khususnya kayu dan bahan bangunan utama lain yang tidak terbarukan yang ketersediaannya semakin berkurang tersebut.

Disamping itu pengetahuan tentang teknik konstruksi bambu masih sangat minim, sementara penggunaan konstruksi bambu harus diterapkan dengan beberapa persyaratan agar dicapai hasil yang baik. Hal inilah juga dijadikan dasar pertimbangan, mengapa bambu semakin menarik untuk diteliti agar dapat dijadikan bahan utama dalam merencanakan dan membuat konstruksi bangunan yang tidak merusak kualitas lingkungan hidup.

Selain itu beberapa hal yang patut diapresiasi tentang bambu, adalah: sebagai produk alam, bambu mempunyai sifat yang beragam tergantung pada jenis, asal dan lingkungan pertumbuhannya dimana perbedaan diatas akan menyebabkan perbedaan sifat fisis, mekanis dan keawetan alami bambu. Bambu memiliki alternatif penggunaan yang luas untuk berbagai macam tujuan penggunaan. Karena bambu memiliki sifat-sifat yang unggul, antara lain batangnya kuat, liat, lurus, rata, ringan, keras, mudah dibelah, dibentuk, dikerjakan, potensinya berlimpah. Daur hidupnya pendek dan harganya relatif murah dibandingkan dengan kayu. Meskipun harus

---

<sup>3</sup> Relina Wahyu Mubiantie, *Bambu Material Alternatif Rangka Konstruksi Bangunan*, Departement Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2002.

<sup>4</sup> Andry Widyowijatnoko, *Kajian Konstruksi Dinding Bambu Plester dan Konsep Pengembangan*, Institut Teknologi Bandung, 1999.

<sup>5</sup> Noermalicha, *Rekayasa Rancang Bangun Laminasi Lengkungan Bambu*, 2001

<sup>6</sup> Aenudin, *Beberapa Sifat Rekayasa Balok Bentuk Laminasi Bambu Betung*, Bogor: Institut Pertanian Bogor, 1995.

diakui bahwa memang tidak semua jenis bambu dapat digunakan sebagai bahan struktural. Untuk menahan beban biasanya digunakan bambu yang mempunyai diameter yang relatif besar, dinding batang yang relatif tebal dan kuat. Selain itu sifat mekanis bambu dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti umur, posisi ketinggian, posisi pembebanan dan sifat fisis bambu lainnya.

Suatu kenyataan yang cukup menggembirakan, bahwa teknologi pemanfaatan bambu dalam beberapa tahun terakhir ini mulai berkembang, sehingga dengan demikian diharapkan penggunaan bambu sebagai salah satu bahan utama sangat layak dipilih dalam merancang dan membuat bangunan, termasuk penggunaannya dalam sebuah struktur bangunan bentang lebar.

## **I.2 Permasalahan**

Faktor eksternal yang menyebabkan mengapa kita perlu mencari bahan alternatif adalah mulai terbatasnya ketersediaan bahan material yang tidak dapat diperbaharui seperti baja, alumunium, beton, kayu membuat penggunaan bahan material yang dapat diperbaharui seperti bambu menjadi sangat menarik untuk dipelajari serta dikembangkan. Dan jika dilihat bambu merupakan bahan bangunan yang dapat diperbaharui dan daur hidupnya yang relatif singkat jika dibandingkan dengan kayu, sehingga pemanfaatan bambu tidak mengganggu keseimbangan alam.

Dari beberapa ulasan yang telah diuraikan diatas maka perlu diteliti lebih lanjut tentang pengembangan bambu sebagai bahan bangunan alternatif sehingga dapat menunjukkan kelebihan dari bambu dibandingkan bahan lain dan mencari jalan keluar untuk mengatasi kekurangan yang dimiliki oleh bambu.

Perkembangan penggunaan bambu sebagai bahan konstruksi masih terbatas pada konstruksi bangunan rumah tinggal, hal ini disebabkan karena masih kurangnya pengetahuan masyarakat tentang teknik penerapannya dan masih kurangnya sosialisasi penggunaan bambu sebagai bahan konstruksi. Kurangnya sosialisasi tersebut menyebabkan masih belum tergalinya potensi bambu, salah satunya adalah pemakaian konstruksi bambu pada struktur bangunan bentang lebar, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian yang difokuskan pada sambungan rangka bambu untuk stuktur bangunan bentang lebar dengan mempertimbangkan sifat dari bambu tersebut dan dapat mengatasi kendala dari penggunaan bambu tersebut.

### **I.3 Pertanyaan Penelitian**

Bambu sebagai bahan bangunan selain memiliki berbagai potensi juga memiliki beberapa kendala. Untuk itu pertanyaan penelitiannya adalah sebagai berikut:

1. Berapa lebar bentang maksimal yang dapat dibangun dengan menggunakan konstruksi sambungan bambu pada sistem bangunan bentang lebar?
2. Konstruksi sambungan bambu seperti apa yang dapat dibuat dan sesuai dengan sifat dari bambu tersebut?

### **I.4 Tujuan Penelitian**

Pengembangan konstruksi bambu pada penelitian ini diharapkan dapat memberi gambaran baru dalam penggunaan bambu sebagai bahan alternatif dari bahan bangunan yang tidak dapat diperbaharui dari kayu. Dalam pengembangan konstruksi bambu ini dimaksudkan untuk memberikan konsep pemikiran dalam upaya meningkatkan potensi dan menekan kendala pemakaian konstruksi bambu tradisional.

Konsep pengembangan yang merupakan penyempurnaan dan perbaikan metode dan teknik konstruksi bambu pada bangunan bentang lebar diharapkan dapat meningkatkan variasi pemakaian konstruksi bambu terutama pada sambungan-sambungan konstruksinya. Konsep-konsep tersebut kemudian dilanjutkan pada konsep pengembangan bambu untuk menyelesaikan permasalahan konstruksi bambu. Pada akhirnya, penelitian ini diharapkan akan dapat memberikan alternatif konstruksi sambungan-sambungan pada struktur bangunan bentang lebar dengan bahan bambu yang mudah dan murah diperoleh.

Penelitian ini diupayakan untuk membuka berbagai kemungkinan penelitian lanjutan yang akan melengkapi penelitian ini. Gagasan-gagasan awal yang masih memerlukan penyempurnaan-penyempurnaan dan pembuktian lebih lanjut melalui uji laboratorium kemudian dilanjutkan penerapan konstruksi bambu pada struktur bangunan bentang lebar dengan menggunakan simulasi komputer.

Selain itu untuk membuka wawasan alternatif konstruksi bambu pada sistem struktur bangunan bentang lebar dengan memanfaatkan potensi bambu tersebut.

### **I.5 Manfaat Penelitian**

1. Membuka wawasan alternatif konstruksi bambu pada bangunan bentang lebar dengan memanfaatkan potensi bambu yang masih melimpah.
2. Meningkatkan pemanfaatan bambu terutama sebagai bahan konstruksi.
3. Memasyarakatkan pengetahuan tentang konstruksi sambungan bambu pada bangunan bentang lebar.

### **I.6 Batasan Penelitian**

Penelitian kajian konstruksi bambu dan konsep pengembangannya ini menekankan pada pengembangan konstruksi bambu dilakukan untuk meningkatkan variasi pemakaian. Penelitian ini dapat memberikan berbagai kemungkinan yang dapat dibuat dengan bambu sebagai bahan konstruksi bangunan yang difokuskan pada jenis struktur bentang lebar yang dapat dikembangkan dengan bambu dan teknik sambungan konstruksi bambu.

Konsep pengembangan konstruksi ini didasarkan pada upaya perbaikan kelemahan konstruksi bambu dan potensi bambu yang selama ini belum tergali sebagai bahan konstruksi.

Batasan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lingkup Penelitian  
Menekankan pada pengembangan konstruksi bambu pada struktur bangunan bentang lebar.
2. Lingkup Studi Kasus  
Bangunan Bentang Lebar, pada uji simulasi lebar bentang bangunan dimulai dari bentang minimum bangunan bentang lebar yaitu 20m sampai 40m dengan interval 4m.
3. Lingkup Materi Penelitian  
Pada material bambu yang dapat dijadikan sebagai bahan konstruksi dan banyak ketersediaannya di Indonesia, Bambu Tali, Bambu Betung, Bambu Wulung.
4. Lingkup Materi Pengukuran  
Objek pengukuran adalah kuat tekan dan tarik pada batang bambu untuk kemudian dikembangkan pada struktur bentang lebar yang dapat dikembangkan dengan bambu dan sambungan konstruksinya.

## **I.7 Sistematika Penulisan**

**Tesis ini akan terdiri dari lima bab :**

### **I. Bab I**

Memaparkan pendahuluan yang mencakup: latar belakang, permasalahan, pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian, sistematika penulisan, alur pikir.

### **II. Bab II**

Kajian teoritis yang memaparkan teori-teori yang berkaitan dengan pengetahuan tentang bambu, sifat-sifat fisik yang menyangkut kelemahan dan kelebihan dari bambu, pengawetan, konstruksi bambu, aplikasi penggunaan dan pengembangan bambu serta konstruksi dan struktur bangunan bentang lebar. Kemudian juga dilakukan kajian teori mengenai kayu sebagai perbandingan.

### **III. Bab III**

Memaparkan metode penelitian yang terdiri dari: variabel penelitian, teknis penelitian, rancangan penelitian, teknik pengumpulan data serta alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

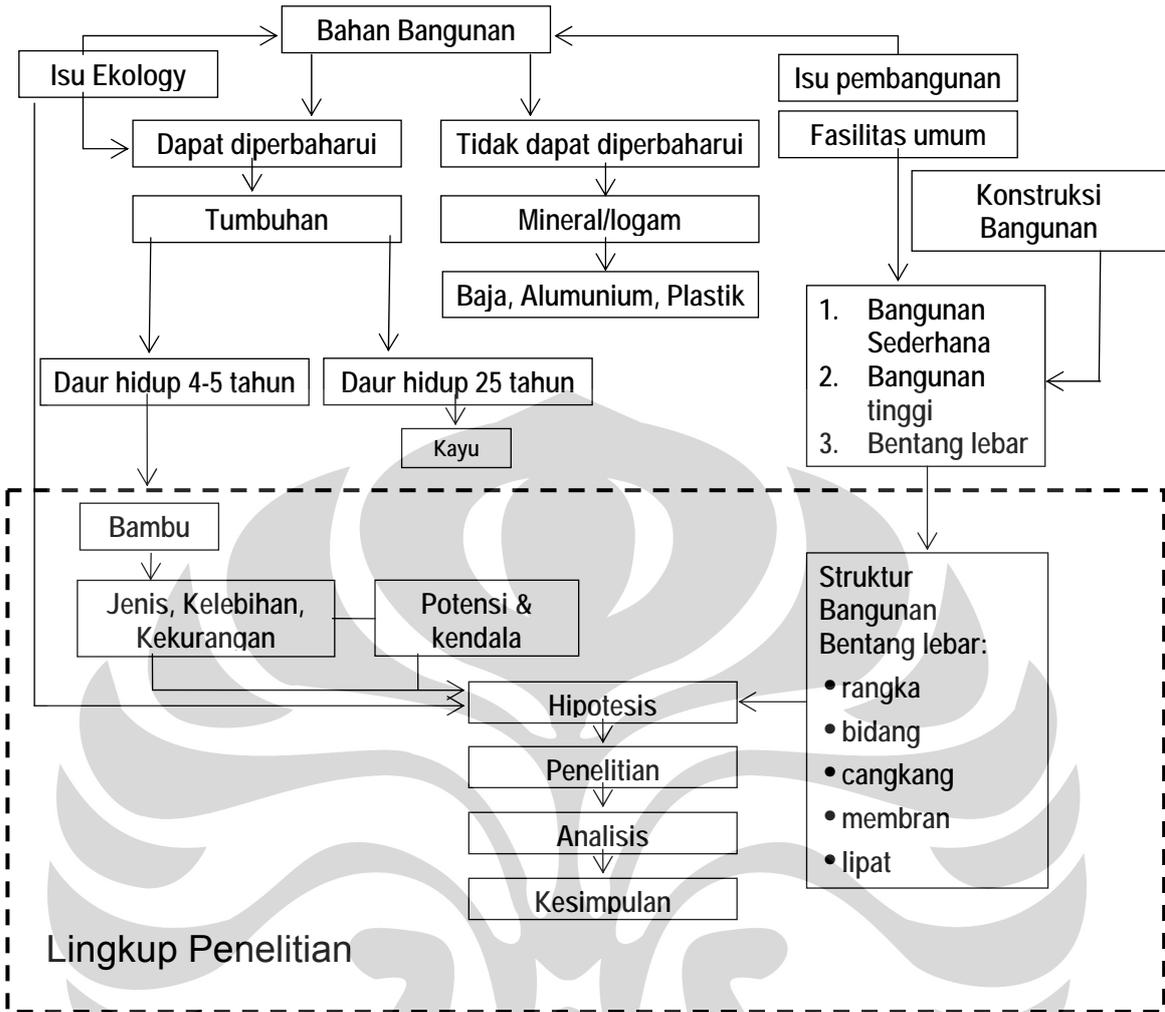
### **IV. Bab IV**

Memaparkan hasil pengujian kekuatan material di laboratorium dan simulasi komputer.

### **V. Bab V**

Berisi kesimpulan dari analisa pengujian dengan simulasi komputer sebagai pengujian kekuatan konstruksi sambungan bambu pada struktur bangunan bentang lebar.

I.8 Skema Alur Pikir



Gambar 1.1. Skema Alur Pikir

## **BAB II KAJIAN TEORI**

Kajian teori dibawah ini diperlukan untuk menunjang penelitian, pengetahuan dasar mengenai bambu yang menyangkut sifat fisis dan mekanis sebagai dasar untuk uji laboratorium dan memperkuat data yang diperlukan.

Sedangkan teori mengenai struktur bentang lebar dan teori mengenai konstruksi sambungan dibutuhkan dalam memberikan gambaran untuk diterapkan pada bahan konstruksi bambu. Serta beberapa teori yang dapat menunjang penelitian.

### **II.1 Bambu**

#### **II.1.1 Pengetahuan Dasar dan Sifat Umum Bambu**

Bambu memiliki kelebihan tersendiri sebagai bahan pengganti kayu, karena bambu memiliki usia hidup yang relatif singkat dibanding kayu sehingga penggunaannya tidak merusak keseimbangan alam dan bambu juga memiliki kekuatan yang setara dengan kayu mutu II.

Secara anatomis bambu berbeda dengan kayu. Menurut Yap (1967) bambu adalah suatu rumput yang tak terhingga (*peureunnial grass*) dengan batang-batang berkayu (*woody stems, culms*).<sup>7</sup>

Menurut Janssen (1980), bambu memiliki beberapa kelebihan dan kelemahan jika digunakan sebagai bahan bangunan. Kelebihan bambu antara lain, (a) pertumbuhannya cepat, dapat diolah dan ditanam dengan cepat sehingga dapat memberikan keuntungan secara terus menerus, (b) memiliki sifat mekanis yang baik, (c) hanya memerlukan alat sederhana, (d) kulit luar yang mengandung silikat yang melindungi bambu.<sup>8</sup> Sedangkan kelemahannya antara lain, (a) keawetan bambu relative rendah sehingga memerlukan upaya pengawetan (b) bentuk bambu yang tidak benar-benar silinder melainkan taper (c) sangat rentan terhadap resiko api, (d) bentuknya silinder sehingga menyulitkan proses pembangunan.

Kekuatan bambu sebagai bahan bangunan terletak pada susunan ruas-ruas yang ada diantara buku-buku (intermedium). Sehubungan dengan itu maka kualitas bambu terutama ditentukan oleh struktur dari jaringan dalam ruas-ruas bambu tersebut. Dibandingkan dengan beberapa kayu konstruksi, bambu memiliki kekuatan yang lebih baik dan dapat dengan mudah digunakan untuk tujuan struktural. Bentuk

---

<sup>7</sup> Ir. K.H.Felix Yap, *Bambu Sebagai Bahan Bangunan*, Bandung: Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, 1967.

<sup>8</sup> Jules A. Janssen. *The Mechanical Properties Of Bamboo Research in Asia*, Intenational Development Research Centre, Ottawa, Kanada , Singapore 28-30 Mei 1980.

fisik dengan buku dan dinding sekat batang, menyebabkan bambu memiliki kekuatan yang lebih tinggi terhadap ratio beban.

Kadar air bambu bervariasi menurut jenis dan posisi dalam batang, umur batang dan musim. Dinding bambu bagian luar memiliki berat jenis yang lebih besar dibandingkan dengan bagian dalam.

Sifat-sifat mekanis bambu dipengaruhi jenis, umur, tempat tumbuh dan posisi dalam batang. Keteguhan lentur, tekan dan tarik dari dinding bambu.

**Profil batang bambu antara lain sebagai berikut :<sup>9</sup>**

- a) Bentuk batang bulat, lancip dan tidak ada pertumbuhan ke samping (*radial growth*) seperti kayu.
- b) Bagian batang yang lurus kurang lebih 2/3 dari keseluruhan panjang batang.
- c) Batangnya berlubang, berbuku, beruas, kuat, liat, mudah dibelah atau disayat.
- d) Kulit batang tidak mengelupas, melekat kuat dan sukar ditembus oleh cairan. Pengulitan relatif sukar dan sampai saat ini belum ada alat mekanis yang dapat dipakai.
- e) Dalam keadaan utuh relatif sukar atau lambat kering. Apabila pengeringan terlalu cepat akan mengalami pecah atau retak.

**A. Sifat Fisis**

Besarnya nilai kerapatan bambu bertahan sesuai dengan usianya dan akan mencapai nilai terbesar bila telah tua. Selain itu tergantung dari jenis spesiesnya dan kadar kelembabannya.

Fang dan Mehta (1978) mengatakan bahwa bambu sangat mudah menyerap air dan melepaskannya saat mengering.<sup>10</sup> Penyerapan bambu terhadap air dapat mencapai 25% pada 24 jam pertama. Kadar air bambu bervariasi berdasarkan ketinggian, umur batang dan musim. Kadar air ini akan menurun ketika bambu berumur tua. Batang bambu yang berumur 6 bulan hingga 1 tahun mempunyai kadar air lebih tinggi bila dibandingkan dengan kadar air bambu yang berumur 3-4 tahun. Ruas mengandung kadar air 2-7% lebih tinggi daripada kadar air di buku.<sup>11</sup>

<sup>9</sup> Barly, *Pengawetan Bambu untuk Bahan Konstruksi Bangunan dan Mebel*, Badan Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan dan Sosial Ekonomi Kehutanan, 1999.

<sup>10</sup> Fang H. Y. and H. C. Mehta, *Sulfur-Sand Treated for Reinforcing Structural Concrete*. Washington D.C: American Chemical Society, 1978.

<sup>11</sup> J.O Siopongco and Munandar, *Technology Manual on Bamboo as Building Material*, Philippines: The Forest Product Research and Development Institute (FPDRI) Philippines and The Institute on Human Settlements (IHS) Indonesia, 1987

## B. Sifat Mekanis

Menurut Haygreen dan Bowyer (1982) bahwa kekuatan dan kekakuan/ketahanan terhadap perubahan bentuk suatu bahan disebut sebagai sifat-sifat mekanisnya.<sup>12</sup> Kekuatan adalah kemampuan suatu bahan untuk memikul beban atau gaya yang mengenainya, sedang kekuatan bahan adalah menggambarkan ketahanan beban karena adanya beban luar yang cenderung untuk mengubah bentuk dan ukurannya.

Perubahan bentuk dan ukuran diatas terjadi segera sesudah beban dikenakan dan dapat kembali saat beban itu dihilangkan atau disebut sabagai perubahan bentuk elastis (sifat elastis) dan dianalogakan sebagai ukuran kekuatan kekuatan bahan atau disebut *Modulus of Elasticity* (MOE). Sebagai sifat-sifat mekanis bahan bambu yang penting dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Sifat kekuatan yang terdiri:
  - a. Kekuatan lentur statik (MOR);
  - b. Kekuatan tekan;
  - c. Kekuatan tarik;
  - d. Kekuatan geser.
2. Sifat Elastis
  - a. Modulus elastisitas lentur (MOE);
  - b. Modulus elastisitas tarik/tekan sejajar serat (*modulus young*).

Secara teoritis sifat-sifat mekanika bambu tergantung pada:<sup>13</sup>

- Umur bambu pada waktu penebangan;
- Kelembapan (kadar air keseimbangan) pada batang bambu;
- Bagian batang bambu yang digunakan (bagian kaki, pertengahan, atau kepala);
- Letak dan jarak ruasnya masing-masing (bagian ruas kurang tahan terhadap gaya tekan dan lentur);
- Penentuan sifat-sifat mekanis bambu berdasarkan persyaratan bahwa bambu yang digunakan dalam pembangunan merupakan bahan bangunan yang kering dengan kadar air 12%.

Sedangkan keteguhan tekan bahan bambu dipengaruhi oleh presentase *sel sklerenkim*, kadar air dan posisi dalam batang, sedangkan keteguhan lenturnya oleh dalamnya batang dan ada tidaknya buku.

---

<sup>12</sup> Haygreen. J. G. dan J. L. Bowyer. *Forest Product and Wood Science, An Introduction*. Iowa, USA: The Iowa State University Press. Ames, 1982.

<sup>13</sup> Heinz Frick, *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*, 2004.

Berat jenis untuk konstruksi bangunan bambu (bahan bangunan yang kering dengan kadar air 12%) berat jenis bambu di Indonesia dianggap rata-rata sebagai 700 kg/m<sup>3</sup>.

Kekuatan tarik bambu untuk menahan gaya-gaya tarik berbeda-beda pada dinding batang dalam atau bagian luar, garis-tengah batang (batang yang langsing memiliki ketahanan terhadap gaya tarik yang lebih tinggi), serta pada bagian bagian kepala memiliki kekuatan terhadap gaya tarik yang 12% lebih rendah dibandingkan dengan bagian batang kaki. Di Indonesia tegangan tarik yang diizinkan II arah serat adalah 29.4 N/mm<sup>2</sup>.

Kekuatan tekan bambu untuk menahan gaya-gaya tekan berbeda-beda pada bagian ruas dan bagian diantara ruas batang bambu. Bagian batang tanpa ruas memiliki kekuatan terhadap gaya tekan yang 8-45% lebih tinggi daripada batang bambu yang beruas. Di Indonesia tegangan tekan yang diizinkan II arah serat adalah 7.85 N/mm<sup>2</sup>.

Kekuatan geser adalah ukuran kekuatan bambu dalam hal kemampuannya menahan gaya-gaya yang membuat suatu bagian bambu bergeser dari bagian lain didekatnya. Kekuatan geser berbeda-beda pada tebalnya dinding batang bambu (kekuatan geser pada dinding 10 mm menjadi 11% lebih rendah daripada dinding bambu setebal 6 mm), dan pada bagian ruas dan bagian diantara ruas batang bambu. Bagian batang tanpa ruas memiliki kekuatan terhadap gaya geser yang 50% lebih tinggi daripada batang bambu yang beruas. Di Indonesia kekuatan geser yang diizinkan arah serat adalah 2.45 N/mm<sup>2</sup>.

Kekuatan lentur adalah kekuatan untuk menahan gaya-gaya yang berusaha melengkungkan batang bambu atau menahan muatan mati atau hidup. Bambu merupakan bahan yang elastis, maka lendutan yang terjadi sesuai kekuatan bahan menjadi agak tinggi (rata-rata 1/20). Pada pembangunan gedung, dimana lendutan konstruksi biasanya tidak boleh melebihi 1/300 dari lebar bentang. Di Indonesia tegangan lentur yang diizinkan adalah 9.80 N/mm<sup>2</sup>.

Modul elastis, batang bambu yang berbentuk pipa dan berbentuk langsing. Di Indonesia modul elastis dapat diperhitungkan dengan 20 kN/mm<sup>2</sup>.

Menurut Yap (1967), bambu mempunyai keteguhan tarik 1000-4000 kg/cm<sup>2</sup>, keteguhan lentur 250-1000 kg/cm<sup>2</sup> dan kekakuannya 100.000-300.000 kg/cm<sup>2</sup>. Kekakuan batang bagian luar lebih besar daripada bagian dalam, demikian juga bagian ruas lebih besar daripada buku.

Menurut Surjokusumo (1981) bahwa sifat mekanis yang penting yang perlu diuji adalah kekuatan lentur, kekuatan tekan sejajar serat, kekuatan tarik sejajar serat dan modulus elastisitas lentur (MOE).

### C. Sifat Anatomis

Bambu tidak mempunyai elemen-elemen sel radial seperti jari-jari hari hati dalam kayu. Jaringan bambu terbangun dari *sel-sel parenkim* dan *gugus vascular* yang kaya akan buluh. Gugus-gugus ini terdiri dari buluh-buluh, serat-serat berdinding tebal dan pipa ayakan. Pergerakan air terjadi melalui buluh-buluh sedangkan serat-serat memberikan kekuatan bambu. Bahan-bahan makanan ditimbun dalam *sel-sel parenkim* yang mengisi kira-kira 70% daripada jaringan. Batang mencapai tinggi maksimal setengah tahun pertama. Dalam dua tahun, batang bambu menjadi dewasa lebih terlignifikasi daripada bagian atas dan bagian luar lebih terlignifikasi daripada bagian dalam. Bambu telah dianggap dewasa dan siap digunakan bila telah mencapai umur tiga tahun atau lebih.

Dari sekian banyak sifat-sifat bambu terdapat sifat umum yang sama, yaitu :

1. Batang bambu tersusun dari bagian buku (*node*) dan bagian ruas (*internode*). Pada bagian ruas orientasi sel adalah *aksial*, tidak ada yang radial sedangkan pada bagian buku dilengkapi sel arah *radial*. Bagian terluar batang bambu terbentuk dari lapisan tunggal *sel epidermis* dan bagian dalam tertutup *lapisan sklerenkim*. Batang bambu terdiri dari 50% *parenkim*, 40% serat *sklerenkim* dan 10% pori sel pemburu (liese, 1988).
2. Bambu terdiri dari 50-70% *hemiselulosa*, 30% *pentosan*, dan 20-25% *lignin*, 90% dari *hemiselulosa* adalah *xylan*. Kandungan *silika* tinggi, antara 0, 5-4% dan seluruhnya terdapat pada lapisan *epidermis*. Bambu juga mengandung sedikit *resin*, *lilin* dan *tanin* (Kumar et al., 1994).
3. *Parenkim* dan sel penghubung lebih banyak ditemukan pada bagian luar. Sedangkan susunan serta pada ruas penghubung antarbuku memiliki kecenderungan bertambah besar dari bawah keatas sementara *parenkimnya* berkurang.

Dari segi manfaat bagi kehidupan manusia, bambu mempunyai sifat-sifat utama antara lain: <sup>14</sup>

1. Bambu merupakan sumber kekayaan alam yang tidak akan habis, apabila dikelola dengan baik. Disebut sebagai "*renewable resources*".
2. Bambu merupakan bahan mentah yang dengan kemajuan teknologi dapat dikembangkan.

---

<sup>14</sup> Ridwanti Batubara, *Pemanfaatan Bambu di Indonesia*, Fakultas Pertanian Program Ilmu Kehutanan Universitas Sumatra Utara, 1997.

3. Bambu mempunyai sifat-sifat spesifik yang tidak dapat ditiru oleh bahan-bahan lain seperti: elastis, lentur, ringan.

4. Bambu merupakan bahan bangunan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan alam.

Bambu juga dapat menggantikan bahan bangunan lain untuk kegunaan yang sama. Kelebihan dan kekurangan bambu:

1. Jika dilihat dari harga, bambu relatif murah dibandingkan kayu
2. Masa panen lebih cepat dibandingkan kayu
3. Sifat bambu lebih lentur dibandingkan kayu
4. Bambu mudah dibelah secara melintang dan daya dukung yang relatif kecil.

Walaupun kelemahan bambu hampir sama kayu yang tidak tahan terhadap serangga (rayap) lapuk, kelemahan tersebut dapat diatasi dengan pengolahan yang baik dan benar melalui cara menanam, memanen, dan mengolah hasil panennya.

#### D. Persyaratan Bambu Untuk Bangunan

Persyaratan bambu untuk bangunan:

1. Bambu harus tua, berwarna kuning jernih atau hijau tua
2. Berbintik putih pada pangkalnya
3. Berserat padat dengan permukaan yang mengkilap
4. Ditempat buku tidak boleh pecah
5. Bambu yang telah direndam air harus berwarna pucat tidak kuning, hijau atau hitam, punya bau asam yang khas, jika dibelah tidak ada rambut didalam.

Beberapa jenis bambu yang banyak digunakan sebagai bahan bangunan dapat dilihat dalam tabel dibawah:

Tabel 2.1. Jenis-Jenis Bambu untuk Mebel dan Bahan Bangunan<sup>15</sup>

Nama		Sesuai untuk Pembuatan	
Botanis	Daerah	Bangunan	Mebel
<i>Bambusa vulgaris</i>	Bambu ampel	v	-
<i>Bambusa arundinaceae</i>	Bambu ori	v	-
<i>B. blumeana</i>	Bambu duri	v	-
<b><i>Dendrocalamus asper</i></b>	<b>Bambu betung</b>	<b>v</b>	-
<b><i>Gigantochloa apus</i></b>	<b>Bambu tali</b>	<b>v</b>	<b>v</b>
<b><i>G. atroviolaceae</i></b>	<b>Bambu hitam</b>	<b>v</b>	<b>v</b>
<i>G. Pseudocarundanaceae</i>	Bambu gombang	v	-

Sumber: Barly, 1999

<sup>15</sup> Barly, *Pengawetan Bambu Untuk Bahan Konstruksi Bangunan Dan Mebel*, Bogor: Badan Penelitian Dan Pengembangan Kehutanan dan Perkebunan Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan dan Sosial Ekonomi Kehutanan, 1999.

## E. Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Bambu yang Pernah Dilakukan

Berbagai penelitian yang dikaitkan dengan kekuatan fisik dan mekanik bambu yang dilakukan oleh Fakultas Kehutanan IPB tahun 1984 adalah untuk mengetahui potensi dan kekurangan berbagai macam bambu yang ada di Indonesia.

Tabel 2.2. Sifat fisik dan mekanis tiga jenis bambu pada daerah berbuku dan tanpa buku<sup>16</sup>

No.	Sifat Fisik-Mekanik (kg/cm <sup>2</sup> )	Jenis Bambu					
		Tali		wulung		Betung	
		Berbuku	tanpa buku	berbuku	tanpa buku	berbuku	tanpa buku
1.	Kekuatan lentur	802	1240	1032	1835	1236	2065
2.	Kekuatan tekan	505	521	562	705	548	675
3.	Kekuatan tarik	1231	2358	1252	2837	2258	2858
4.	Modululus elastisitas lentur	57515	121334	96616	121395	103289	216577
5.	Modululus elastisitas tarik	890077	152251	160908	296378	148640	320790

Sumber: Fakultas Kehutanan IPB, 1984

### II.1.2 Jenis Bambu

Banyak macam bambu, tetapi dari ratusan jenis itu empat macam saja yang dianggap paling penting sebagai jenis bambu dan yang umum dipasarkan di Indonesia, yaitu bambu tali, bambu betung, bambu duri/ori, dan bambu wulung.

Menurut Sharma (1987) dalam Morisco (1999), di dunia tercatat lebih dari 75 negara dan 1250 spesies bambu, sedangkan Uchimura (1980) dalam Morisco (1999) mengatakan bahwa bambu yang ada di Asia Selatan dan Asia Tenggara merupakan 80% dari keseluruhan bambu yang ada di dunia. Genus *Bambusa* adalah jumlah yang terbanyak, terutama terbesar di daerah tropik termasuk di Indonesia.<sup>17</sup>

Di pihak lain menurut Prosea (1995), spesies bambu yang ada di dunia yang sudah teridentifikasi sebanyak 1030 spesies. Tersebar di Amerika Tengah bagian tropis sebanyak 410 spesies, di Asia bagian daerah empat musim sebanyak 320 spesies, di Asia bagian tropis dan sub tropis sebanyak 270 spesies, di Madagaskar sebanyak 20 spesies, di Afrika Selatan sebanyak 4 spesies, di Pasifik sebanyak 4 spesis dan Australia sebanyak 3 spesies.<sup>18</sup>

Di Indonesia sendiri terdapat puluhan jenis bambu yang terbesar di berbagai kepulauan. Distribusi cukup luas, mulai dari dataran rendah sampai dataran tinggi

<sup>16</sup> L.I. Syafi'i, *Pengujian Sifat-Sifat Fisis dan Mekanik Contoh Kecil Bebas Cacat Beberapa Jenis Bambu*. Skripsi. Fakultas Kehutanan IPB, tidak diterbitkan, 1984.

<sup>17</sup> Morisco, *Bambu sebagai Bahan Rekayasa*, Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, (1996).

<sup>18</sup> Prosea, *Bamboos Plant Resources of South-East Asia 7*, Printed in Indonesia, (1995), h 189.

dan pegunungan berbukit-bukit dan dari tanah subur sampai pada tanah yang kurang subur.

Hasil penelitian Darmono (1993) dalam Sulthoni (1998) menyatakan bahwa rata-rata hasil produksi bambu di Jawa Timur adalah 7.5 ton/Ha/tahun.<sup>19</sup>

Ketersediaan bambu di Jawa Barat seperti di Garut, Bogor, Sukabumi, Depok setiap tahun cukup besar. Dari data terakhir, tercatat luas kebun bambu sebesar 323,10 Ha dengan hasil sebesar 726.492 ton.<sup>20</sup>

Selain dipulau Jawa rumpun bambu juga banyak terdapat didaerah Sumatera, Sulawesi dan daerah-daerah lain<sup>21</sup>. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat diperkirakan bahwa potensi bambu di Indonesia cukup besar.

Sebenarnya bambu merupakan bahan yang sudah sangat dikenal oleh masyarakat sejak zaman dahulu namun pemanfaatan bambu sebagai bahan bangunan masih jarang digunakan hal ini disebabkan karena keterbatasan pengetahuan dari masyarakat tentang penggunaan bambu dan juga kurangnya sosialisasi instansi terkait untuk lebih memasyarakatkan penggunaan bambu sebagai bahan bangunan. Bambu yang belum dapat diolah dengan baik sebagai bahan bangunan seperti yang dikemukakan Surjokusumo dan Nugroho (1998), bambu sebagai bahan bangunan banyak digunakan didaerah pedesaan, sedangkan didaerah perkotaan bambu digunakan untuk membangun rumah murah, bangunan sementara dan perancah bangunan bertingkat.

Penggunaan bambu yang biasa dilakukan masyarakat pada umumnya merupakan cara-cara tradisional. Menurut Siopongco dan Munandar (1987) bambu dapat digunakan sebagai komponen bangunan dalam bentuk tiang, balok, lantai, dinding, struktur atap dan atap, pintu dan jendela, langit-langit, tangga, dinding penahan tanah dan lain sebagainya.

Bambu merupakan bahan yang serbaguna dan memiliki peranan penting dalam penggunaannya bambu saat ini bahan 80% digunakan sebagai konstruksi bangunan, 5% perlengkapan rumah tangga, 5% untuk pagar, 5% untuk kerajinan rumah tangga dan 5% untuk kebutuhan lainnya.<sup>22</sup>

---

<sup>19</sup> A. Sulthoni, *Kumbang Bubuk dan Pencegahannya Secara Tradisional*. Disertasi Universitas Gajah Mada Yogyakarta, 1984.

<sup>20</sup> Penelitian Puslitbang, ketersediaan bambu, hutan bambu, dan pemanfaatannya, 1998.

<sup>21</sup> Ridwanti Batubara, *Pemanfaatan Bambu di Indonesia*, Fakultas Pertanian Program Ilmu Kehutanan Universitas Sumatera: diantaranya menjelaskan ketersediaan bambu di Indonesia, 1997.

<sup>22</sup> Pusat Penelitian Hasil Hutan Bogor, *Himpunan Sari Hasil Penelitian Rotan dan Bambu*, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan dan Perkebunan Bogor, 2000.

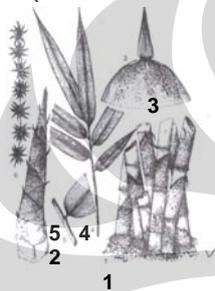
### A. Bambu Tali/Apus (*Gigantochloa Apus*).

Bambu tali dikenal di Jawa tumbuh dan tersebar luas dan populasi alaminya terdapat di Gunung Salak (Jawa Barat), Blambang (Jawa Timur), Sumatera Selatan, Sulawesi Tengah, dan Kalimantan Tengah.

Bambu tali di Indonesia banyak digunakan untuk membuat perlengkapan memasak, alat-alat perikanan, *furniture*, tali dan macam-macam keranjang. Batangnya dapat tahan lama dan digunakan sebagai bahan bangunan seperti atap, tembok, dan jembatan.

Bambu yang amat liat dengan jarak ruas sampai 65 cm dan dengan garis tengah 40 – 80 mm, serta panjang batang 6 – 13 m.

Bambu Apus (J.A & J.H Schultes) Kurz



- 1) Perawakan
- 2) Rebung
- 3) Pelepah buluh
- 4) Daun
- 5) Pelepah daun
- 6) perbungaan

Gambar 2.1 Anatomi Bambu Tali (sumber: Heinz Frick, 2004)

Ekologi *G.Apus* terdapat di lereng bukit sampai ketinggian 1500 m dpl.

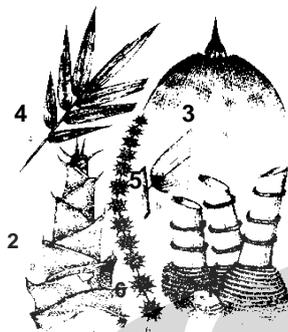
### B. Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*)

Nama lain *bambusa aspera schutes f.*(1830), *Dendrocalamus flagellifer* (Munro 1866), *Gigantochla aspera* (Schultes f.) (Kurz (1876), *Dendrocalamus merrillianus* (Elmer 1915). Giant bamboo (English), Indonesia: Bambu betung (Indonesia).

Asal dan penyebaran secara geografis: asal dari *D.asper* tidak diketahui secara pasti, tetapi diperkirakan disekitar Asia Tenggara. Bambu ini ditanam diseluruh bagian tropis Asia, dan dibanyak bagian dari Malaysia (contoh Sabah dan Serawak) dan di Indonesia seperti di Sumatera, Jawa, Sulawesi Selatan, Seram, bagian barat Papua) dan telah menjadi alami.

Kegunaan. Batang dari *D.asper* mempunyai dinding yang tebal yang sangat kuat dan tahan lama. Digunakan sebagai bahan bangunan untuk rumah dan jembatan.

Bambu Betung terlindung (*Dendrocalamus asper* (Schult.f) Backer ex Heyne) termasuk family *Graminae* yang mempunyai diameter rata-rata antara 15-20 cm. Bambu tersebut mempunyai rumpun yang agak sedikit rata, tinggi buluh bisa mencapai 20 m dengan panjang ruas antara 30-60 cm dan tebal dinding 1 -2,5 cm.



1. perawakan
2. rebung
3. pelepah buluh
4. daun
5. pelepah daun
6. perbungaan

Gambar 2.2. Anatomi Bambu Betung  
(sumber: Heinz Frick, 2004)

Jenis bambu ini dapat tumbuh ditempat-tempat mulai dataran rendah sampai daerah dengan ketinggian 2000 m dari permukaan laut dan beriklim tidak terlalu kering .

Menurut Dransfield dan Widjaja (1955), komposisi kimia bambu betung terdiri dari *holoselulosa* 53%, *pentosan* 19%, *lignin* 25% dan kadar abu 3%. Bambu ini memiliki ukuran serat dengan panjang 3,78 mm, diameter 19 mikronmeter. Kadar air rata-rata batang segar adalah 55% sedangkan pada kondisi kering udara rata-rata sebesar 15%.<sup>23</sup>

Sementara itu sifat-sifat bambu betung seperti yang dilaporkan Syafi'i (1984) adalah sebagai berikut: berat jenis antara 0,50-0,74, nilai MOR berkisar antara 1301-2127 kg/cm<sup>2</sup>, MOE 77950 – 179796 kg/cm<sup>2</sup>, tekan sejajar serat 518-743 kg/cm<sup>2</sup> dan tarik sejajar serat 1548-2578 kg/cm<sup>2</sup>.

Selanjutnya hasil pengujian yang dilakukan Surjokusumo dan Nugroho (1994) terhadap sifat fisis dan mekanis bambu betung yang membandingkan bagian ruas dan buku dapat dilihat pada Tabel 2.3.<sup>24</sup>

<sup>23</sup> Dransfield dan Widjaja E.A. Bamboos. Plant Resources of South-East Asia. Vol. 7. Prosea, Bogor, 1995.

<sup>24</sup> Surjokusumo dan Nugroho, Pemanfaatan Bambu sebagai Bahan Bangunan Dalam Widjaja et.al: Strategi Penelitian Bambu Indonesia, Sarasehan Penelitian Bambu Indonesia Di Puspitek Serpong tanggal 21-22 Juni 1994.

Tabel 2.3. Beberapa sifat fisis dan mekanis pada bagian ruas dan buku bambu betung

No.	Sifat Fisis	Bagian Batang Bambu		
		Ruas	Buku	Rasio
1.	Kadar Air (%)	14.00	15.30	1.09
2.	Berat Jenis	0.61	0.70	1.15
3.	Penyusutan (%)			
	Basah ke Kering Udara			
	a. Tebal (rad)	3.57	3.15	0.88
	b. Lebar (tag)	4.74	3.49	0.74
4.	Keteguhan Lentur			
	a. MOE (x 1000 kg/cm <sup>2</sup> )	202.0	167.8	0.83
	b. MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	1420.3	1214.7	0.85
5.	Tekan // (kg/cm <sup>2</sup> )	571.3	524.2	0.92
6.	Tarik // (kg/cm <sup>2</sup> )	2202.8	1380.3	0.63
7.	Geser // (kg/cm <sup>2</sup> )	118.6	126.2	1.06

Sumber: Surjokusumo dan Nugroho (1994)

Kandungan pati bambu betung pada bagian pangkal, tengah dan ujung adalah sebagai berikut 0,72%, 0,81% dan 1,18%. Kandungan pati pada bambu betung merupakan faktor yang kritis bagi ketahanan alaminya dari serangga bubuk kayu kering.

### C. Bambu Wulung/Hitam (*Gigantochloa Verticillata*).

Bambu dengan jarak ruas panjang seperti bambu tali/apus, akan tetapi tebalnya sampai 20 mm dan tidak liat (getas), bergaris kuning muda. Garis tengah bambu ini 40 – 100 mm, panjang batang 7 – 18 m.



#### *Gigantochloa Verticillata* :

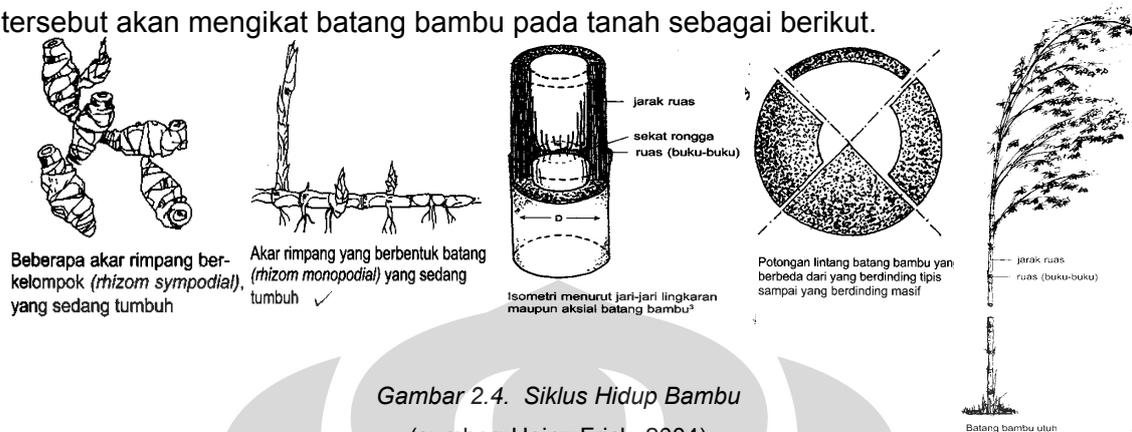
- 1) daun
- 2) perbungaan dengan berkas duri palsu
- 3) pelepah buluh dari belakang
- 4) pelepah buluh dari samping
- 5) duri palsu
- 6) duri
- 7) lemma
- 8) palea
- 9) androecium
- 10) benang sari
- 11) gynoecium
- 12) pelepah daun

Gambar 2.3. Anatomi Bambu Wulung

(sumber: Heinz Frick, 2004)

### II.1.3 Pertumbuhan Bambu

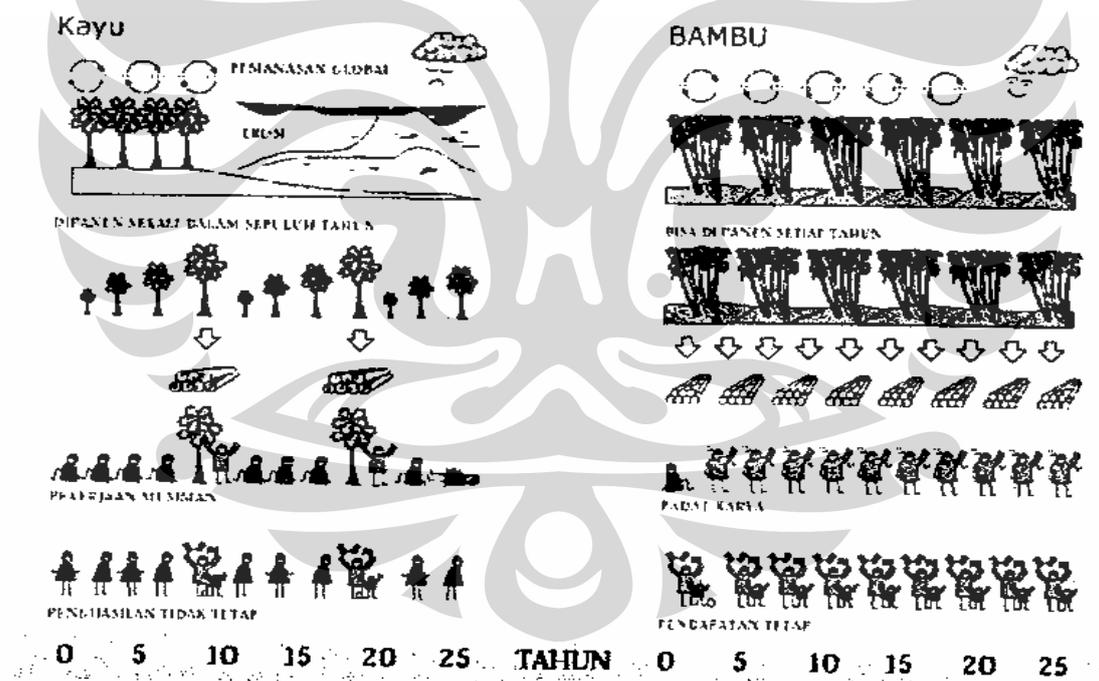
Dasar tumbuhan bambu pada daerah tropis dinamakan sebagai akar rimpang, yaitu semacam buhul (rebung) yang bukan akar maupun tandan. Akar rimpang tersebut akan mengikat batang bambu pada tanah sebagai berikut.



Gambar 2.4. Siklus Hidup Bambu (sumber: Heinz Frick, 2004)

Pada gambar diatas dapat dilihat siklus pertumbuhan bambu mulai dari akar hingga menjadi pohon bambu.

### Perbandingan Pemanfaatan Bambu dan Kayu



Gambar 2.5. Perbandingan Masa Siklus Hidup Bambu dan Kayu

(sumber: Seminar Penerapan Bahan Bangunan Dalam Rancang Bangun Arsitektur, 2006)

Pada gambar diatas menunjukkan perbandingan hidup bambu dan kayu, terlihat bahwa bambu sudah dapat dimanfaatkan atau masa panennya pada saat berumur lima tahun sedangkan kayu baru dapat digunakan atau dipanen pada saat berumur duapuluh lima tahun.

## II.1.4 Pengawetan Bambu

Bambu merupakan bahan bangunan organik yang tingkat keawetannya rendah. Jika bambu akan dipakai keperluan dalam jangka waktu yang lama, maka bambu ini sebaiknya diawetkan terlebih dahulu.

Mutu bambu di pengaruhi terutama oleh:

- Masa memotong batang bambu (pemanenan)
- Perawatan dan pengeringan bambu
- Pengawetan bambu

Keawetan bambu menurut Simon Velez (2000) terhadap cuaca dan serangga tergantung pada penggunaannya. Perlindungan yang paling baik adalah desain yang baik, sebaiknya batang bambu tersebut tidak bersentuhan secara langsung dengan tanah. Pada rumah bambu di Manizales dapat keawetannya dapat mencapai 100 tahun.<sup>25</sup>

### A. Pengaruh Masa Memotong Batang Bambu Terhadap Keawetan (Pemanenan)

Penelitian menunjukkan bahwa bambu sebagai bahan bangunan sebaiknya dipotong pada umur 3-6 tahun.

Masa memotong bambu paling baik berhubungan dengan kandungan kanji pada batangnya yang berpengaruh pada keawetan bambu:

Tabel 2.4. Masa Pemotongan Bambu

Bulan	Kandungan kanji pada batang bambu dalam %			
	Ampel	Betung	Wulung	Tali
Januari	0.50	0.48	0.33	0.26
Februari	1.55	3.96	1.24	2.08
Maret	0.31	0.36	0.31	0.38
April	1.99	0.32	0.38	0.42
Mei	4.08	0.90	0.53	0.37
Juni	3.70	0.56	0.42	0.30
Juli	1.90	0.40	0.30	0.39
Agustus	2.67	0.46	0.54	0.29
September	3.58	2.07	0.27	0.28
Oktober	4.73	0.49	0.32	0.26
November	6.22	0.46	0.32	0.50
Desember	2.82	0.48	0.37	0.31
Rata-Rata	3.14	0.83	0.37	0.34

(sumber: Heinz Frick, 2004)

<sup>25</sup>Simon Velez and bamboo architecture. Grown Your Own House. Vitra Design Museum und Autoren. (2000).

Waktu memotong bambu yang benar adalah subuh pada saat bulan tua (pada seperempat terakhir sebelum bulan gelap) karena batang bambu pada waktu itu paling kering. Saat ini rebungnya mulai berdaun, persediaan makanan dalam induk bambu cenderung turun, karena bahwa bambu akan lebih awet karena kurang dikuasai oleh serangga.

Cara tradisional pengawetan bambu yang paling sering dilakukan adalah dengan perendaman, baik dalam air mengalir, lumpur atau air laut. Perendaman ini berlangsung antara satu hingga 24 minggu. Proses perendaman dapat memperbaiki daya tahan bambu terhadap serangan bubuk.

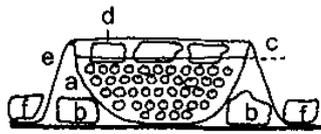
## **B. Berbagai Cara Kimiawi Pengawetan Bambu**

Keterawatan adalah daya tahan sesuatu jenis bambu terhadap faktor perusak biologis disebabkan oleh makhluk hidup perusak bambu seperti jamur, serangga dan binatang laut. Seperti halnya bambu sangat rentan pertamakali terhadap bubuk kayu kering dan rayap kayu kering serta rayap tanah, sementara itu daya tahannya tergantung dari kondisi cuaca dan lingkungannya. Bila berada di udara terbuka dan diletakkan diatas tanah tanah, bambu yang tidak terawat dapat bertahan kurang dari 1-3 tahun, sedangkan dalam keadaan terlindungi dapat bertahan 4-7 tahun, bahkan ada yang tahan hingga 10-15 tahun. Jika terendam dalam air laut hanya tahan kurang dari 1 tahun.

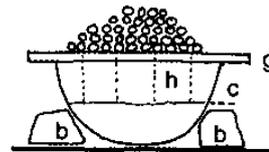
Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur dan kelembaban udara merupakan faktor yang menentukan kelangsungan hidup bubuk kayu kering. Larva bubuk kayu kering *Heterobostrychus aequalis* misalnya dapat tumbuh normal pada temperatur sekitar 25°C dan kelembaban 76% .

## **C. Pengawetan Dengan Perendaman**

Batang atau bilah bambu merupakan cara yang paling sederhana. Batang (bilah) bambu direndam dalam bahan pengawet dengan atau tanpa tangkainya. Pengawetan dengan perendaman hanya dapat dilakukan dengan bambu yang baru dipotong (bukan kering, cara ini memerlukan 2 – 5 hari.



Perendaman batang bambu dalam palungan



Pengeringan batang bambu

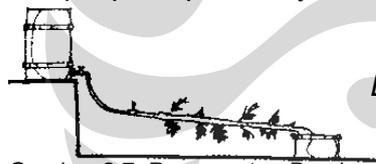
Gambar 2.6. Pengawetan Bambu

(Sumber: Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu, 2004)

- a) Palungan diisi batang bambu;
- b) Batu alam untuk menjaga kestabilan palungan;
- c) Permukaan larutan bahan pengawet;
- d) Batu alam yang membebani batang bambu sehingga tidak terapung;
- e) Penutup/lembaran plastik untuk melindungi terhadap air hujan;
- f) Batu alam untuk merapatkan lembaran plastik;
- g) Batang melintang sebagai alas batang bambu yang dikeringkan;
- h) Bahan pengawet yang menetes.

#### D. Pengawetan Dengan Cara Pengaliran (*boucherie process*).

Batang bambu yang baru dipotong (termasuk tangkai dan daunnya) disambung dengan selang pada ujung kakinya pada drum besi yang mengandung bahan pengawet. Bahan pengawet tersebut akan mengalir dalam batang bambu sampai pada puncaknya.



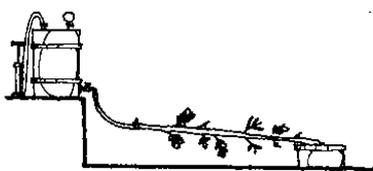
*Boucherie process*

Gambar 2.7. Pengawetan Bambu dengan Cara Pengaliran

(Sumber: Penelitian Bambu Indonesia Puspitek, 1994)

#### E. Pengawetan Dengan Cara Penekanan (*bucherie process*)

Merupakan cara yang lebih cepat sehingga tidak perlu ditunggu 2-5 hari. Pada cara ini drum besi yang mengandung bahan pengawet harus rapat udara dilengkapi dengan pompa udara yang akan menekan bahan pengawet kedalam batang bambu.

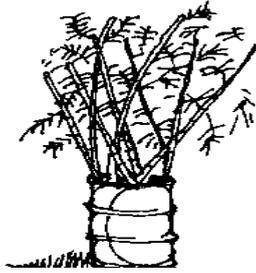


*Boucherie process* dilengkapi dengan pompa udara

Gambar 2.8. Pengawetan Bambu dengan Cara Penekanan

(Sumber: Penelitian Bambu Indonesia Puspitek, 1994)

Sesudah warna bahan pengawet tersebut mirip dengan warna pengawet dalam drum besi, maka pengawetan selesai.



Gambar 2.9. Pengawetan Bambu dalam drum besi

(Sumber: Penelitian Bambu Indonesia Puspitek, 1994)

Batang bambu juga ditaruh dalam drum besi (*steeping*). Batang bambu yang baru dipotong, dan tidak boleh terlalu panjang, termasuk daun dan tangkainya ditaruh dalam larutan kimia. Bahan pengawet akan dihisap oleh pembuluh rambut batang bambu sampai menguap pada daunnya. Sesudah pengawetan dengan cara perendaman, pengaliran, penekanan atau penyimpanan dalam drum besi, batang atau bilah bambu dikeringkan sampai kadar airnya mencapai 10-15%.

#### F. Mengecat Dengan Zat Penolak Serangga.

Daun dari pohon imbau (*Azadirachta indica*) dihancurkan dan digilas sehingga menghasilkan sari daun. Karena sari tersebut mengandung insektisida alam, maka sari ini dapat dicatkan pada batang dan konstruksi bambu yang sudah dalam keadaan kering sehingga menolak serangga.

Tabel 2.5. Keawetan Bambu Berdasarkan Tempat Penggunaan

Tempat Penggunaan	Umur pakai (Dalam tahun)	
	Tanpa pengawetan	Pengawetan tradisional
Di bawah atap, tidak berhubungan dengan tanah	10	35
Di bawah atap, berhubungan dengan tanah	7	10
Di luar, tidak berhubungan dengan tanah	7	8
Di luar, berhubungan dengan tanah	3	5

Sumber: Penelitian Bambu Indonesia Puspitek, 1994

Dengan penggunaan bahan pengawet umur pakai itu dapat diperpanjang sampai 15 tahun atau lebih. Bahkan bambu yang digunakan di tempat yang tidak selalu kontak dengan tanah lembab dan atau digunakan di bawah atap dapat mencapai umur 20 – 30 tahun. Dalam hubungan itu, biaya awal yang dikeluarkan dalam pengawetan bambu, dapat dibayar oleh lamanya umur pakai dari bambu yang diawetkan, sehingga biaya tahunannya menjadi kecil.

## G. Pengawetan Pelapis Bambu Terhadap Iklim

Konstruksi yang baik (pencegahan konstruktif) pada pelapis dinding luar yang terkena iklim/cuaca.

Tabel 2.6. Cara Pengawetan Pelapis Bambu Terhadap Iklim

Pengaruh luar	Akibat	Tindakan untuk mencegah
Radiasi ultra-ungu (cahaya)	Berubah warna pada permukaan	Tidak dibutuhkan
Radiasi infra-merah (panas)	Meningkatkan suhu pada permukaan, bambu menyusut	Perubahan ukuran bambu (bilah, pelupuh) yang menyusut akibat pengeringan perlu dipertimbangkan sebelumnya
Kelembapan tanah naik		Menggunakan lapisan kedap air di bawah batang bantalan dari bambu
Air hujan	kelembapan dalam bambu meningkat, bambu terancam kebusukan dan terkena jamur	Memilih atap senguap yang lebar, permukaan bambu adalah kulitnya
Kelembapan udara		Jika bambu dicat, gunakan cat yang mengijinkan kelembapan tembus tapi tetap menolak air
Angin	Dinding yang kurang rapat terhadap angin (termasuk debu) menyidiakan tempat tumbuh jamur dan sarang hama	Konstruksi pelapis dinding luar sebaiknya rapat udara, tetapi tetap memungkinkan kelembapan dan udara berbentuk uap dapat tembus
Hama (serangga)	Mengurangi kekuatan konstruksi pelapis dinding luar	Memilih bambu yang dipanen, dirawat, dan diawetkan sesuai ketentuan. Pembukaan penghawaan konstruksi dilengkapi dengan kawat nyamuk.
Jamur (penyerang bambu)	Mengurangi kekuatan konstruksi pelapis dinding luar oleh selulosa yang hilang	Memilih bambu yang dipanen, dirawat, dan diawetkan sesuai ketentuan. Memperhatikan permasalahan tentang air dan kelembapan tersebut diatas

Sumber: Heinz Frick, 2004

## II.1.5 Bahan Bangunan Dari Bambu

### Batang, pelupuh, dan bilah bambu

Pada rumah tinggal hampir semua bagiannya dapat dibuat dari bambu kecuali alat-alat penyambungannya (tali dan sebagian). Bagian-bagian bangunan tidak terbatas pada tiang, lantai, dan dinding beserta konstruksi atap, tetapi juga dapat berupa perabot seperti kursi, meja, rak, dan sebagainya.

Bambu sebagai bahan bangunan dapat berbentuk utuh, belahan dan bilah. Bahan ini digunakan untuk komponen rangka, gordeng, kaso, reng, kolom/tiang, dan kuda-kuda tabel dibawah ini:

Tabel 2.7. Macam Komponen dan Beban Bakunya

Komponen	Bambu		BilAh	
	Utuh	Belah	Tebal	Tipis
Kolom	v	v	-	-
Kuda-kuda	v	v	-	-
Gordeng	v	-	-	-
Kaso	v	-	-	-
Reng	-	v	v	-
Atap	-	v	-	-
Rangka : - Atap	v	-	-	-
- Dinding	v	-	-	-
- Lantai	v	-	-	-
Pengaku	v	v	-	-
Jendela/pintu :				
- Kusen	v	v	v	-
- Daun	v	v	v	v
Pengisi rangka	v	v	v	v
Balok laminasi	-	-	v	v

Sumber: Heinz Frick,2004

## II.1.6 Konstruksi Bambu

Konstruksi bambu dilihat dari aspek kontribusi terhadap kekuatannya, secara garis besar terbagi atas dua macam, yaitu

- **kontruksi atau elemen struktural, yaitu sebagai konstruksi atap, kuda-kuda, peran, kasau, pondasi. Akan dibahas lebih lanjut pada penjelasan dibawah.**
- **kontruksi atau elemen non-struktural, seperti dinding, saluran air, perancah.**

### II.1.6.1 Potensi Bambu sebagai Konstruksi Ringan

Pendekatan rasional untuk menentukan kegunaan suatu jenis produk dari bambu adalah memilahnya berdasarkan suatu kriteria atau persyaratan yang akan menjadi ukuran mutu bagi klasifikasinya untuk berbagai penggunaan akhir. Setiap produk menghendaki persyaratan teknis tertentu, agar hasil yang diperoleh mempunyai kualitas yang memenuhi standar yang ditentukan.

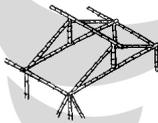
Bambu mempunyai kualitas yang baik bila digunakan sebagai bahan konstruksi, seperti berat jenis atau kerapatan, sifat mekanis yang baik, kestabilan dimensi yang baik, memiliki corak dan warna yang khas serta mempunyai sifat, pengerjaan, pengeringan dan *finishing* yang baik.

### II.1.6.2 Atap

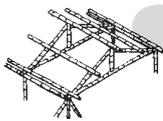
#### A. Fungsi, bentuk, dan komponen konstruksi atap

Atap adalah bagian paling atas dari sebuah bangunan, yang paling melindungi gedung dan penghuninya secara fisik maupun *netafisikn* (*mikrokosmos* / *makrokosmos*).

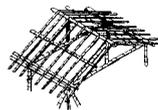
#### B. Elemen atap



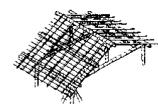
**Kuda-kuda** terdiri dari kuda penopang (iga-iga) yang menyalurkan gaya tekan, balok dasar pada kuda-kuda yang berfungsi sebagai penahan gaya tarik, serta tiang tengah (*ander*) yang mendukung balok bubungan (*molo*) dan menerima gaya tekan.



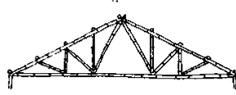
**Peran** (*gording*) sebagai penyangga kasau (usuk) terletak pada kuda penopang, dibutuhkan jika jarak antara bantalan dan bubungan > 2.0 m.



**Kasau** (usuk) melintang di atas balok dinding (bantalan), peran, dan hubungan, serta berfungsi sebagai penyangga reng. Ujung bawah kasau diteruskan menonjol pada dinding rumah keluar, membentuk lebar tirsan yang dikehendaki.



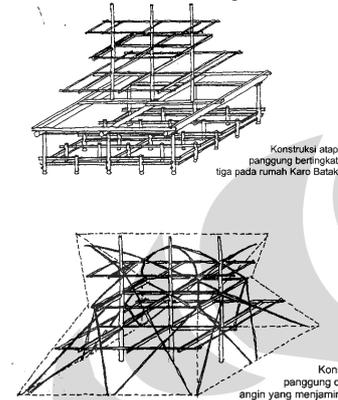
**Reng** merupakan bilah yang melintang di atas kasau (usuk) dan berfungsi sebagai tempat mengaitkan genting.



**Rangka batang** adalah konstruksi rangka yang terletak pada sebuah bidang dan saling dihubungkan dengan sendi pada ujungnya sehingga membentuk suatu bagian bangunan yang terdiri dari yang terdiri dari segitiga-segitiga.

Gambar 2.10. Elemen Atap  
(Sumber: Heinz Frick,2004)

### C. Konstruksi Atap Tradisional



Konstruksi atap panggung bertingkat tiga pada rumah karo batak

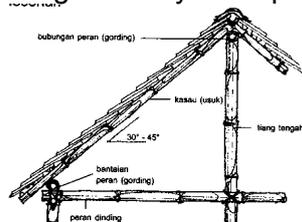
Konstruksi atap panggung dengan sesuai angin yang menjamin kestabilan

Gambar 2.11. Konstruksi Atap Tradisional  
(Sumber: Heinz Frick,2004)

Konstruksi kuda-kuda tradisional di Indonesia berhubungan dengan kebudayaan yang berbeda-beda pula. Konstruksi kuda-kuda dapat digolongkan atas dua prinsip: konstruksi atap panggung (biasanya konstruksi kayu dengan batang bambu sebagai *kasau*) dan konstruksi atap *kasau* (konstruksi murni bambu).

### D. Konstruksi Kuda-kuda Tradisional

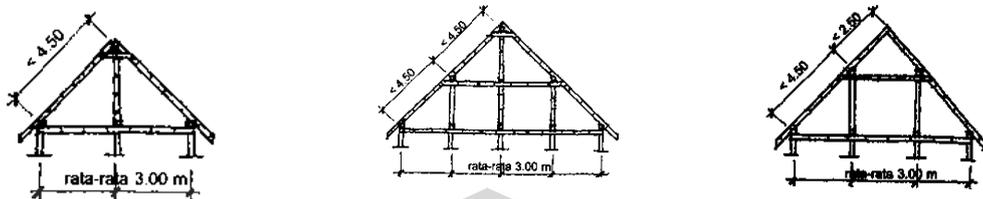
Konstruksi kuda-kuda sering juga dinamakan konstruksi atap peran (*gording*) karena, berbeda dengan konstruksi atap kasau (*usuk*). Konstruksi kuda-kuda menggunakan berbagai peran. Konstruksi atap peran dapat dibuat dari bahan bangunan kayu maupun bambu.



Konstruksi kuda-kuda tradisional dari bambu (atap peran)

Gambar 2.12. Konstruksi Kuda-Kuda Tradisional  
(Sumber: Heinz Frick,2004)

Kasau-kasau batang bambu diletakkan pada peran yang dipikul oleh tiang. Jika tiang pendukung atap ini berdiri vertikal, maka konstruksi atap dinamakan kuda-kuda dengan tiang. Jika tiang itu menerima gaya tarik atau merupakan kuda penopang sejajar dengan kasau (balok loteng dipasang bergantung). Konstruksi ini dinamakan kuda-kuda bergantung.



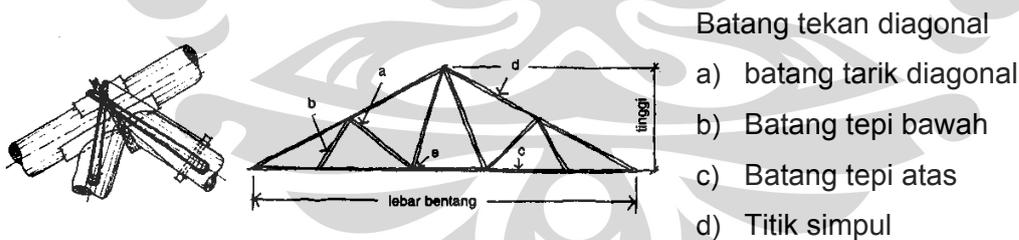
Gambar 2.13. Konstruksi Kuda-Kuda Bergantung  
(Sumber: Heinz Frick, 2004)

### E. Konstruksi Atap Kasau (usuk)

Atap kasau merupakan konstruksi tanpa kuda-kuda dan dapat dibuat dari bahan bambu. Kemiringan atap hendaknya  $>30^{\circ}$ . Atap kasau adalah konstruksi sederhana yang sesuai sekali untuk rumah yang agak kecil. Kasau untuk atap kasau hendaknya  $<5.0$  m.

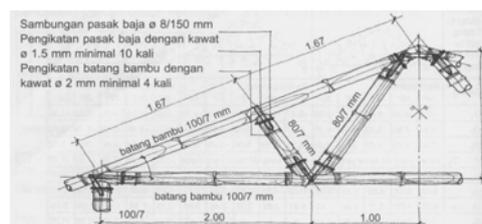
### F. Konstruksi Rangka Batang

Merupakan konstruksi rangka segitiga saja, garis sumbu bambu harus lurus dan masing-masing hanya menerima gaya tekan atau tarikan. Garis sumbu batang bambu bertemu pada titik simpul yang bekerja sebagai engsel pada bidang rangka batang. Beban pada konstruksi rangka batang bekerja pada titik simpul.



Gambar 2.14. Konstruksi Rangka Batang Bekerja pada Titik Simpul  
(Sumber: Heinz Frick, 2004)

### Konstruksi rangka batang bambu



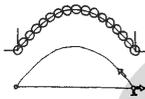
Gambar 2.15. Konstruksi Rangka Batang Bambu  
(Sumber: Heinz Frick, 2004)

### G. Konstruksi Kubah torak dari bambu

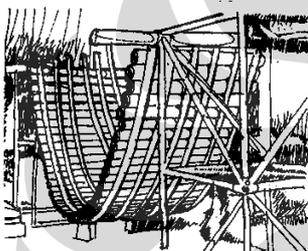
Batang bambu dapat digunakan untuk membangun kubah torak. Menurut teori, agar garis lantai yang berbentuk parabola menerima semua beban sebagai gaya tarik murni, dan bila diputar terbalik terdapat garis penyangga yang menerima semua beban sebagai gaya tekan murni.



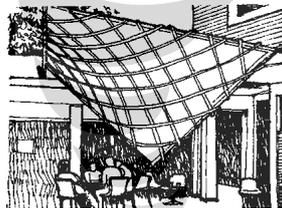
Garis rantai yang menerima beban menyalurkan beban tersebut dalam bentuk gaya tarik dan merupakan parabola mirip garis penyangga.



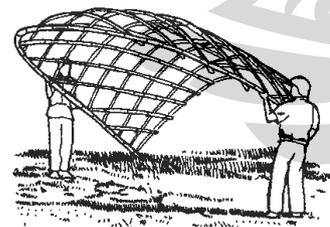
Garis penyangga adalah garis rantai yang diputar terbalik dan yang menyalurkan beban dalam bentuk gaya tekan ke tumpuan masing-masing.



Kubah torak dari bambu dirakit seperti garis lantai. Di antara perancah dipasang bilah bambu, lalu potongan batang bambu dan bilah bambu lagi. Semuanya diikat bersama dengan baut, keling, atau ikatan bambu, ragum dsb.

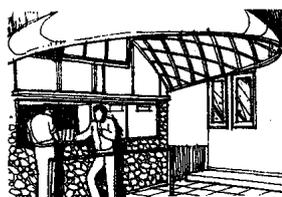


Membentuk bidang lengkung dengan bilah bambu adalah bidang pelana yang dapat dibuat dengan bilah bambu yang lurus atau kubah penyangga dari jaringan bilah bambu yang lengkung.



Kubah penyangga dari jaringan bilah bambu dibuat sebagai atap sementara.

Konstruksi kubah penyangga ringan diangkat dan mudah dipasang pada dinding.



Konstruksi atap ringan yang dibuat dari bilah bambu kemudian dilapisi terpal plastik transparan atau rumbian. Semua konstruksi atap ini dibangun oleh Gernot Mingke pada Universitas Francisco Marroquin di Guatemala tahun 1980.

Gambar 2.16. Konstruksi Kubah Torak dari Bambu

(Sumber: Seminar Penerapan Bahan Bangunan Dalam Rancang Bangun Arsitektur, 2006)

## H. Penutup Atap

### 1. Fungsi dan Syarat-Syarat Pelapis dan Penutup Atap

Penutup atap dapat dimengerti sebagai lapisan kedap air (ijuk, rumbia, sirap bambu, kelak, seng gelombang, dan sebagainya). Pelapis atap dapat dimengerti sebagai suatu lapisan tambahan kedap air (anyaman bambu yang rapat, tripleks, seng, aluminium, dan sebagainya), di atas usuk dipasang dengan reng yang dipaku memanjang di sebelah atas pada setiap batang kasau sebelum reng dipasang.

### 2. Perlindungan Oleh Pelapis dan Penutup Atap Terhadap Pengaruh Luar

Tabel 2.8. Perlindungan Oleh Pelapis dan Penutup Atap Terhadap Pengaruh Luar

Fungsi	Pengaruh luar	Penyelesaian sehingga kesinambungan terjamin
Menerima beban	Beban oleh bahan pelapis / penutup berarah vertical (ditambah pekerja= 1 kN gaya titik)	Membutuhkan struktur dan konstruksi atap yang cocok, kuat, dan stabil
Masuknya angin	Semua celah terbuka memungkinkan masuk angin kedalam ruang atap	Masuknya angin sebenarnya dingin (mengurangi panas dalam ruang atap, selama atap tidak bocor). Memilih celah terkunci
Kenaikan suhu oleh matahari	Menerima panas oleh sinar matahari	Ruang atap diberi pembaharuan udara secara alami. Memilih penutup atap yang tidak menerima sinar panas atau yang meresap panas
Menghindari masuknya air hujan	Air hujan	Memilih penutup atap dengan celah terkunci sehingga perlindungan terhadap air hujan terjamin. Menghindari atap yang bocor. Memilih kemiringan atap setajal mungkin
Menghindari masuknya air hujan	Air kapiler	Memilih bahan yang tidak memungkinkan air kapiler masuk (misalnya seng). atau bahan yang sangat kapiler dengan konstruksi yang memungkinkan pengeringan secara cepat.
	Embun	Memilih bahan yang menerima kelembapan embun dengan konstruksi yang memungkinkan pengeringan secara cepat

Menghindari kebakaran	Bunga api yang mengakibatkan kebakaran	Memilih lapisan atap yang tidak mudah menyala. Menggunakan talang dari seng yang menghindari bunga api jatuh dari atap ketanah dan menyala bahan kering yang tertimbun
	Petir	Menyediakan penangkal petir dengan pembeduan (pelat tembaga yang cukup luas, atau kawat yang panjang di dalam tanah

(Sumber: Heinz Frick,2001)

### 3. Sistem Sambungan Bahan Pelapis dan Penutup Atap

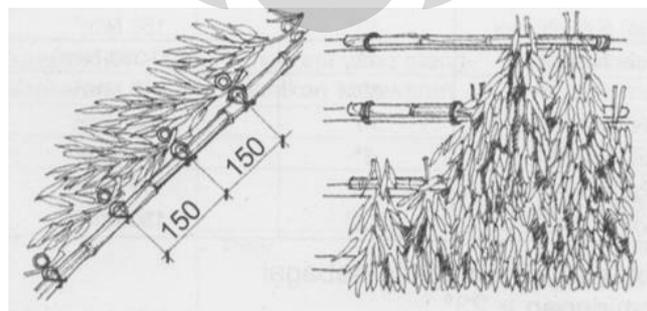
Kemiringan atap dipengaruhi, selain oleh bahan, juga oleh sistem sambungan dan celah. Sebagai kaidah dapat ditentukan: semakin kecil bahan penutup atap dan semakin banyak celah yang terdapat pada pemasangan, yang akan menyebabkan ketirisan, maka harus makin terjal atapnya supaya air hujan dapat mengalir dengan cepat. Pada prinsipnya, terdapat tiga macam sambungan : celah terbuka, celah tertutup/terkunci, dan sambungan bebas celah.

#### 3.a. Pengikat reng

Pengikat reng (bilah bambu) berbeda-beda menurut kebutuhan, sesuai penutup atap yang akan dipasang. Pada konstruksi bambu yang benar, reng selalu diikat, bukan dipaku.

#### 3.b Penutup atap daun bambu

Penutup atap daun bambu memiliki beberapa kekurangan dibandingkan dengan atap rumbia karena membutuhkan lebih banyak reng, kemiringan atap minimal 45°.

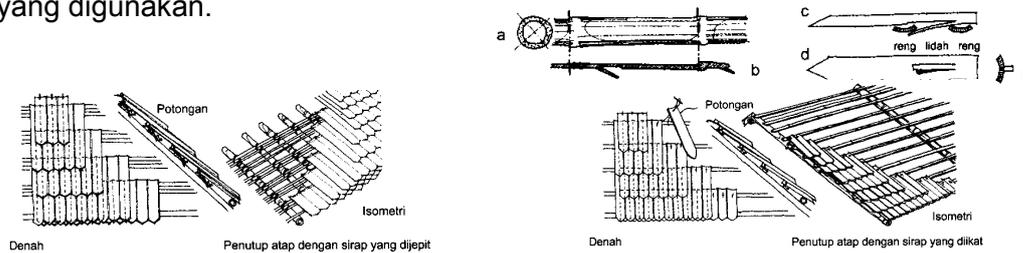


Gambar 2.17. Penutup Atap Daun Bambu

(Sumber: Heinz Frick,2001)

### 3.c Penutup atap sirap bambu

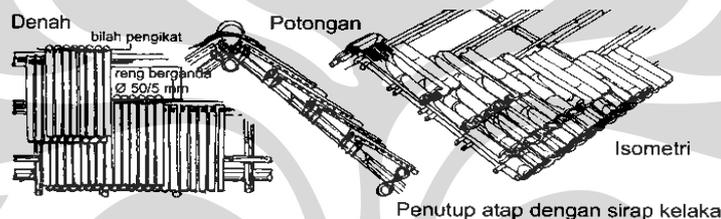
Sirap bambu didapat dari bilah bambu dengan panjang sesuai ruas bambu yang digunakan.



Gambar 2.18. Penutup Atap dengan sirap yang dijepit dan yang diikat

(Sumber: Heinz Frick,2001)

Penutup sirap bambu yang lain adalah sirap kelaka. Batang bambu dibelah dua, sirap batang belah dilobangi dan dirangkaikan pada bilah pengikat secara cekung-cembung sebagai berikut:

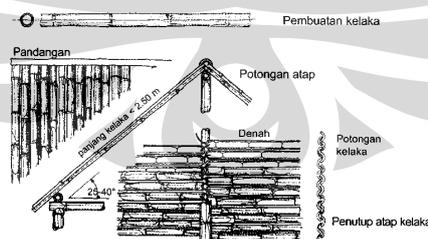


Gambar 2.19. Penutup Atap Dengan Sirap Kelaka

(Sumber: Heinz Frick,2001)

### 3.d. Penutup atap kelaka

Penutup atap kelaka dibuat dari batang belah bambu. Pada bagian ujung atas bambu dilubangi dan diikat satu sama lain secara cekung-cembung.



Gambar 2.20. Penutup atap kelaka

(Sumber: Heinz Frick,2001)

### 3.e Penutup atap bambu-tanah liat komposit

Penutup atap bambu-tanah liat komposit terdiri dari gulungn ijuk dan tanah liat yang diletakkan pada kasau berbentuk peran, sejajar kasau biasa. Penutup atap ini memungkinkan penggunaan ruang atap karena daya penahan panas dan penanggulangan bising cukup besar.

### II.1.7 Jenis-Jenis Sambungan Bambu

Sambungan-sambungan pada konstruksi bambu dapat dibagi atas sambungan memanjang, sambungan tiang dan kuda penopang dengan peran, sambungan tiang dengan palang penopang, pemasang kasau pada peran, serta sambungan-sambungan pada rangka batang.

Sambungan memanjang dibutuhkan untuk memperpanjang batang bambu sebagai berikut :



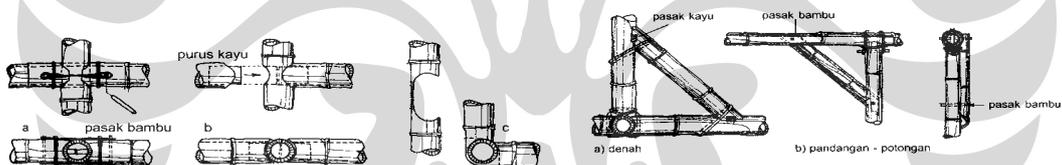
Gambar 2.21. Sambungan memanjang pada batang bambu  
(Sumber: Widja Suseno,1999)

Sambungan untuk menerima beban yang menerima beban sebagai berikut :



Gambar 2.22. Sambungan tiang dengan peran  
(Sumber: Widja Suseno,1999)

Sambungan  $\perp$  atau  $+$  yang tidak menerima beban sebagai berikut :



Gambar 2.23. Sambungan tiang dengan palang dan Sambungan Penopang  
(Sumber: Widja Suseno,1999)

Pemasangan kasau pada peran digolongkan atas sambungan kasau pada peran dan sambungan kasau pada balok hubungan :

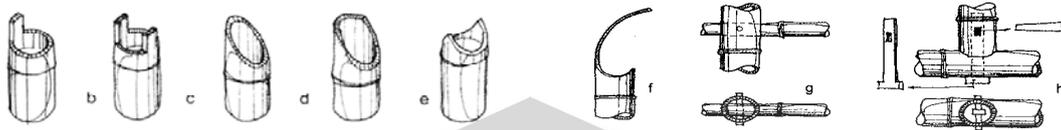


Gambar 2.24. Pemasangan Kasau pada Peran  
(Sumber: Widja Suseno,1999)

### A. Alat-Alat Sambungan Bambu

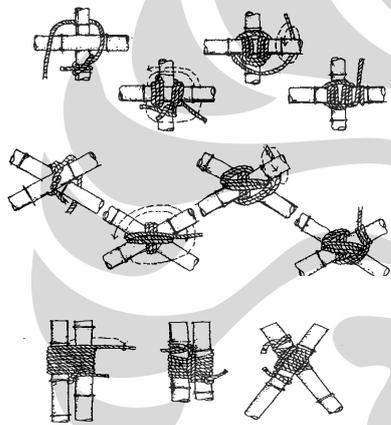
Bambu sebagai batang bahan bangunan berbentuk pipa menuntut konstruksi sambungan yang sangat berbeda jika dibandingkan dengan kayu. Paku membelah dan merusak bambu, kecuali jika dibor lubang terlebih dahulu dengan garis tengah  $d_N - 20 \text{ mm}$ .

Alat sambungan yang cocok untuk bambu adalah pengikatan dengan bermacam tali.



Gambar 2.25. Alat sambungan yang cocok untuk Bambu  
(Sumber: Widja Suseno,1999)

### B. Tali pengikat bambu



***ikatan palang***, dimanfaatkan untuk pengikatan tiang dengan batang memanjang horizontal

***ikatan silang mati***, dimanfaatkan untuk pengikatan batang diagonal yang menjamin kestabilan

***ikatan silang bergerak***, dimanfaatkan untuk pengikatan dua batang sejajar yang kemudian dibuat menyilang

Gambar 2.26. Sambungan Ikat bambu  
(Sumber: Widja Suseno,1999)

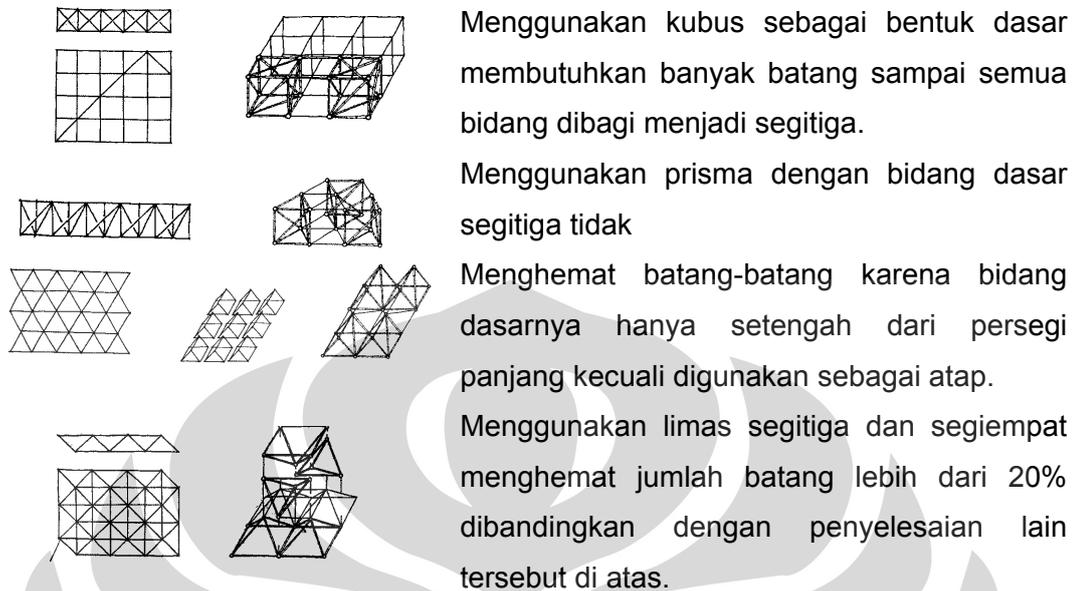
### II.1.8 Konstruksi Rangka Batang Dalam Ruang

Bambu merupakan bahan bangunan yang cocok untuk konstruksi rangka ruang, lebar batangnya dan jarak titik simpulnya agak dekat ( $< 2.00 \text{ m}$ ). Alat sambungan dari pelat baja untuk titik buhul telah diuraikan sebelumnya.<sup>26</sup>

Struktur rangka batang dalam ruang dapat dikembangkan dalam tiga dimensi dengan memilih kubus, prisma, atau limas yang dibagi masing-masing bidangnya dalam segitiga yang kukuh.

<sup>26</sup> J.A . Janssen. *Bamboo in Building Structures, Disertatie Drukkerij Wibro Helmond*, Netherland: Eindhoven University of Technology, 1981.

Penerapan bambu pada struktur bangunan, merupakan pengembangan dari *sistem Grid* dari bagian Grid-grid kecil yang digabungkan menjadi bangunan yang besar yang dikembangkan menjadi bentuk 3 dimensi.



Gambar 2.27. Konstruksi Rangka Batang Dalam Ruang

(Sumber: Janssen J.J.A . 1981)

Pemakaian bambu sebagai konstruksi atau elemen struktural biasanya bambu dipakai sebagai tiang, balok lantai, balok ring, rangka atap, dan lain-lain. Tetapi kita juga harus memikirkan bagaimana menjadikan bambu menjadi bangunan bentang lebar yang lebih banyak menuntut teknologi konstruksi lebih maju.

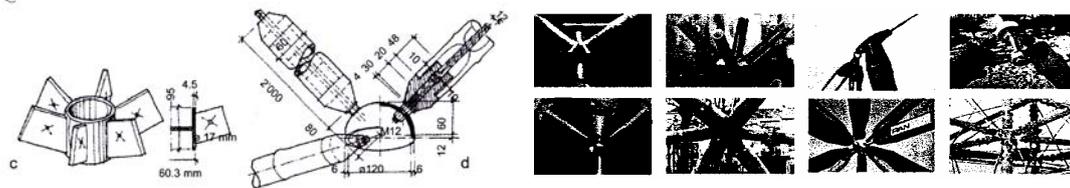
### II.1.8.1 Sambungan-Sambungan pada Rangka Bambu

Bambu dengan bentuk pipa membuat material ini berbeda dengan material yang lain/kayu. Selain itu batang bambu yang memiliki ukuran yang bervariasi dalam hal ini perlu diperhatikan saat membuat sampulnya akan menjadi berbeda/unik dibandingkan dengan kayu .

Beberapa metode yang menyambungkan batang-batang bambu, sambungan tersebut berdasarkan fungsi dan nilai estetika. Sambungan pada bambu dapat dibuat mulai dari sambungan jepit, ikat yang sederhana sampai sambungan yang rumit yang menggunakan bahan material lain.

Sambungan tradisional pada bambu sambungan ikat atau gabungan dari batang bambu yang telah dibentuk dan saling mengisi.

Untuk memperkuat sambungan bambu dapat dikombinasikan dengan bahan material lain seperti baja yang berfungsi menerima beban tekan.



Gambar 2.28. Sambungan Rangka  
(Sumber: Dwi Sulistiyawati, 2006)

Sambungan-sambungan pada rangka batang merupakan sambungan yang menerima gaya tarik maupun gaya tekan dari segala arah pada sebuah titik buhul, mengingat konstruksi rangka batang dan ruang dan dapat batang yang datar. Hal ini berarti teknologi konstruksi sambungan lebih tinggi dan kebutuhan alat tambahan (baja dsb.) meningkat, seperti terlihat pada gambar ujung batang bambu pada titik buhul rangka batang yang dapat menerima gaya tarik maupun gaya tekan (sebagai sambungan tekan saja dapat juga digunakan sambungan bambu tradisional).



Gambar 2.29. Sambungan ikat  
(Sumber: Dwi Sulistiyawati, 2006)

### II.1.9 Aplikasi dan Pengembangan Penggunaan Bambu Sebagai Bahan Konstruksi

Konsep "*Balok dan Tiang*" yang biasanya mendasari rancangan bangunan bambu selama ini, menurut istilah Breyer (1980) termasuk struktur primitif yang hanya memperhitungkan beban vertikal dan lateral.<sup>27</sup> Istilah yang digunakan oleh Siegel (1962) untuk konsep ini adalah "*skeleton construction*" disebut demikian karena menyerupai sistem tulang manusia, ada tulang utama dan ada tulang pendukung lainnya.<sup>28</sup>

Sesungguhnya, selain "*Balok dan Kolom*", rancangan bangunan bambu dapat dikembangkan melalui konsep bentuk ruang "*space structures*" yang menurut istilah Siegel (1962) merupakan struktur tiga dimensi, termasuk didalamnya "*space frame*", "*shell*" dan "*suspended roof*". Gaya yang terjadi pada *struktur frame* adalah tegangan aksial, meliputi gaya tarik dan gaya tekan. Pada struktur *shell* permukaan

<sup>27</sup> Breyer D.E., *Design of Wood Structure*. Mc Grow Hill, USA, 1980.

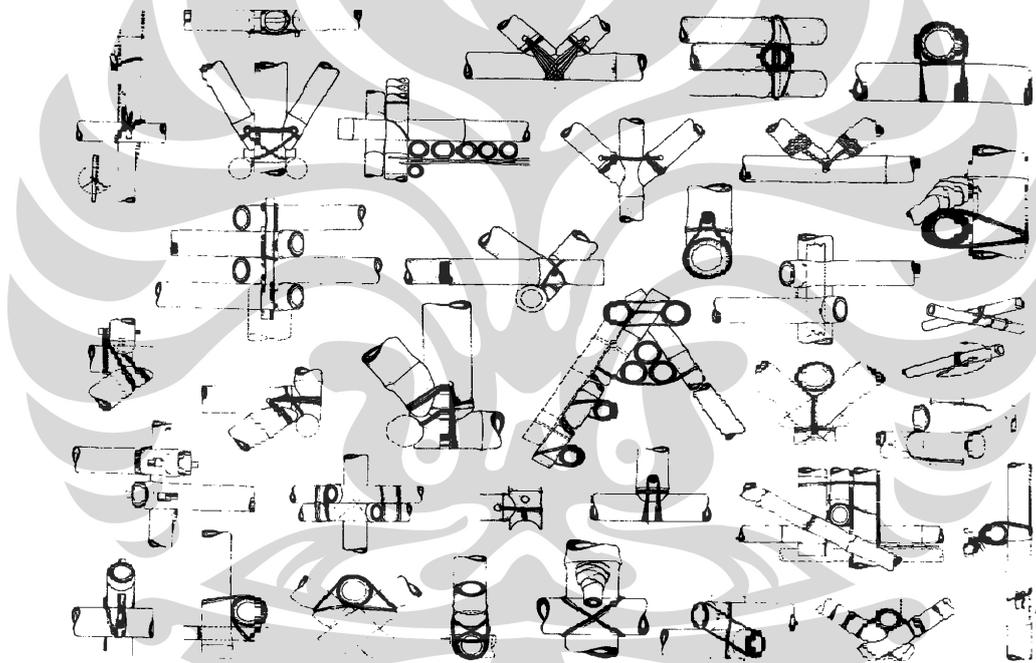
<sup>28</sup> Siegel C, *Structure and Form: in Modern Architecture*, Van Nostrand Reinhold Company. New York, 1962. hal 308.

kurva tersebut dari lapisan tipis, gaya yang terjadi meliputi gaya normal dan geser, lendutan menjadi tidak ada.

*Struktur Suspended roof* pada umumnya terbuat dari kabel, jaringan baja, tenun dan kain tipis, tegangan yang terjadi semata-mata adalah tarik, karena elemen pendukungnya cukup mampu melawan tekanan dan lendutan yang diperlukan pada keseluruhan desain. Rancang bangun *space structure* pada umumnya menggunakan kombinasi beberapa prinsip tersebut.

Menurut Simon Velez (2000) untuk membuat sambungan bambu yang kuat maka sambungan dibuat dalam struktur rangka 3 dimensional. Bambu memiliki kekuatan tarik yang besar, maka dalam rangka ruang ditekankan sambungan yang batang-batangnya mengalami gaya tarik.

Berbagai sambungan yang dapat dibuat dengan menggunakan bambu.<sup>29</sup>



Gambar 2.30. Sambungan Ikat Bambu  
(Sumber: Simon Velez and Bamboo Architecture,2000)

Membuat bangunan dengan material bambu juga dapat menciptakan, kesan atau citra alam, bambu juga merupakan salah satu material ramah ekologis, dapat mengefisiensikan energi, dan dapat menyesuaikan/adaptasi iklim setempat.

Material bambu yang mempunyai banyak variasi ukuran yang tidak standar, maka kita dihadapkan dengan berbagai macam kesulitan pada saat mereka ingin membangun dengan material bambu.

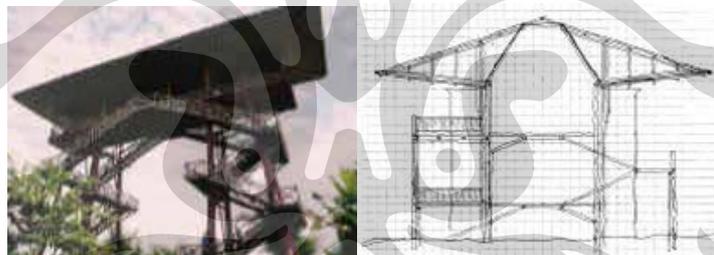
<sup>29</sup> Simon Velez and Bamboo architecture, *Grown Your Own House*, Vitra Design Museum und Autoren, 2000.

Meskipun demikian beberapa arsitek terkenal telah membuat eksperimen dengan produk alami ini. Kualitas bambu juga dihargai oleh Renzo piano. Ia tertarik untuk *mengkombinasikan unsur-unsur logam ringan (tabung/papan) dengan bambu*. Dengan cara ini akan memunculkan perpaduan antara bambu dengan konstruksi logam ringan modern, Arata Isozaki, Buckminster Fuller dan Frei Otto.<sup>30</sup>



Gambar 2.31. Struktur rangka Bambu dengan Baja  
(Sumber: [www.Experience. Bamboo.Net](http://www.Experience.Bamboo.Net))

Bambu pada satu sisi mempunyai suatu arti yang penting terhadap struktur statis suatu bangunan tinggi dan sangatlah sering bambu diuji pada tekanan, tetapi mutu yang riil ada didalam kemampuannya untuk menyeimbangkan tegangan gunting yang cukup besar. Salah satu percobaan yang dilakukan oleh Simon Velez adalah menggunakan konstruksi kerangka ini, yang bisa menopang lebih dari 9 meter dan dengan bentang sepanjang 27 meter.<sup>31</sup>



Gambar 2.32. Struktur Bambu pada Bangunan tinggi  
(Sumber: [www.Experience. Bamboo.Net](http://www.Experience.Bamboo.Net) )

Pada tahun 1998 Simon Velez mengambil bagian dalam suatu summer-workshop di Bcisbuchet / Prancis, yang telah diatur oleh *Vitra Museum Design the center Georges Pompidou*, ia merealisasikan proyek pertamanya di Eropa yang berupa suatu *paviliun* kebun. Satu tahun kemudian ia menyediakan suatu prototipe *a'low-cost-house*, yang bisa dibangun oleh penduduk.

Bangunan ini bersifat sangat menentang gempa bumi dan didasarkan pada bambu dan tanah liat.

<sup>30</sup> [WWW. Experience-bamboo.net](http://WWW.Experience-bamboo.net)..

<sup>31</sup> [http://europa.eu.int/comm/dg\\_10/culture/program-2000\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/dg_10/culture/program-2000_en.html) on 08.02.2000, 22:00



Simon Velez membuat struktur dari material bambu yang terdiri dari batang bambu yang dijadikan dalam 4 sambungan sebagai simpul yang saling dihubungkan dan hanya satu batang yang berhubungan langsung dengan kolom yang kemudian menyalurkan beban kebawah. Setiap batang menahan bebannya masing-masing yang kemudian disalurkan kepusat simpul dari sambungan.

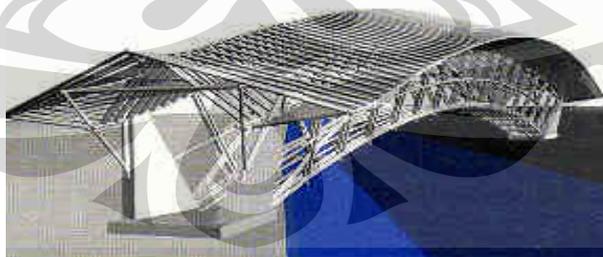
Gambar 2.33. Atap Bambu di Fukuoka (Japan)  
(Sumber: Simon Velez and Bamboo Architecture,2000)

Dibangun dengan luas 60 meter persegi dan terbagi menjadi dua lantai di Kolombia.



Gambar 2. 34. Factory hall under construction in Pensilvania (Colombia)  
(Sumber: www.Experience. Bamboo.Net)

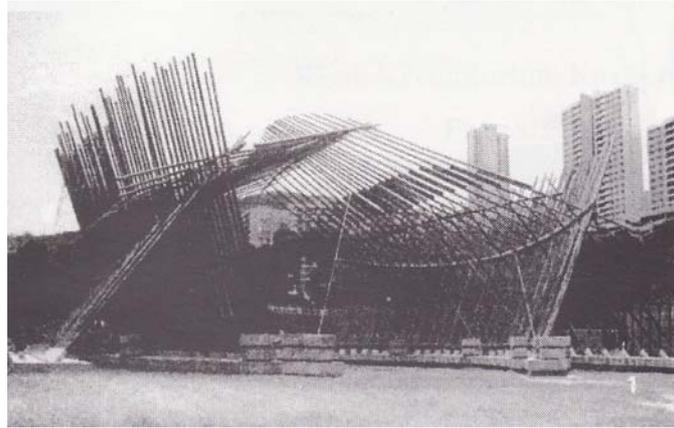
Michael mc Donough adalah salah satu arsitek, yang menemukan bambu sebagai bahan ide, ia merealisasikan proyeknya Jembatan Bambu *Mendocino high-tech'* pada tahun 2000.



Gambar 2.35. Jembatan Bambu Mendocino high-tech' pada tahun 2000  
(Sumber: www.Experience. Bamboo.Net)

Mengkombinasikan material bambu dengan *light* metal sebagai suatu kontruksi. Bambu dimanfaatkan sebagai struktur utama pada bangunan.

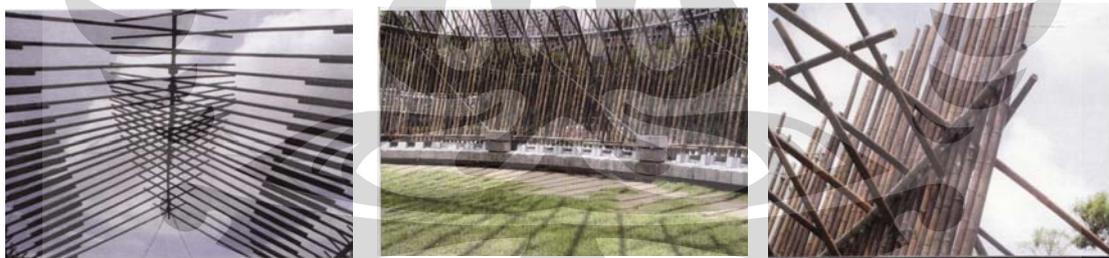
Pada struktur bangunan ini gaya yang dialami bambu adalah gaya tarik, dengan menggunakan konstruksi ruang bangunan ini memiliki lebar 9 m dan panjang 27 m.



Gambar 2.36. Paviliun Bambu Rocco Yim Pada "Festival of Vision"  
(Sumber: Bambu dalam arsitektur, 2000)

Arsitek Rocco Yim mengembangkan teknologi arsitektural modern gaya barat dengan menggunakan bahan-bahan tradisional dalam konstruksinya, salah satunya adalah bambu. Ia menjelaskan bahwa *paviliun* bambu terlihat menyebar dengan sekelompok bambu yang berada didalam suatu struktur, digambarkan menyebar dan menetap.

Meskipun bergantung pada ukuran dan panjang batang bambu alami, hal yang mendasari konsep struktural sistem adalah segitiga dan garis kurva untuk menghasilkan bagian yang alami, kokoh dan terlihat sebagai suatu bentuk yang dinamis yang akan menopang tubuh bangunannya.



Gambar 2.37. Konstruksi Bambu Menggantung  
(Sumber: Bambu dalam arsitektur, 2000)

Model lengkung kurva dan aplikasi sistem kawat baja membuatnya menjadi model masa kini. 400 batang bambu berukuran panjang berkisar antara 7-8 m, dengan diameter 12 cm yang berukuran lebih besar dari yang biasa digunakan dalam proyek-proyek konvensional. Secara teliti dipilih bambu-bambu yang berukuran hampir serupa dan cocok untuk di buat sambungan. Satu-satunya titik sambung yang ada adalah berada di puncaknya.



Gambar 2.38. Sambungan Ikat Bambu  
(Sumber: Bambu dalam arsitektur, 2000)

Dalam tradisinya, bambu dikuatkan di Cina sebelum digunakan, melalui tekanan dan panas yang cukup dan proses selanjutnya adalah dengan insektisida agar memenuhi syarat-syarat. Hal yang sangat menantang adalah untuk menyesuaikan sudut-sudut pada tapak yang ada sejak bahan/bagian struktur-strukturnya disambungkan, yang secara tradisional di tempatkan vertikal/horizontal.



Gambar 2.39. Bangunan Tradisional Cina  
(Sumber: Bambu dalam arsitektur, 2000)

## II.2 Kayu Sebagai Perbandingan Terhadap Bambu

Menurut PKKI, 1971 (NI-5) bahwa angka-angka tegangan yang diperkenankan untuk bermacam-macam kayu bermutu A yang dipergunakan dalam konstruksi terlindung dan menahan muatan tetap. Selanjutnya, suatu jenis kayu termasuk dalam beberapa kelas kekuatan maka tegangan yang diperkenankan harus didasarkan pada kelas kekuatan yang terendah dan atau diperhitungkan menurut rumus kolerasi berdasarkan berat jenis kayu kering udara.

Tabel 2.9. Tegangan yang diperkenankan Untuk Kayu Mutu A<sup>32</sup>

	Kelas Kuat					Jati (Tectonagrandis)
	KI I	KI II	KI III	KI IV	KI V	
$\sigma_{lt}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	150	100	75	50		130
$\sigma_{tkII} = \sigma_{tru}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	130	85	60	45		110
$\sigma_{fk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	40	25	15	10		30
$\tau_{II}$	20	12	8	5		15

(Sumber: KHF Yap, Konstruksi Kayu, 1999)

Tabel 2.10. Klarifikasi Berat Jenis, Kekuatan Lentur dan Tekan Absolut Kayu

Kelas Kuat	Berat Jenis	Kakuatan lentur absolut (kg/cm <sup>2</sup> )	Kekuatan tekan absolut (kg/cm <sup>2</sup> )
I	>0.90	>1100	>650
II	0.90 - 0.60	1100 - 725	650 - 425
II	0.60 - 0.40	725 - 500	425 - 300
IV	< 0.30	<360	<215

(Sumber: KHF Yap, Konstruksi Kayu, 1999)

<sup>32</sup> Ir. K.H.Felix Yap, *Konstruksi Kayu*, Bandung: CV.Trimitra Mandiri, 1999.

## II.2.1 Perbandingan Sifat Batang Bambu dengan Kayu

Karena buku dalam bambu merupakan bagian terlemah dibandingkan ruas dalam sifat mekanisnya, maka buku dianggap sebagai cacat-cacat kayu. Perletakan buku berbentuk tangga/zig-zag dapat menyerupai penyebaran yang tersebar merata.

Tabel 2.11. Persyaratan bambu betung dibandingkan kayu jati<sup>33</sup>

No.	Sifat Batang	Persyaratan*)	Kayu Jati*)	Bambu Betung
1.	Berat Jenis/ Kerapatan	0.45 - 0.75	0.67	0.61
2.	Sifat Mekanis	Setara Kayu kelas Kuat II/III	Kelas Kuat Jati/II	Setara Kelas Kuat II
3.	Kembang Susut Tangensial dan Radial (Rasio T/R)	<2	1.86	1.25
4.	Corak Serat	Khas	corak serat khas ada lingkaran	khas dan berbuku
	Warna Kayu		tahun	mudah & halus
5.	Pengerjaan	mudah & halus	mudah & halus	mudah
6.	Pengeringan	mudah	mudah	mudah
7.	Penyambungan	mudah	mudah	mudah & halus
8.	Finishing	mudah & halus	mudah & halus	serta nampak
			serta nampak	Kelas Awet V
9.	Keterawetan & Keawetan	mudah	mudah	mudah

(Sumber: Aenudin, 1995)

Sifat kembang susut sangat berpengaruh terutama bagi penggunaan dimana lingkungannya tidak mempunyai stabilitas kelembaban udara. Kembang susut akan mempengaruhi stabilitas bambu karena sifat higroskopisnya. Konstruksi indeks atau rasio dari kembang susut pada arah *tangensial* (T) dan *radial* (R) akan sangat mempengaruhi kestabilan. Produk kayu atau bambu dikatakan makin stabil bila mempunyai kembang susut yang rendah serta rasio T/R-nya mendekati nilai 1. Bambu betung ternyata memiliki rasio T/R sebesar 1,25 yang berarti memiliki kestabilan dimensi yang baik, bahkan lebih baik dari kayu jati.

<sup>33</sup> Aenudin, Beberapa *Sifat Rekayasa Balok Bentuk Laminasi Bambu Betung*, Bogor: Institut Pertanian Bogor, 1995.

Tabel 2.12. Perbandingan Nilai Anatomis dan Mekanis Bambu,  
Kayu Kamper dan Jati

No.	Sifat Fisis dan Mekanis	Bahan Bambu Betung* Asli	Bahan Kamper	Bahan Jati
1	Berat Jenis	0.61	0.80	0.67
2	Penyusutan			
	Radial	6.02	5.2%	
	Tangensial	4.81	1.5%	5.2%
3	MOE	131.192 (kg/cm <sup>2</sup> )	170.000 (kg/cm <sup>2</sup> )	127.700 (kg/cm <sup>2</sup> )
4	MOR	1.638 (kg/cm <sup>2</sup> )	1000 (kg/cm <sup>2</sup> )	1.030 (kg/cm <sup>2</sup> )
5	Keteguhan	411		
	Tekan // Serat	605 (kg/cm <sup>2</sup> )	424 (kg/cm <sup>2</sup> )	550 (kg/cm <sup>2</sup> )

(Sumber: Aenudin, 1995)

Kalau dilihat dari sisi berat jenis bahan maka bambu Betung termasuk klasifikasi kayu kelas kuat II yaitu 0,61 (0,90-0,60).

Sedangkan penelaahan dari segi kekuatan lentur absolut atau setara dengan *Modulus of Rupture* (MOR) rata-rata maka bambu betung juga termasuk kedalam golongan kayu kelas kuat II yaitu sebesar 975 kg/cm<sup>2</sup> (725-1100 kg/cm<sup>2</sup>).

Keteguhan tekan sejajar serat yang dilakukan pada sepuluh contoh acak kondisi bambu Betung aslinya berkisar antara 411 – 605 kg/cm<sup>2</sup>. Menilik kekuatan tekan absolut menurut PKKI, 1961 adalah sebesar 425- 650 kg/cm<sup>2</sup> untuk kayu kelas kuat II, maka balok bambu betung termasuk kedalam golongan kayu kelas kuat II.

## II.2.2 Sambungan Baut Pada Kayu

Bambu memiliki kekuatan yang relatif sama dengan kayu mutu II maka untuk menentukan sambungan bambu maka dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan kayu mutu II.

Sambungan dengan baut. Baut sebagai alat penyambung yang dibebani. Yang menentukan kekuatan patah Pp bukan kekuatan-kekuatan tarik dan geser melainkan kokoh desak kayu pada lubang serta kekuatan baut. Syarat-syarat dan cara perhitungan serta perencanaan berdasarkan penyelidikan-penyelidikan sendiri.

Syarat-syarat dan cara-cara itu untuk Indonesia telah ditetapkan dalam PKKI Pasal 14 oleh Ir.Suwarno Wirjomartono (Universitas Gajah Mada) sebagai berikut:<sup>34</sup>

1. Alat penyambung baut harus dibuat dari baja St.37 atau dari besi yang mempunyai kekuatan paling sedikit seperti St.37.

<sup>34</sup> Ir. K.H.Felix. Yap .*Konstruksi Kayu*.Bandung:CV.Trimitra Mandiri. 1999.

2. Lubang baut harus dibuat secukupnya saja dan kelonggaran tidak boleh lebih dari 1,5 mm.
3. Garis tengah baut paling kecil harus 10 mm (3/8"), sedang untuk sambungan, baik bertampang satu maupun bertampang dua, dengan tebal kayu lebih besar dari 8 cm, harus dipakai baut dengan garis tengah paling kecil 12,7 mm (1/2").
4. Baut harus disertai pelat ikutan yang tebalnya minimum 0,3 d dan maksimum 3 mm dengan garis tengah 3 d, atau jika mempunyai bentuk persegi empat, lebarnya 3 d, di mana d=garis tengah baut. Jika hanya sebagai pelekap, maka tebal pelat ikutan dapat diambil minimum 0,2 d dan maksimum 4 mm.
5. Sambungan dengan baut dibagi dalam 3 golongan menurut kekuatan kayu yaitu golongan-golongan I,II,III. Agar sambungan dapat memberi hasil kekuatan yang sebaik-baiknya (uitgenut), hendaknya  $\lambda b = b/d$  diambil dari angka- angka yang tertera dibawah ini.

Pendekatan Kayu Mutu II

Golongan II:

Sambungan bertampang satu :  $\dot{S} = 40 db_1 (1 - 0,6 \sin \alpha)$

6. Jika pada sambungan bertampang satu, salah satu batangnya adalah dari besi (baja) atau pada sambungan bertampang dua pelat-pelat penyambungannya dari besi (baja) , maka harga-harga S dalam rumus –rumus tersebut dapat dinaikkan 25%.

7. Penempatan baut-baut harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- a. Arah gaya sejajar dengan arah serat kayu

Jarak minimum:

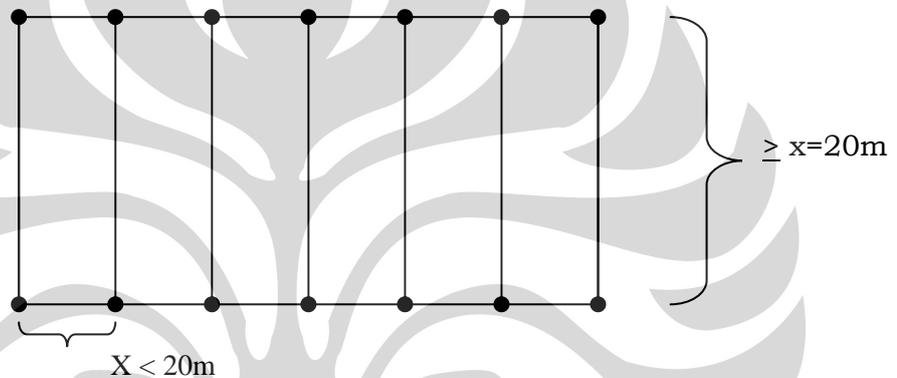
- antara sumbu baut dan ujung kayu  
(kayu muka) yang dibebani ..... 7d dan >10d
- antara sumbu baut dan ujung kayu  
(kayu muka) yang tidak dibebani ..... 3,5 d
- antara sumbu baut dengan sumbu baut  
dalam arah gaya ..... 6 d
- antara sumbu baut dengan sumbu baut  
dalam arah tegak lurus gaya ..... 3 d
- antara sumbu baut dengan tepi kayu ..... 2 d

### II.3 Bangunan Bentang Lebar

Berdasarkan fungsinya bangunan dituntut untuk memenuhi syarat-syarat tertentu yang salah satunya adalah kebutuhan ruang yang bebas kolom. Kebutuhan tersebut merupakan tuntutan yang berhubungan dengan penggunaan sistem struktur. Sistem struktur yang dibutuhkan adalah bentang lebar.

Pemanfaatan bambu sebagai bahan bangunan dapat dilihat pada bangunan rumah tinggal, bangunan tinggi, dan bangunan bentang lebar. Namun pada saat ini penelitian lebih banyak dilakukan bambu sebagai bahan dasar rumah hingga bahan bambu sebagai bahan dasar bangunan bentang lebar belum banyak dikembangkan.

Definisi dari bangunan bentang lebar sendiri adalah bangunan yang memiliki lebar ruang  $\geq 20\text{M}$  tanpa kolom ditengahnya.<sup>35</sup>



Gambar 2.40. Modul Struktur Bentang Lebar

Pada umumnya bangunan yang memiliki struktur bentang lebar memperlihatkan sistem secara jelas tetapi menghadirkannya sebagai unsur estetika dan artikulasi desain memerlukan ide yang cemerlang dan penanganan yang cermat.<sup>36</sup>

Selain pengenalan bahan, dalam rancang bangun, konsep sistem struktur juga harus dipahami. Beberapa istilah konstruksi yang dikenal adalah jepit, engsel dan rol. Tumpuan jepit apabila tumpuan tidak dapat bergerak secara *translasi* atau *rotasi* (kearah vertikal dan horizontal), engsel pada tumpuan dapat terjadi pergerakan seperti poros, sedangkan pada rol sambungan bersifat tidak langsung pada saat menerima beban terjadi pergerakan dan pada saat tidak terdapat beban sambungan bersifat statis.

<sup>35</sup> Schodek, Daniel L., *Struktur*. Membahas mengenai struktur pada bangunan Penerbit Refika Aditama, Bandung, 1998.

<sup>36</sup> Yuda Wastu, *Mengekspos Detail Konstruksi dalam Design, Konstruksi Bentang Lebar*, 2006.

Jenis Struktur Bentang Lebar:

- rangka
- bidang
- cangkang
- membran
- lipat

Beberapa bangunan yang menuntut struktur bentang lebar sesuai fungsinya antarlain adalah

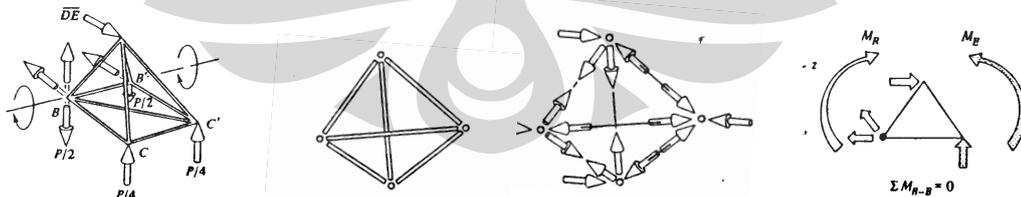
- gelanggang olahraga
- rumah ibadah (masjid)
- hanggar pesawat
- ruang pertunjukkan
- stasiun kereta api

### II.3.1 Struktur Rangka

Berdasarkan struktur bangunan yang membentuk ruang atau berdasarkan hubungan antara bagian bangunan yang menerima beban dan bagian bangunan yang tidak menerima beban (pembagi ruang), maka selanjutnya struktur bangunan gedung yang paling sederhana dapat diselidiki dan digolongkan.

Pada setiap penggunaan bahan bangunan harus dipertimbangkan ciri khas sebagai berikut :<sup>37</sup>

- Kemampuan tahan lama bagian bangunan tersebut;
- Kapan bagian bangunan dapat diganti karena rusak atau perkembangan teknologis; atau
- Kemampuan tahan lama non fisik (tidak laku lagi, membosankan).



Gambar 2.41. Gaya-Gaya pada Konstruksi rangka  
(Sumber: Daviel L. condek, Struktur, 1998)

Apabila gaya kritis pada suatu batang telah diperoleh, maka masalahnya menjadi penentu bahan dan ukuran penampang melintang yang sesuai untuk batang yang panjangnya telah ditentukan, dan mempunyai titik hubung sendi pada kedua

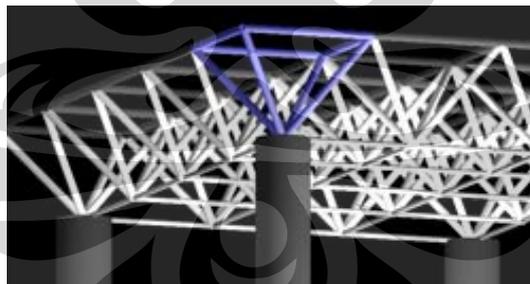
<sup>37</sup> Heinz Frick dan Pujo Setiawan, *Ilmu konstruksi struktur bangunan*. Yogyakarta: Kanisus, 2001.

ujungnya serta mengalami gaya tarik atau tekan yang besarnya telah didapat. Biasanya tidak ada kesulitan dalam merancang batang tersebut.

Hal yang penting diketahui adalah bahwa batang yang hanya memikul gaya tarik (sebut saja batang tarik) secara umum dapat dirancang terhadap penampang melintang yang lebih kecil daripada batang yang memikul gaya tekan (sebut saja batang tekan) yang besar gayanya sama. Luas penampang melintang batang tarik bergantung langsung pada besar gaya dan tegangan izin bahan yang digunakan, tetapi tidak bergantung pada panjang batang. Untuk batang tarik, *luas penampang yang diperlukan = gaya tarik tegangan izin*.<sup>38</sup>

Untuk batang tekan, kita harus memperhitungkan adanya kemungkinan runtuh tekuk (*buckling*) yang dapat terjadi pada batang panjang yang mengalami gaya tekan. Untuk batang tekan yang panjang, kapasitas pikul beban batang tekan berbanding terbalik dengan kuadrat panjang batang. Apabila batang tekan relatif pendek, dan masih di bawah panjang maksimum tertentu, maka tekuk bukan merupakan masalah sehingga luas penampang melintang hanya bergantung langsung pada besar gaya yang terlibat dan tegangan izin material, dan juga tidak bergantung pada panjang batang tersebut. Implikasi umum mengenai hal ini adalah batang panjang (yang mempunyai kemungkinan mengalami tekuk) memerlukan luas penampang melintang lebih besar dari pada yang diperlukan oleh batang pendek (yang tidak mempunyai kemungkinan tekuk).

#### A. Struktur Space Frame



Gambar 2.42. Modul space frame  
(Sumber: Wikipedia, 2008)

*Space Frame* merupakan struktur ruang yang berbentuk seperti rangka. Konstruksi *Space frame* merupakan konstruksi ringan yang dibuat dengan bentuk dasar geometrikal yang dikembangkan dalam bentuk tiga dimensional. *Space Frame* biasa digunakan sebagai konstruksi pada sistem struktur bangunan bentang lebar.<sup>39</sup>

Struktur *Space Frame* terbuat dari bahan aluminium atau light metal lainnya.

<sup>38</sup> Schodedek Daniel L. *Struktur*. Bandung: PT Refika Aditama, 1998.

<sup>39</sup> Space frame - Wikipedia, the free encyclopedia, 2008.



Gambar 2.43. Aplikasi *space frame* pada Bangunan  
(Sumber: Wikipedia,2008)

Gambar diatas merupakan aplikasi dari *space frame* pada struktur bangunan bentang lebar.

## B. Struktur Truss

Truss merupakan sistem struktur yang terdiri dari satu atau lebih *triangular units* yang saling berhubungan.<sup>40</sup>

Terdapat dua jenis Truss yang pertama adalah *Plane Truss* yang sambungannya berbentuk dua dimensional dan *Space Frame* yang rangkanya berhubungan dalam satu joint yang berbentuk tiga dimensional.

Beberapa Jenis Truss: *Bow string roof truss*

*King Post Truss*



*Town's Lattice Truss*



*Pratt Truss*



*Queen Post Truss*



*Vierendeel Truss*



Gambar 2.44. Jenis Truss  
(Sumber: Wikipedia,2008)

Aplikasi Truss pada Bangunan



Gambar 2.45 Jembatan Truss  
(Sumber: Wikipedia,2008)



Gambar 2.46 Jembatan Kereta dengan Truss



Gambar 2.47.

<sup>40</sup> Truss - Wikipedia, the free encyclopedia, 2008

## II.4 Kesimpulan Kajian Teori

Sifat fisik bambu telah lama diteliti untuk berbagai keperluan. Sebagai bahan bangunan, bambu memiliki kekuatan tarik yang cukup tinggi, sebagaimana baja, rotan dan kayu Mutu II, sehingga penggunaan bambu sebagai bahan bangunan lebih baik dijadikan elemen tarik dibandingkan sebagai elemen tekan.

Kekuatan bambu tersebut juga dipengaruhi usia pemanenannya, bambu dapat dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi saat berusia  $\geq 3$  tahun.

Selain sifat fisik diatas terdapat beberapa keunikan bambu yaitu bambu memiliki ruas, ukuran yang tidak sama dari ujung dan pangkal.

Berdasarkan sifat tersebut beberapa jenis bambu yang baik untuk digunakan sebagai bahan konstruksi, bambu tali, bambu gombang, bambu betung.

Bambu hidup dengan subur didaerah tropis termasuk di Indonesia, ketersediaan bambu berlimpah. Ketiga jenis bambu diatas merupakan jenis bambu yang banyak tumbuh di pulau Jawa.

Penggunaan bambu tidak mengganggu keseimbangan alam karena daur hidupnya yang relatif singkat dibandingkan kayu dan ketersediaannya yang masih berlimpah.

Hal lain yang perlu diperhatikan dalam penggunaan bambu adalah proses pengawetannya. Tanpa perhatian pada pengawetan maka konstruksi bambu tahan lama 2-3 tahun, sedangkan dengan pengawetan yang memadai dapat tahan lama  $>5$  tahun.

Bambu dapat diawetkan dengan lima cara, yaitu pengawetan dengan perendaman batang atau bilah bambu, cara pengaliran dan cara penekanan (boucherie process), penyimpanan dalam drum besi (steeping), serta pengecatan dengan zat penolak serangga.

Selain pengawetan yang baik, ketahanan bambu juga dipengaruhi oleh desain perletakan/pemanfaatan bambu sebagai elemen bangunan mempengaruhi umur penggunaan bambu terhadap wala dan organisme.

Tidak berhubungan langsung dengan tanah dan cuaca.

Keawetan bambu dapat dipengaruhi beberapa faktor:

1. umur bambu
2. masa penebangan
3. cara pengawetan: alam dan dengan bahan kimia
4. desain yang baik

Penutup atas pada konstruksi bambu harus kedap air, tahan cuaca, berbobot ringan, dan bertahan lama. Pilihan penutup atap juga memiliki nilai estetika dan harus memenuhi syarat-syarat.

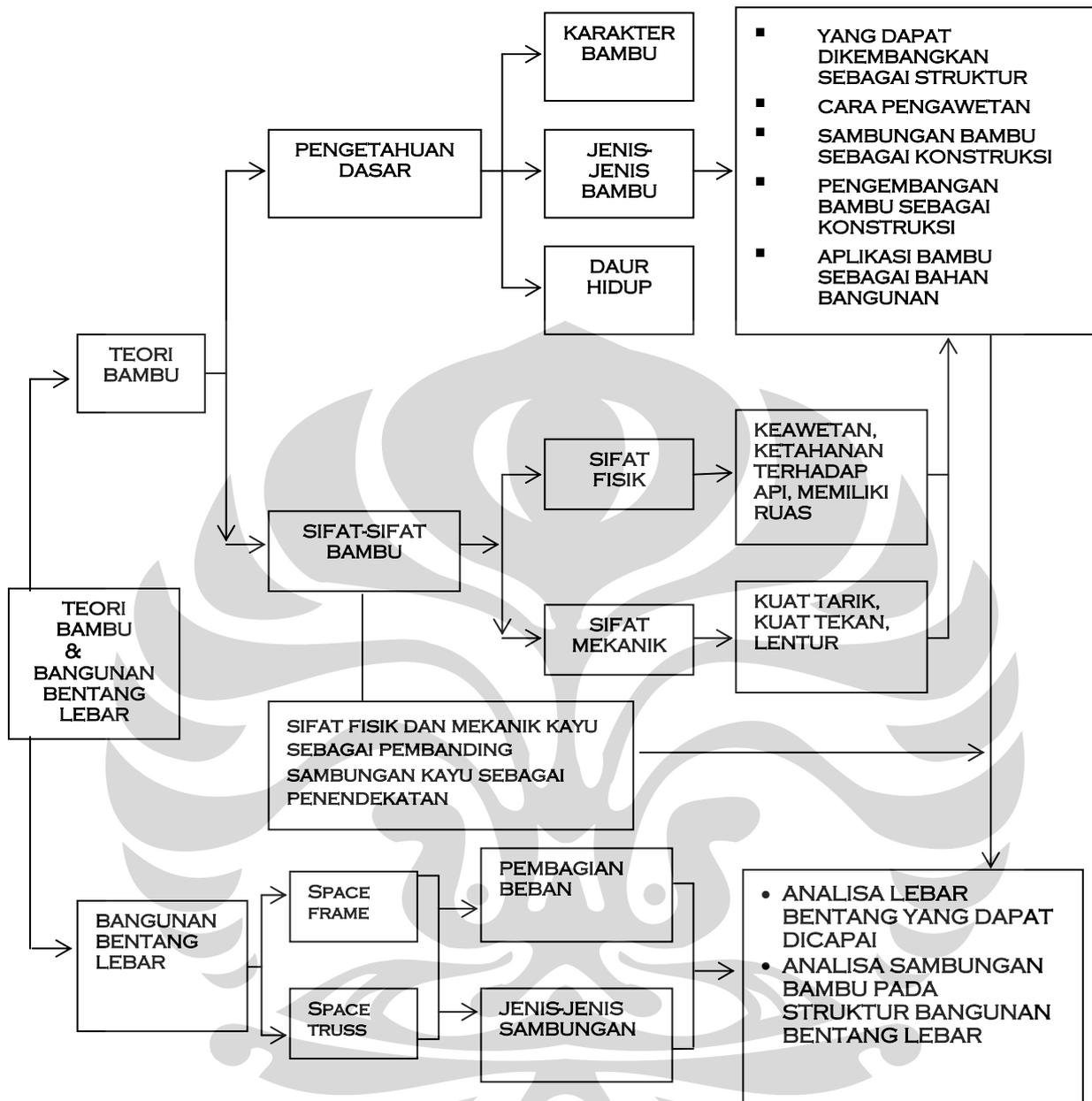
Konstruksi harus memenuhi beberapa tuntutan yang berbeda-beda, misalnya menerima dan menyalurkan gaya konstruksi, menutup dan memisah ruang dalam dan ruang luar, memberi perlindungan terhadap cuaca (radiasi panas matahari, hujan, dan angin), menanggulangi suara/kebisingan, serta memberi keamanan terhadap kebakaran.

Sifat unik dari bambu menjadi pertimbangan jenis sambungan yang dapat dibuat dengan bambu. Jenis sambungan pada bambu dapat menggunakan sistem tali, sistem jepit dan bambu juga dapat disambung dengan baut dengan diameter baut  $\leq 20$ mm. Keunikan dari bambu tersebut juga berpengaruh pada jarak simpul sambungan yang sebaiknya dibuat adalah tidak lebih dari 2m karena bambu memiliki ukuran yang berbeda dari pangkal hingga ujungnya. Untuk meningkatkan kekuatan pada konstruksi bambu pada sambungannya digunakan material pendukung

Bambu selama ini telah dikembangkan sebagai bahan konstruksi pada rumah tinggal sebagai tiang, lantai, dinding dan konstruksi atap. Rancangan bangunan bambu juga dapat dikembangkan melalui konsep bentuk ruang "*space structures*" yang merupakan struktur tiga dimensi, termasuk didalamnya "*space frame*", dan "*space truss*". Gaya yang terjadi pada *struktur frame* dan *space truss* adalah tegangan aksial, meliputi gaya tarik dan gaya tekan.

Sedangkan pengembangan konstruksi bambu pada struktur bangunan bentang lebar perlu diteliti untuk membuka wawasan baru dan menggali potensi dari bambu. Bangunan bentang lebar adalah bangunan yang memiliki lebar bentang  $\geq 20$ m tanpa kolom ditengahnya, maka pada penelitian ini lebar bentang dimulai dari 20m.

## II.5 Kerangka Teori



Gambar 2.48. Kerangka Teori

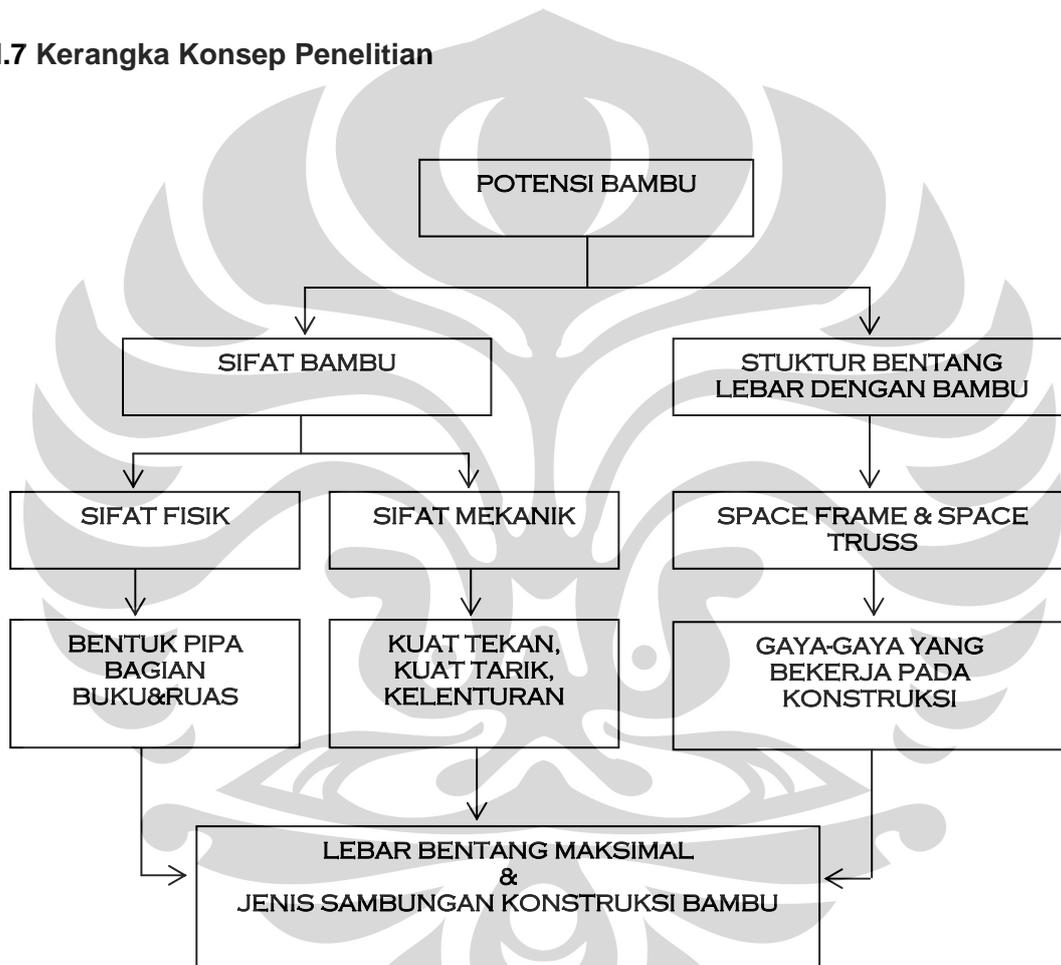
Kerangka teori diatas merupakan rangkuman dari kajian teori yang telah dilakukan sebelumnya, sehingga menghasilkan hipotesis.

## II.6 Hipotesis

Hipotesis adalah merupakan jawaban sementara atau permasalahan yang dinyatakan. Didalam penelitian ini hipotesa yang diajukan sebagai berikut:

1. Struktur bentang lebar dengan menggunakan material bambu, dapat mencapai bentang  $\geq 20\text{m}$ .
2. Konstruksi sambungan struktur bentang lebar, dengan menggunakan material pendukung (baja) akan meningkatkan kuat tarik dan kuat tekan bambu.

## II.7 Kerangka Konsep Penelitian



Gambar 2.49. Kerangka Konsep Pemikiran

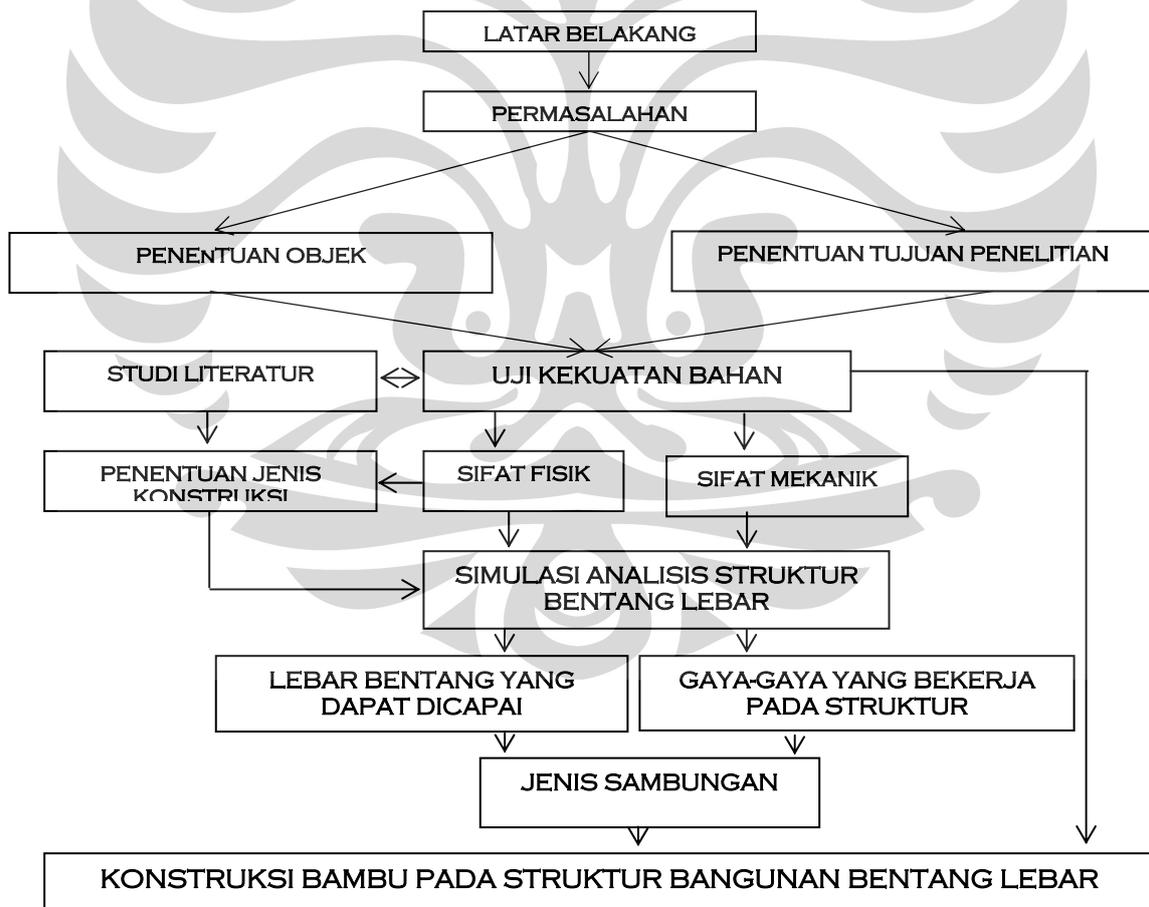
Kerangka konsep pemikiran diatas merupakan uraian dari hipotesis dan hubungannya dengan kajian teori yang telah dibahas sebelumnya.

### BAB III METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan metode eksperimen dengan analisis laboratorium dalam bentuk uji kekuatan yang ditujukan untuk melihat potensi dan kendala pemakaian bambu serta dilaksanakan pengujian kekuatan pada model dengan simulasi komputer sehingga dapat mengetahui lebar bentang yang dapat dicapai dengan menggunakan konstruksi bambu yang kemudian dapat dijadikan acuan dalam membuat jenis sambungan yang dapat dibuat dengan material bambu.

Kajian pustaka dan studi kasus yang kemudian dianalisis secara kuantitatif sebagai masukan upaya-upaya pengembangan konstruksi bentang lebar dengan material bambu.

Kriteria rancangan yang dipakai meliputi kajian teknis konstruksi, kajian sifat fisis dan mekanis bambu. Pengembangan konstruksi bambu dimaksudkan untuk membuka alternatif penerapan konstruksi bambu pada bangunan bentang lebar.



Gambar 3.1. Kerangka Penelitian

### III.1 Faktor yang Mempengaruhi Penelitian

Beberapa faktor yang mempengaruhi penelitian ini diantaranya:

1. Faktor Eksternal

Ketersediaan material bambu untuk di uji kekuatannya di laboratorium.

2. Faktor Internal

Karakter Bangunan

Struktur bangunan bentang lebar memiliki bentang  $\geq 20$  m.

Struktur Bangunan

- a. Lebar bentang yang ingin dicapai
- b. Jenis konstruksi sambungan dengan material bambu

Karakter Bahan

Alasan pemilihan jenis material dalam penelitian

a. Jenis bambu

Jenis bambu yang digunakan dalam penelitian adalah bambu Tali, Betung, Wulung

Ketiga bambu tersebut merupakan bambu yang banyak terdapat di Indonesia khususnya di pulau Jawa. Selain itu ketiga jenis bambu tersebut merupakan bambu yang dapat digunakan sebagai konstruksi bangunan

Tabel 3.1 Jenis-Jenis Bambu untuk Mebel dan Bahan Bangunan

Nama		Sesuai untuk Pembuatan	
Botanis	Daerah	Bangunan	Mebel
<i>Bambusa vulgaris</i>	Bambu ampel	v	-
<i>Bambusa arundinaceae</i>	Bambu ori	v	-
<i>B. blumeana</i>	Bambu duri	v	-
<i>Dendrocalamus asper</i>	<b>Bambu betung</b>	<b>v</b>	-
<i>Gigantochloa apus</i>	<b>Bambu tali</b>	<b>v</b>	<b>v</b>
<i>G. atrovioleaceae</i>	<b>Bambu hitam</b>	<b>v</b>	<b>v</b>
<i>G. Pseudocarundanaceae</i>	Bambu gombong	v	-

Sumber: Pusat Penelitian Dan Pengembangan Hasil Hutan, 1999.

- b. Sifat fisik dan mekanik bambu yang digunakan dalam penelitian

### **III.2 Variabel Penelitian**

Pada penelitian ini untuk membatasi perolehan data maka perlu ditentukan variabel-variabel penelitian yang ditentukan berdasarkan hipotesa seperti dibawah ini.

#### **III.2.1 Uji kekuatan:**

##### **a. Variabel Tetap**

1. Ukuran sampel
2. Jumlah sampel
3. Bagian bambu yang akan digunakan (buku dan ruas)

##### **b. Variabel bebas**

1. Kuat tarik bambu
2. Kuat tekan bambu
3. Kuat lentur bambu
4. jenis bambu

Kedua variabel ini saling mempengaruhi, dari hasil pengukuran kedua variabel kemudian yang kemudian antara variabel tetap dan variabel bebas dibandingkan. Dari perbandingan tersebut kita dapat menentukan jenis bambu yang memiliki sifat fisik yang paling baik.

#### **III.2.2 Uji Struktur Program Komputer *SAP2000***

##### **a. Variabel Tetap**

1. Jenis struktur
2. Jenis konstruksi
3. Jarak simpul
4. Sambungan bambu dengan material pendukung

##### **b. Variabel bebas**

1. Lebar Bentang
2. Gaya-gaya yang terjadi pada Konstruksi
3. Lendutan yang terjadi pada Konstruksi

Pada uji simulasi variabel tetap dan variabel bebas dibutuhkan untuk membantu dalam membaca data sehingga jika terjadi perubahan dapat mempermudah dalam menganalisis data.

### III.3 Lingkup Penelitian

Konsep pengembangan konstruksi ini didasarkan pada upaya untuk menggali potensi bambu sebagai bahan konstruksi yang selama ini belum banyak tergali.

Jenis bambu yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi dalam penelitian berdasarkan sifat mekanis (kekuatan tarik, kekuatan tekan, kelenturan, MOE).<sup>41</sup>

Jenis bambu yang digunakan dalam penelitian:

1. Bambu Tali (*Gigantochloa apus*)
2. Bambu Wulung (*Gigantochloa verticillata*)
3. Bambu Betung (*Dendrocalamus asper*)

Setelah melakukan uji kekuatan dilaboratorium dilanjutkan dengan simulasi Program Komputer untuk mengetahui gaya-gaya yang bekerja pada batang konstruksi dan berapa bentang yang dapat dicapai oleh konstruksi tersebut.

### III.4 Lingkup Studi Kasus

Penelitian kajian konstruksi bambu dan konsep pengembangannya ini menekankan pada pengembangan konstruksi bambu pada struktur bangunan bentang lebar. Pada Simulasi Program Komputer lebar bentang yang diuji mulai dari bentang 20m, 24m, 28m, 32m, 36m sampai 40m.

### III.5 Lingkup Materi Penelitian

- a. Pengukuran kekuatan bambu dengan uji laboratorium untuk mengetahui sifat fisis dan mekanis dari bambu.
- b. Sesuai dengan uji kekuatan yang dilakukan pada bambu kemudian sifat bambu tersebut dimasukkan sebagai data material yang diperlukan dalam pembuatan model pada simulasi Program Komputer (*SAP2000*).
- c. Merancang jenis sambungan yang dapat dibuat dengan bambu sesuai gaya-gaya yang terjadi di setiap batang struktur yang didapat dari hasil simulasi.

---

<sup>41</sup> Pusat Penelitian Hasil Hutan, *Himpunan sari Penelitian Rotan Dan Bambu*, IPB,2000.

### III.6 Langkah-langkah Penelitian:

#### III.6.1 Studi Literatur

Studi mengenai bambu yang menyangkut sifat fisis dan mekanis, pengawetan, ketersediaannya di alam, yang kemudian dijadikan dasar pengembangannya. Selain itu juga dilakukan studi literatur mengenai konstruksi bambu, struktur bangunan bentang lebar terutama pada sistem konstruksi dan sambungannya.

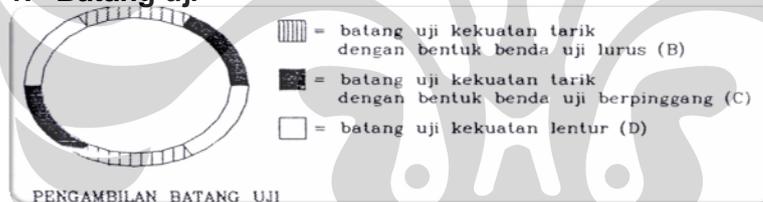
#### III.6.2. Uji Laboratorium

Dilakukan uji kekuatan tarik dan kekuatan tekan pada batang bambu utuh untuk mengetahui besar kekuatan yang dapat diterima oleh batang bambu tersebut sebagai data primer yang kemudian digunakan dalam simulasi sebagai data dari material yang perlu dimasukkan untuk membuat model struktur bentang lebar.

Pada uji laboratorium menggunakan standar yang ditetapkan dalam JIS A 5908:2003 yang merujuk pada penelitian sebelumnya agar data hasil uji laboratorium tersebut untuk membandingkan tingkat akurasi.

Standar yang ditetapkan dalam JIS A 5908:2003

##### 1. Batang uji



Gambar 3.2. Profil Sampel Uji Tarik  
(Sumber: Standar JL A. 5908;2003)

Pada uji laboratorium diambil beberapa sampel dari bagian pangkal bambu. Setiap uji kekuatan masing-masing dilakukan pada lima buah sampel kemudian dari lima buah sampel tersebut diambil nilai yang mendekati kemudian merata-rata nilai tersebut menjadi sebuah data.

##### 2. Sampel Uji

Tabel 3.2 Sampel Uji

No.	Jenis Bambu	Bagian yang diambil sebagai Sampel	
		Jumlah Bagian Buku	Jumlah Bagian Ruas
1	Tali	5buah	5buah
2	Wulung	5buah	5buah
3	Betung	5buah	5buah

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Pada sample uji digunakan bambu dengan mutu 3 tahun dan kadar air 15% yang diperoleh dari perkebunan bambu di Desa Sada Mukti, Kecamatan Cicurug Kabupaten Sukabumi.

Bagian batang bambu yang memiliki kekuatan paling baik adalah bagian pangkal.<sup>42</sup> Berdasarkan hal tersebut bagian yang diambil sebagai sampel adalah bagian pangkal dari bambu.

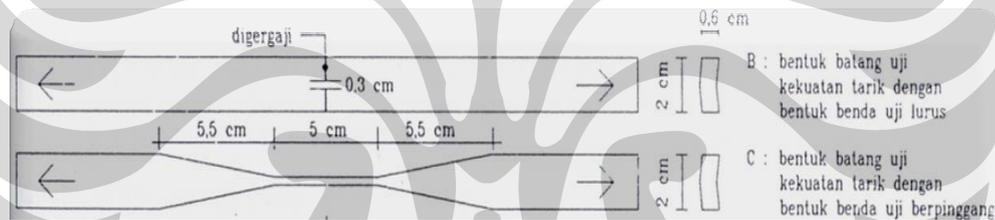
### 3. Bentuk Sampel sesuai Standart

Ukuran dan bentuk sampel yang diuji sesuai standart yang ditetapkan dalam JIS A 5908:2003, seperti dibawah ini:

#### Uji Tarik

Pada sampel bambu yang digunakan untuk uji tarik, bambu dibentuk sesuai standart dengan ukuran dan bentuk profil yang mengecil dibagian tengah.

Bentuk tersebut dimaksud agar sampel mengalami putus ditengah untuk mendapatkan kuat tarik maksimum pada sampel dengan cara besar beban maksimum yang bekerja pada sampel hingga putus dikalikan dengan luas bagian sampel yang putus. Perlakuan yang sama dilakukan untuk bagian ruas dan buku.



Gambar 3.3. Profil Sampel Uji Tarik

(Sumber: Standar JL A. 5908;2003)

#### Uji Tekan

Pada uji tekan dilakukan pada bambu utuh, sampel dibuat dengan ukuran tinggi dua setengah kali lebar diameter bambu yang akan diuji cobakan. Perlakuan yang sama dilakukan pada bagian ruas dan buku dengan letak buku ditengah.



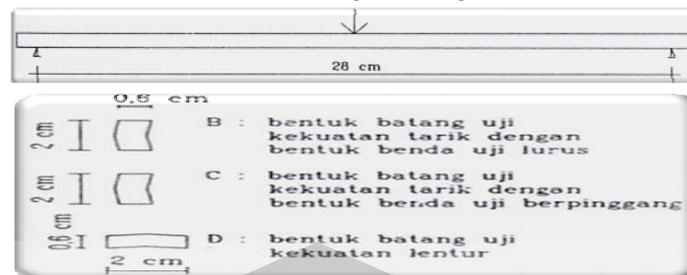
Gambar 3.4. Profil Sampel Uji Tekan

(Sumber: Standar JL A. 5908;2003)

<sup>42</sup> Pusat Penelitian Hasil Hutan Bogor, *Himpunan Sari Hasil Penelitian Rotan dan Bambu*, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan dan Perkebunan Bogor, (2000).

### Uji Lentur

Sampel yang digunakan untuk uji lentur dibuat dengan ukuran seperti terlihat pada gambar dibawah. Antara bagian ruas dan buku mendapat perlakuan yang sama dengan bagian buku diletakan pada bagian tengah dari sampel.



Gambar 3.5. Profil Sampel Uji Lentur  
(Sumber: Standar JL A. 5908;2003)

### III.6.3. Eksperimen Simulasi Program Komputer *SAP2000*

#### Simulasi Program Komputer *SAP2000*

Setelah mendapatkan sifat mekanis bambu dari hasil percobaan Dilaboratorium proses penelitian dilanjutkan dengan melakukan simulasi Program Komputer yang menggunakan data yang dihasilkan pada percobaan dilaboratorium.

Beberapa Program analisis struktur antara lain adalah *ETABS* program ini merupakan program komputer yang digunakan untuk menganalisis struktur pada bangunan tinggi yang terdiri dari beberapa lantai.<sup>43</sup> Program lain adalah *STAAD* yaitu program komputer yang digunakan untuk menganalisa struktur dalam bentuk tiga dimensional.<sup>44</sup>

Selain itu juga terdapat program komputer *SAP2000 (Structure Analysis Program)* adalah sebuah program komputer yang digunakan untuk menganalisa sebuah desain dan sistem struktur. Dengan menggunakan program ini kita dapat menganalisis gaya-gaya yang berkerja pada setiap batang, lendutan yang dialami dengan memberikan beban spesifikasi material sesuai sifat sesungguhnya dalam bentuk tiga dimensional.<sup>45</sup>

Dari ketiga jenis program tersebut *SAP2000* merupakan program yang digunakan dalam penelitian ini karena menghasilkan data yang dibutuhkan pada penelitian ini dan sesuai untuk diterapkan pada struktur bentang lebar dengan material bambu yang akan disimulasikan. Serta data yang dihasilkan pada *SAP2000* dapat lebih mudah untuk dipahami dibandingkan Program komputer yang lain.

<sup>43</sup> www. Reiworl. com, Structural and Engineering Program *ETABS*: program komputer yang digunakan untuk menganalisa struktur pada bangunan tinggi,2008.

<sup>44</sup> www. Reiworl. com, Structural and Engineering Program, *STAAD*: program komputer yang digunakan untuk menganalisa struktur dalam bentuk tiga dimensional,2008.

<sup>45</sup> www. Reiworl.com, Structural and Engineering Program, *SAP2000* adalah suatu program computer yang digunakan untuk pengujian kekuatan pada struktur dan konstruksi bangunan sesuai dengan karakteristik bahan material yang digunakan, 2008.

Berdasarkan sistem struktur yang akan dikembangkan tersebut diterapkan pada bentuk model untuk melihat gaya-gaya yang bekerja pada setiap batangnya dan lendutan yang terjadi.

Dengan menggunakan program komputer program *SAP2000* untuk pemodelan struktur bentang lebar bambu yang didesain yang kemudian dimasukkan kedalam bentuk bangunan agar dapat melihat gaya pada batang dan kemudian membuat jenis sambungan yang dapat diterapkan.

Program ini dapat memudahkan dalam menganalisa desain struktur sebelum dibangun untuk mengetahui bagaimana struktur tersebut bekerja.

**Beberapa hal yang menyangkut simulasi:**

- 1) Memasukkan hasil uji laboratorium kekuatan tekan dan tarik pada bambu sebagai karakteristik bahan yang dimasukkan kedalam model dalam simulasi komputer.
- 2) Pembuatan model konstruksi bambu pada struktur bentang lebar dalam beberapa ukuran bentang (20m, 24m, 28m, 32m, 36m, 40m) dengan karakter bahan yang sudah dimasukkan pada program *SAP2000* tersebut.
- 3) Membuat sambungan berdasarkan besarnya gaya maksimal yang bekerja pada batang konstruksi dari hasil perhitungan simulasi program *SAP2000*.

**a. Data yang diperlukan dalam melakukan simulasi:**

**Data material:**

1. Berat jenis
2. Massa jenis
3. Modulus Elastisitas dari material bambu (MOE)
4. Dimensi dari bambu (diameter 15cm, tebal dinding 1,5cm)

Data diatas diambil bagian terlemah dari material bambu dengan asumsi bagian yang lebih kuat bisa menerima gaya tersebut.

**Data Beban:**

**Beban Mati:**

Beban struktur

Beban penutup atap

**Data Struktur:**

Untuk membuat model struktur bangunan dibutuhkan beberapa data yaitu:

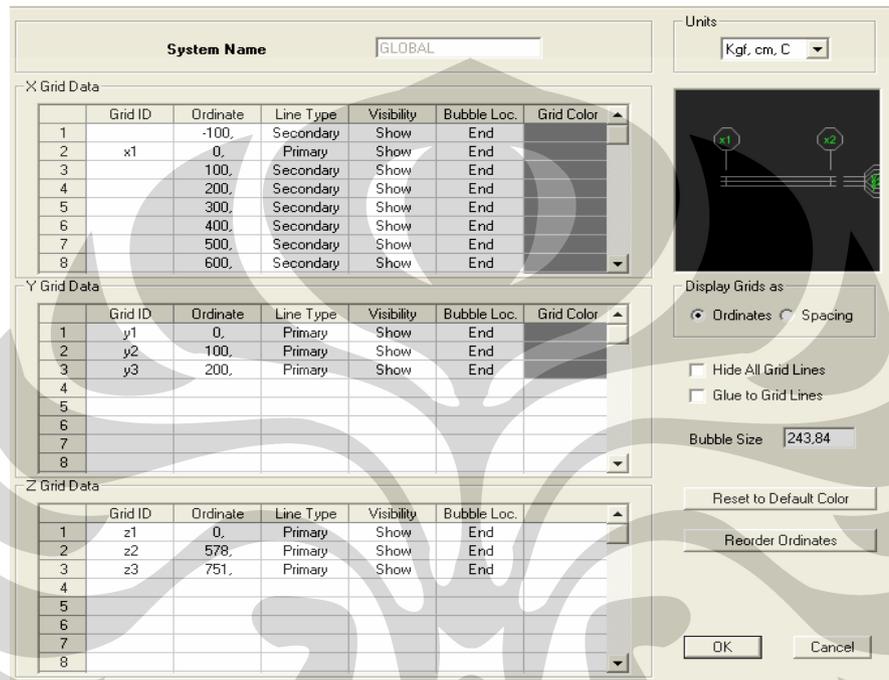
1. Jenis struktur
2. Lebar bentang yang ingin disimulasikan
3. Jarak simpul atau sambungan pada konstruksi

**Data yang dihasilkan:**

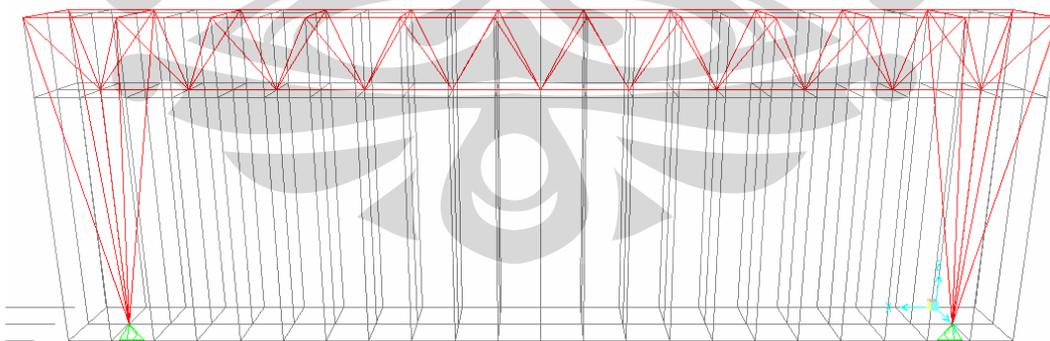
1. Gaya tekan maksimal yang bekerja pada batang
2. Gaya tarik maksimal yang bekerja pada batang
3. Besar lendutan yang dialami struktur

**b.Langkah-langkah melakukan Program Komputer SAP2000**

1. Menentukan Grid untuk mempermudah pembuatan model, ukuran grid dibuat sesuai ukuran dalam pembuatan model struktur



2. membuat model dengan menu line dengan bantuan grid



Gambar 3.6. Beban pada setiap joint terdapat pada setiap joint

Sumber: Koleksi Penelitian, 2008

3. Setelah model dibuat, property/sifat dari material dimasukkan data yang dibutuhkan menyangkut berat jenis, massa jenis, MOE

Material Name: bambu

Display Color: Color (Yellow)

Type of Material:  Isotropic,  Orthotropic,  Anisotropic,  Uniaxial

Type of Design: Design (None)

Analysis Property Data:

Mass per unit Volume	6,100E-09
Weight per unit Volume	6,100E-06
Modulus of Elasticity	167800
Poisson's Ratio	0,2
Coeff of Thermal Expansion	9,900E-06
Shear Modulus	69916,67

Design Property Data:

Advanced Material Property Data:

- Time Dependent Properties...
- Material Damping Properties...
- Stress-Strain Curve Definitions...

Buttons: OK, Cancel

4. Kemudian menentukan dimensi material yang dibutuhkan dimensi bambu betung dengan diameter 15cm dan tebal dinding 1,5cm.

Section Name: BAMBU15

Properties: Section Properties...

Property Modifiers: Set Modifiers...

Material: bambu

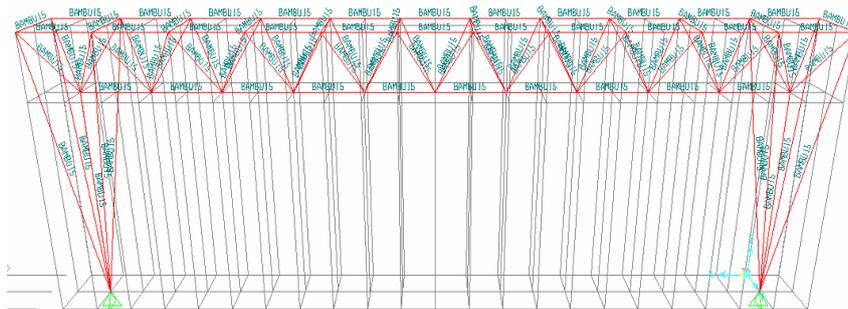
Dimensions:

Outside diameter (t3)	15
Wall thickness (tw)	1,5

Display Color: (Green)

Buttons: OK, Cancel

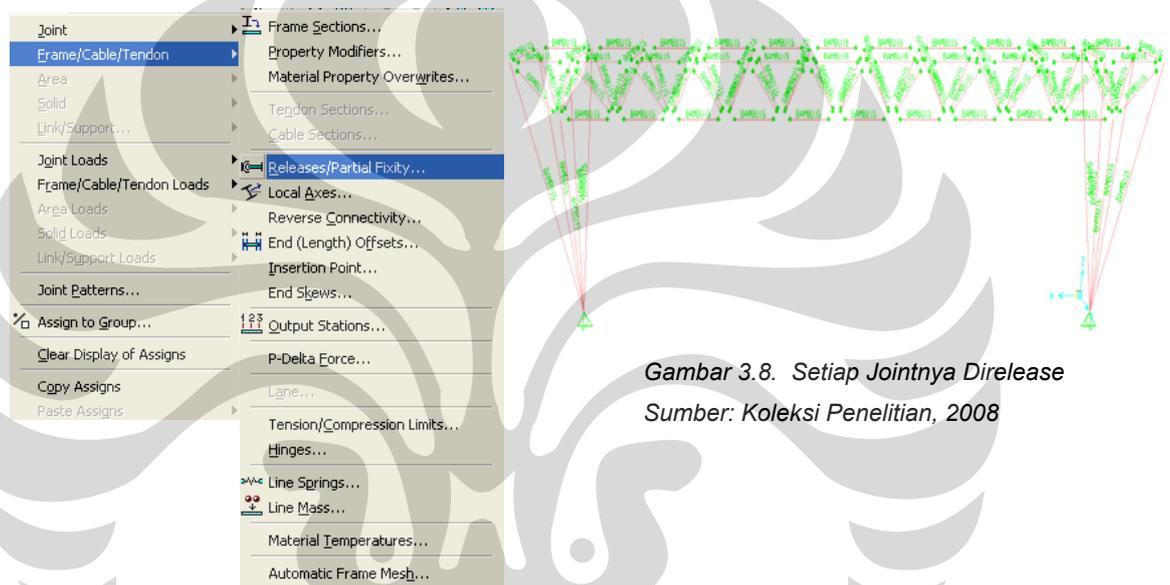
Saat sudah memasukkan material, dapat dilihat pada section jika struktur tersebut tersusun dari material yang dimasukkan.



Gambar 3.7. Beban pada setiap joint terdapat pada setiap joint

Sumber: Koleksi Penelitian, 2008

### 5. Kemudian setiap jointnya direleases



Gambar 3.8. Setiap Jointnya Direlease

Sumber: Koleksi Penelitian, 2008

### 6. kemudian kita memasukkan beban mati pada struktur pada struktur ini dimasukkan beban atap bangunan dan beban angin

beban atap yang dimasukkan:

alumunium (25kg/m<sup>2</sup>)

luas permukaan = lebar x panjang(m<sup>2</sup>)

beban total diseluruh permukaan = luas x berat beban atap / m<sup>2</sup>

contoh: untuk bentang 20m

$$\text{beban total} = 44\text{m} \times 25\text{kg/m}^2$$

$$= 1100 \text{ kg}$$

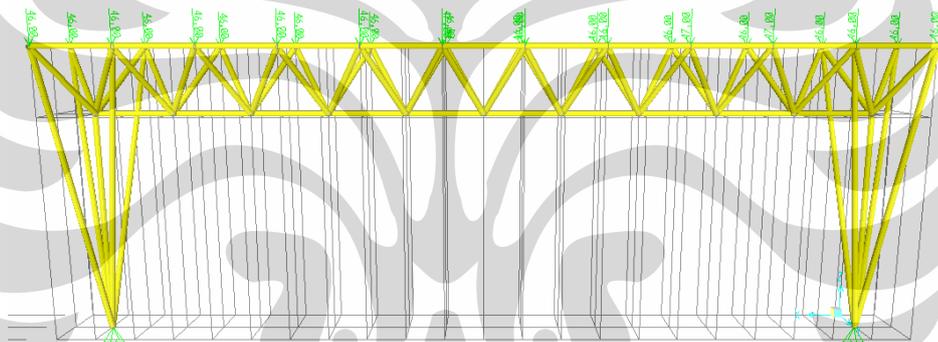
Beban yang diterima setiap joint

Pada bentang 20m terdapat 24 joint

Maka beban tiap joint = 1100kg/24

$$= 46 \text{ kg}$$

Berat beban selalu dihitung sesuai dengan besar luas permukaan sesuai bentang



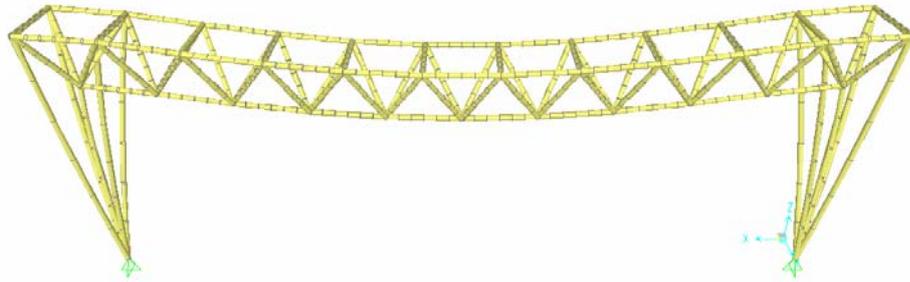
Gambar 3.9. Beban pada setiap joint terdapat pada setiap joint

Sumber: Koleksi Penelitian, 2008

7. setelah beban dimasukkan kemudian memulai menghitung gaya-gaya yang terjadi batang konstruksi

Case Name	Type	Status	Action
DEAD	Linear Static	Not Run	Run
MODAL	Modal	Not Run	Do not Run

8. kita dapat melihat hasil perhitungan



Gambar 3.10. Konstruksi yang mengalami lendutan

Sumber: Koleksi Penelitian, 2008

Hasil perhitungan yang didapat adalah

- a. besar lendutan yang dihasilkan
- b. besar gaya tekan pada setiap batang
- c. besar gaya tarik pada setiap batang

### III.6.4 Perhitungan Sambungan

Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah membuat sambungan dengan material bambu sesuai data-data yang didapat dari hasil penelitian sebelumnya.

Dari besar gaya tekan dan tarik maksimal dari hasil simulasi kita dapat menentukan bentuk sambungan melalui perhitungan. Perhitungan sambungan dilakukan untuk mengetahui jumlah baut dalam sambungan, jarak baut pada sambungan.

### III.7 Alat Penelitian

Alat yang digunakan untuk eksperimen adalah

1. Komputer Personal (PC) dan Komputer Mobile (Laptop) yang dilengkapi dengan program:
  - a. Program *SAP2000*, digunakan untuk simulasi data
  - b. Program *AutoCAD 2007*, digunakan untuk membuat model konstruksi pada struktur bentang lebar untuk menggambarkan model simulasi pada laporan hasil penelitian
  - c. *Microsoft Word 2007*, digunakan untuk menulis hasil laporan
  - d. *Microsoft Excel 2007*, digunakan untuk menyusun data hasil penelitian dalam bentuk tabel.
2. Kamera Digital untuk mengambil visualisasi selama proses Uji coba di laboratorium.

### 3. Alat yang digunakan dalam Uji Kekuatan

Pada saat uji kekuatan di laboratorium digunakan alat uji yang berbeda-beda, alat uji tarik alat uji tekan dan alat uji lentur, seperti dibawah ini:

#### Alat Uji Tarik



Gambar 3.11. Alat Uji Tarik  
(Sumber: Koleksi Penelitian 2008)

#### Alat Uji Tekan



Gambar 3.12. Alat Uji Tekan  
(Sumber: Koleksi Penelitian 2008)

#### Alat Uji Lentur



Gambar 3.13. Alat Uji lentur  
(Sumber: Koleksi Penelitian 2008)

Alat uji tarik, tekan dan lentur terdapat di Laboratorium Beton, Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok.

### III.8 Tempat dan Waktu Penelitian

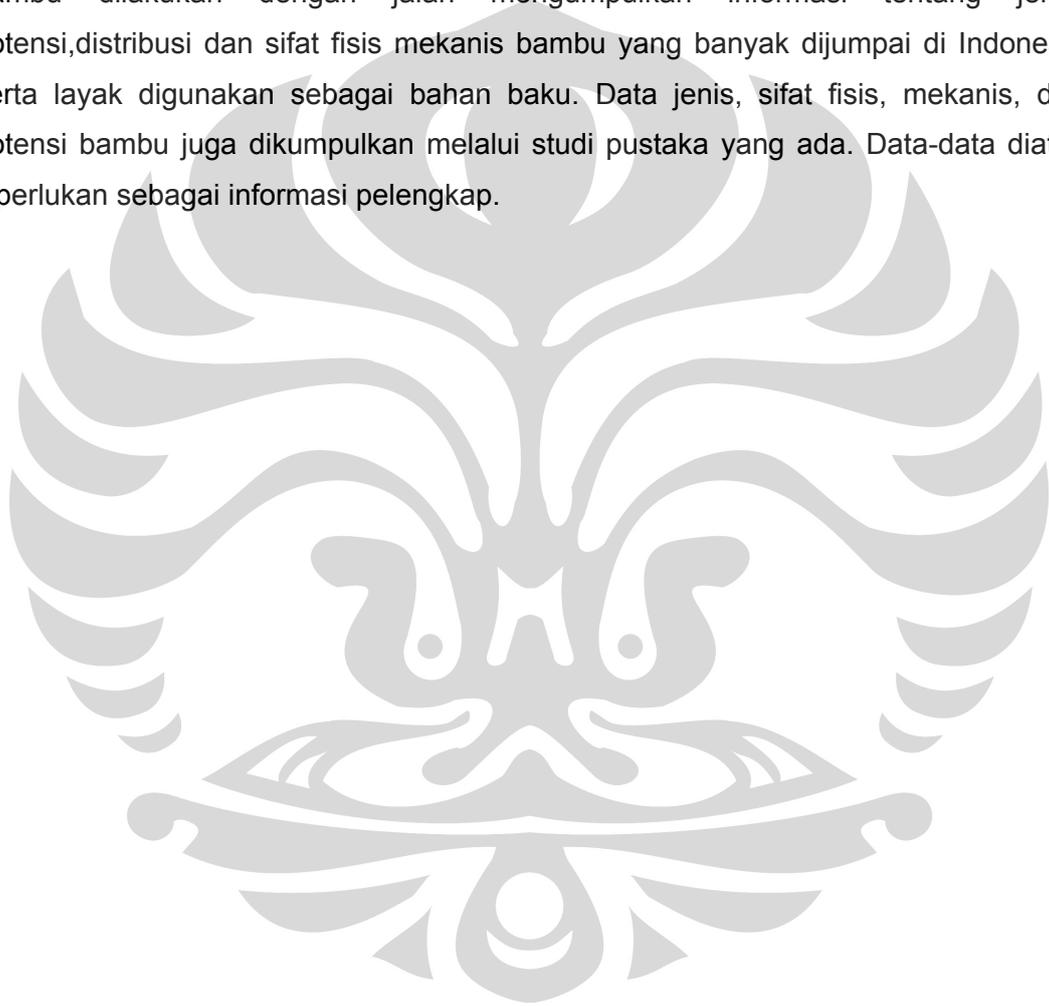
Proses uji kekuatan tarik, tekan, lentur bambu dilakukan di Laboratorium Beton, Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok. Selain itu juga diuji kadar air yang terdapat dalam bambu yang dijadikan sebagai sampel pada uji kekuatan tarik, tekan, dan lentur. Kemudian dilanjutkan simulasi Komputer Program *SAP2000*.

Waktu penelitian dilaksanakan selama lima bulan terhitung dari bulan Februari sampai juni 2008.

### **III.9 Data dan Informasi yang Dibutuhkan**

Data yang digunakan terdiri dari dua jenis data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil pengujian kuat tarik, tekan, lentur pada batang bambu yang diuji berdasarkan standar yang ditetapkan dalam JIS A 5908:2003. Data primer yang diperoleh kemudian di analisis untuk ditarik kesimpulan berdasarkan pendekatan ilmiah.

Sedangkan data sekunder yang dibutuhkan adalah data tentang bambu. Data bambu seperti jenis dan potensinya didapatkan dari studi pustaka. Data sifat-sifat bambu dilakukan dengan jalan mengumpulkan informasi tentang jenis, potensi, distribusi dan sifat fisis mekanis bambu yang banyak dijumpai di Indonesia serta layak digunakan sebagai bahan baku. Data jenis, sifat fisis, mekanis, dan potensi bambu juga dikumpulkan melalui studi pustaka yang ada. Data-data diatas diperlukan sebagai informasi pelengkap.



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

#### IV.1 Uji Laboratorium

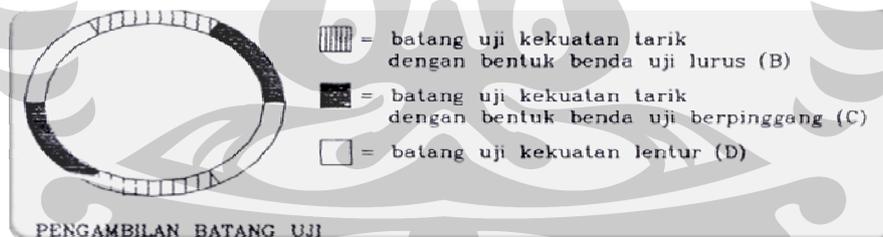
Uji laboratorium dilakukan pada tiga jenis bambu yang berdasarkan kajian teori merupakan jenis bambu yang dapat digunakan sebagai bahan konstruksi dan ketersediaannya di Indonesia. Uji kekuatan ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis bambu yang dibutuhkan, kemudian dilanjutkan dengan simulasi untuk mengetahui lebar bentang yang dapat dicapai dan jenis sambungan yang sesuai dengan sifat dan karakteristik bambu.

Tabel 4.1. Data Spesifikasi Bahan

No.	Jenis Data	Keterangan
1	Jenis bambu	Bambu Tali, bambu Betung, bambu Tali
2	Umur bambu	3 tahun
3	Kadar air	15%

(Sumber : Data Penelitian, 2008)

Dalam uji laboratorium dibutuhkan standart yang diperlukan untuk perlakuan pada sample agar menghasilkan data yang akurat.



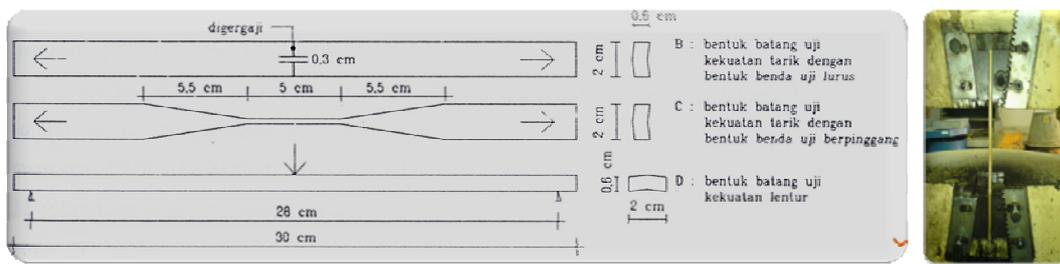
Gambar 4.1 Penampang Bambu Sebagai Sample

(sumber:Standar JIS A 5908:2003 )

Data primer diperoleh dari hasil pengujian kuat tarik, tekan, lentur pada batang bambu yang diuji berdasarkan standar yang ditetapkan dalam JIS A 5908:2003 (1)

Uji kekuatan yang dilakukan adalah uji kuat tarik, kuat tekan dan kuat lentur, analisa dari ketiga uji Laboratorium tersebut akan diuraikan pada pembahasan dibawah.

### IV.1.1 Uji Kekuatan Tarik



Gambar 4.2. Profil sample untuk uji tarik

(sumber: standart JIS A 5908:2003)

Batang bambu yang diuji berdasarkan standar yang ditetapkan dalam JIS A 5908:2003.

Hasil pengujian terhadap kuat tarik bambu menunjukkan bahwa kekuatan bambu pada bagian buku dan ruas memiliki tingkat kuat yang berbeda. Pada bagian buku kuat tariknya relatif lebih kecil jika dibandingkan bagian ruas.

Perbedaan kuat tarik bambu antara ketiga bambu, Betung, Tali, Dan Wulung dapat dilihat pada pembahasan berikut:

#### A. Analisis Uji Kuat Tarik Bambu Tali



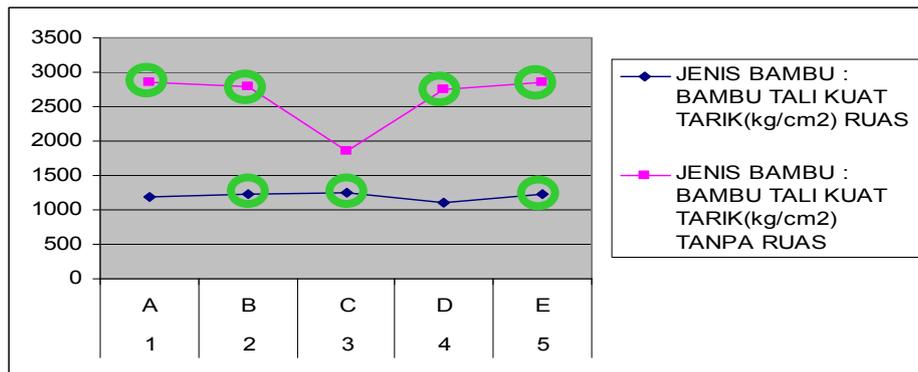
Gambar 4.3. Sampel Bambu Tali Bagian Buku Dan Ruas

(Sumber: Koleksi Penelitian, 2008)

Tabel 4.2. Uji Kuat Tarik Bambu Tali

No.	Jenis Sampel	Kuat Tarik (Kg/cm <sup>2</sup> )	
		Buku	Ruas
1	A	1181	2845
2	B	1238	2796
3	C	1241	1862
4	D	1097	2756
5	E	1237	2858

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008



Gambar 4.4. grafik kuat tarik bambu tali

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Saat melakukan uji tarik pada bambu tali pada bagian buku, pada sampel A dan D memiliki nilai yang berbeda jauh dengan sampel B, C, dan E maka sampel yang nilainya diambil untuk dijadikan sebuah data adalah sampel B, C, dan E. Sedangkan untuk bagian ruas terdapat empat sampel yang memiliki nilai yang berdekatan, yaitu sampel A, B, D, dan E kemudian empat data tersebut yang diolah dan analisa.

Hasil data percobaan uji tarik pada bambu tali beberapa nilai yang mendekati diambil menjadi data untuk diolah dan dirata-ratakan, dari perhitungan tersebut didapat besar kuat tarik bambu tali pada bagian ruas 2813,75Kg/cm<sup>2</sup> dan kuat tarik bambu tali pada bagian buku 1238,67kg/cm<sup>2</sup>. Dapat dilihat bahwa perbedaan kuat tarik pada bagian buku dan ruas pada bambu tali memiliki perbedaan yang cukup besar.

### B. Analisis Uji Kuat Tarik Bambu Wulung



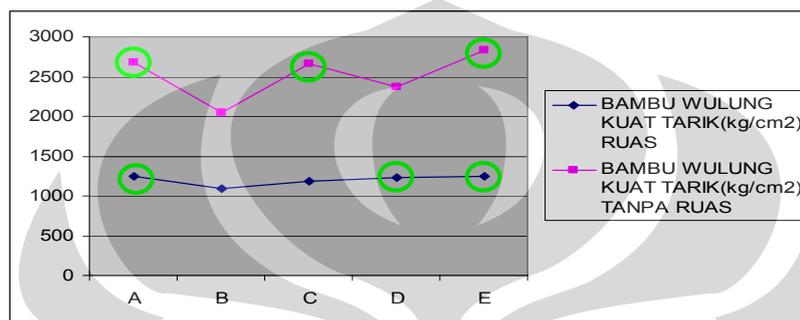
Gambar 4.5. Sampel Bambu Wulung Bagian Buku dan Ruas

(Sumber: Koleksi Penelitian, 2008)

Tabel 4.3. Uji Kuat Tarik Bambu Wulung

No.	Jenis Sampel	Kuat Tarik (Kg/cm <sup>2</sup> )	
		Buku	Ruas
1	A	1248	2674
2	B	1096	2043
3	C	1189	2656
4	D	1235	2376
5	E	1252	2837

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008



Gambar 4.6. Garfik Kuat Tarik Bambu Wulung

(Sumber: Koleksi Penelitian, 2008)

Pada tabel diatas dari sampel yang masing-masing bagian terdiri dari lima buah sampel dapat dilihat beberapa nilai yang mendekati. Dapat dilihat pada tabel bagian buku bambu wulung, sampel A, D dan E memiliki nilai yang mendekati, ketiga sampel ini diambil sebagai data yang akan dianalisa dan diolah. Sedangkan pada bagian ruas dari ke-lima sampel terdapat tiga sampel yang mendekati, sampel A, C dan E. kemudian ke-tiga sampel tersebut diolah dan dianalisa.

Dari hasil uji tarik pada bambu Wulung beberapa nilai yang mendekati diambil menjadi sampel yang kemudian dirata-ratakan. Dari perhitungan itu dapat dilihat kuat tarik bambu wulung pada bagian ruas 2722,33 kg/cm<sup>2</sup> dan bagian buku 1245 kg/cm<sup>2</sup>.

### C. Analisis Uji Kuat Tarik Bambu Betung



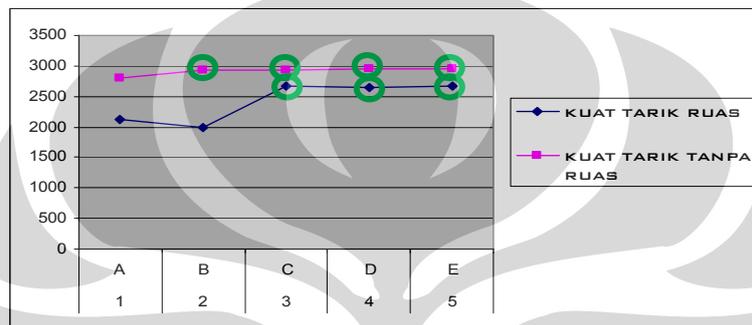
Gambar 4.7. Sampel Kuat Tarik Bambu Wulung Bagian Buku Dan Ruas

(Sumber: Koleksi Penelitian, 2008)

Tabel 4.4. Uji Kuat Tarik Bambu Betung

No.	Jenis Sampel	Kuat Tarik (Kg/cm <sup>2</sup> )	
		Buku	Ruas
1	A	2111	2796
2	B	1987	2927
3	C	2678	2937
4	D	2653	2955
5	E	2658	2958

(Sumber: Koleksi Penelitian, 2008)



Gambar 4.8. Grafik Kuat Tarik Bambu Betung

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Pada Grafik diatas dapat dilihat pada sampel bagian buku, C, D dan E memiliki nilai kuat tarik yang hampir sama. Ketiga sampel tersebut yang digunakan untuk dianalisa dan diolah. Dan untuk sampel bagian ruas, nilai yang mendekati adalah sampel B, C, D dan E. ke-tiga nilai tersebut yang digunakan untuk menghasilkan nilai kuat tarik yang dibutuhkan.

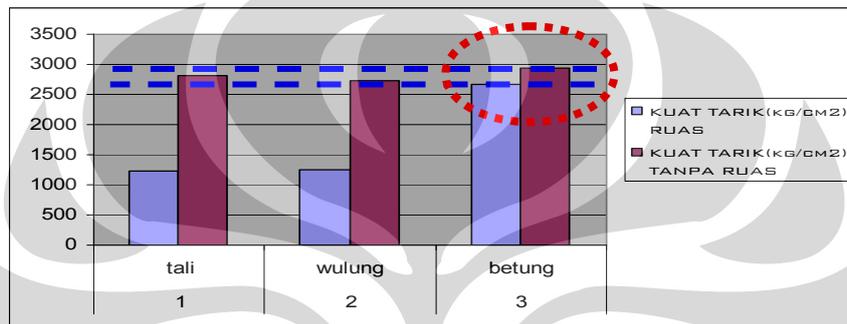
Dari beberapa sampel dengan nilai yang mendekati yang diolah maka dapat dilihat besar kuat tarik bambu Betung yaitu, pada bagian ruas 2944,25 kg/cm<sup>2</sup> dan bagian buku 2663 kg/cm<sup>2</sup> pada bambu Betung perbedaan kekuatannya cenderung lebih stabil, perbedaan kekuatan pada daerah buku dan ruas memiliki nilai yang tidak terlalu besar.

**D. Analisis Perbandingan Kekuatan Tarik Antara Bambu Tali, Wulung, Betung**

Tabel 4.5. Perbandingan Kekuatan Tarik Antara Bambu Tali, Wulung, Betung

No.	Jenis Bambu	Kuat Tarik (Kg/cm <sup>2</sup> )	
		Buku	Ruas
1	Tali	1238,67	2813,7
2	Wulung	1245	2722,33
3	Betung	2663	2944,25

Sumber: Data Hasil Penelitian,2008



Gambar 4.9. Perbandingan Kuat Tarik antara Tiga Jenis Bambu

Sumber: Data Hasil Penelitian,2008

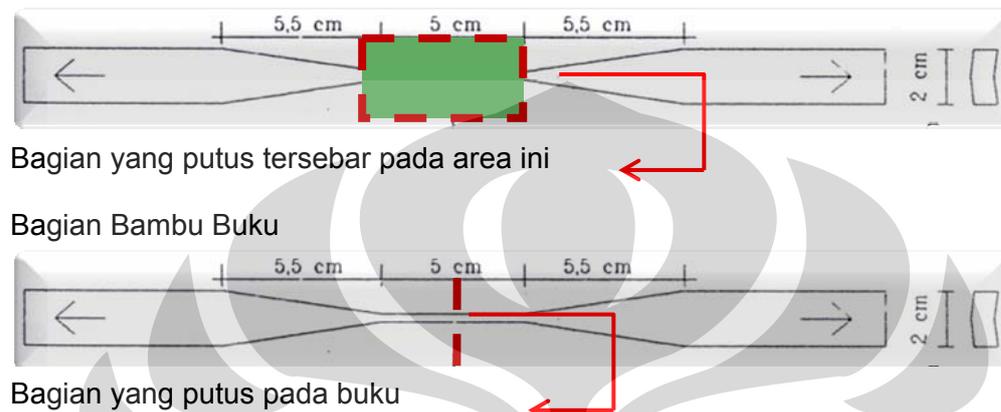
Pada grafik diatas dapat dilihat perbandingan kuat tarik pada bagian buku dan ruas antara ketiga jenis bambu, beberapa hal yang dapat dianalisa dari garfik diatas adalah:

- Dari ketiga jenis bambu yang memiliki kekuatan tarik yang paling tinggi adalah bambu Betung.
- Dari ketiga jenis bambu diatas, bagian ruas memiliki kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan bagian buku.
- Pada bambu betung kuat tarik bagian ruas dan buku relatif lebih stabil.

### E. Analisis Letak Patah pada Batang Bambu



Gambar 4.10. Sampel Bambu setelah mendapat perlakuan  
(sumber: Koleksi Penelitian,2008)



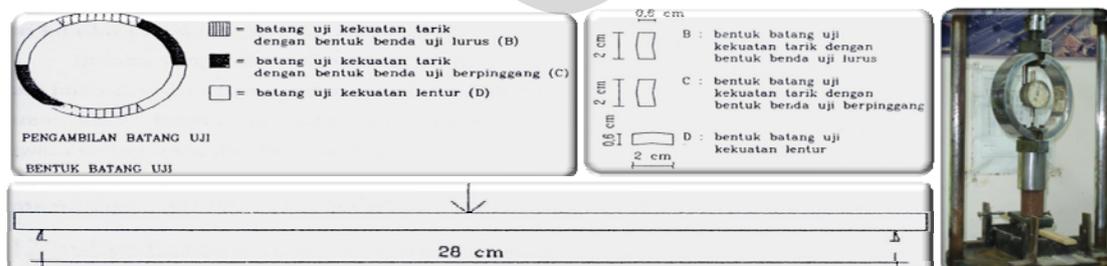
Gambar 4.11. Gambar Analisa Letak Putus Uji Kuat Tarik

Bagian ruas memiliki kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan bagian buku.

Berdasarkan percobaan kuat tarik diatas bambu yang memiliki kuat tarik paling besar adalah bambu Betung dengan besar kuat tarik yang relatif stabil pada bagian buku dan ruas karena besar perbedaanya tidak terlalu jauh.

Kuat tarik pada bagian buku lebih rendah daripada bagian ruas maka pada saat membuat sambungan dengan bahan material bambu dapat menjadi pertimbangan perletakkannya. Dengan besar kuat tarik dari hasil percobaan dijadikan pembatas atas pemilihan konstruksi yang akan diterapkan dengan bahan material bambu.

#### IV.1.2 Uji Kekuatan Lentur



Gambar 4.12. Profil sample untuk uji Lentur

(sumber: standart yang ditetapkan dalam JIS A 5908:2003)

Batang bambu yang diuji berdasarkan standart yang ditetapkan dalam JIS A 5908:2003

Berdasarkan percobaan kuat lentur pada bambu dapat dilihat bahwa bambu memiliki kuat lentur yang cukup tinggi. Dari ketiga bambu yang diuji cobakan bambu yang memiliki kuat lentur paling tinggi adalah bambu betung dengan kuat lentur bambu ruas 2049 kg/cm<sup>2</sup> dan bagian buku 1230,67 kg/cm<sup>2</sup>.

### A. Analisis Uji Kuat Lentur Bambu Tali

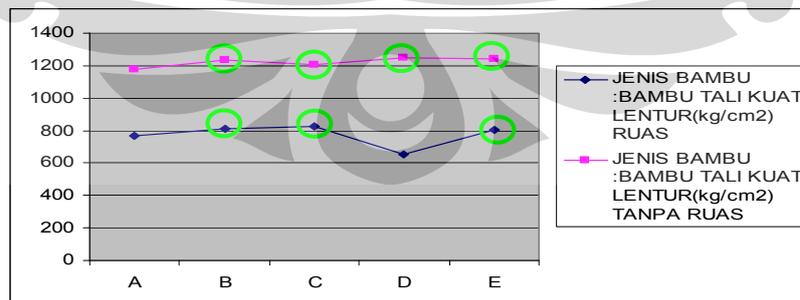


Gambar 4.13. Sampel Uji Kuat Lentur Bambu Tali Bagian Buku Dan Ruas  
(Sumber: Koleksi Penelitian, 2008)

Tabel 4.6. Uji Kuat Lentur Bambu Tali

No.	Jenis Sampel	Kuat Lentur (Kg/cm <sup>2</sup> )	
		Buku	Ruas
1	A	769	1181
2	B	811	1237
3	C	823	1206
4	D	654	1252
5	E	802	1240

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008



Gambar 4.14. Grafik Uji Kuat Lentur Bambu Tali  
(Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008)

Pada grafik diatas dapat dilihat beberapa nilai yang mendekati nilai yang mendekati. Sampel bagian buku terdapat tiga sampel yang memiliki nilai yang berdekatan, B, C dan E. Sedangkan pada sampel bagian ruas dari ke-lima sampel

terdapat empat sampel yang memiliki nilai yang berdekatan, Sampel B, C, D dan E. Nilai- nilai dari sampel-sampel yang memiliki nilai yang berdekatan kemudian diolah.

Dari data Hasil uji lentur yang dilakukan pada bambu tali tersebut terdapat beberapa nilai yang mendekati diambil menjadi sampel yang kemudian dirata-ratakan.

Dari hasil uji kekuatan lentur pada bambu tali didapat rata-rata kuat lentur untuk bagian bambu tanpa ruas 1243 kg/cm<sup>2</sup> dan bagian beruas 812 kg/cm<sup>2</sup>.

### B. Analisis Uji Kuat Lentur Bambu Wulung

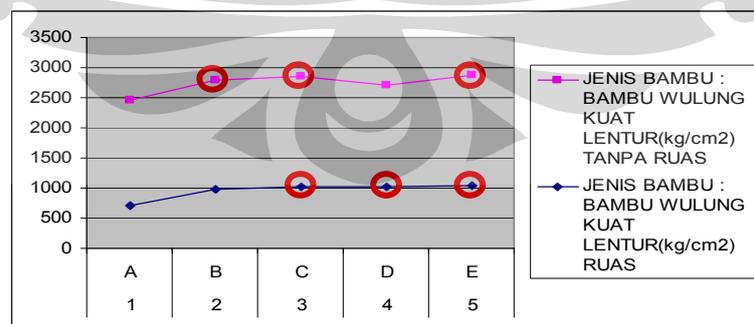


Gambar 4.15. Sampel Uji Kuat Lentur Bambu Wulung Bagian Buku Dan Ruas  
(Sumber: Koleksi Penelitian, 2008)

Tabel 4.7. Uji Kuat Lentur Bambu Wulung

No.	Jenis Sampel	Kuat Lentur (Kg/cm <sup>2</sup> )	
		Buku	Ruas
1	A	698	1765
2	B	976	1821
3	C	1021	1843
4	D	1017	1697
5	E	1032	1835

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008



Gambar 4.16. Grafik Uji Kuat Lentur Bambu Wulung  
Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Dari grafik diatas dapat dilihat beberapa data, pada ke-lima sampel bagian buku terdapat beberapa sampel yang memiliki kuat yang sama, sampel C, D dan E, sedangkan untuk bagian ruas juga terdapat tiga sampel yang nilainya saling

mendekati, sampel B, C dan E. Sampel-sampel tersebut kemudian diolah menjadi satu data.

Hasil uji lentur pada bambu Tali beberapa nilai yang mendekati diambil menjadi sampel yang kemudian dirata-ratakan.

Dari nilai tersebut kekuatan lentur pada bambu wulung didapat rata-rata kuat lentur untuk bagian bambu tanpa ruas 1833 kg/cm<sup>2</sup> dan bagian beruas 1023,33 kg/cm<sup>2</sup>.

### C. Analisis Uji Kuat Lentur Bambu Betung

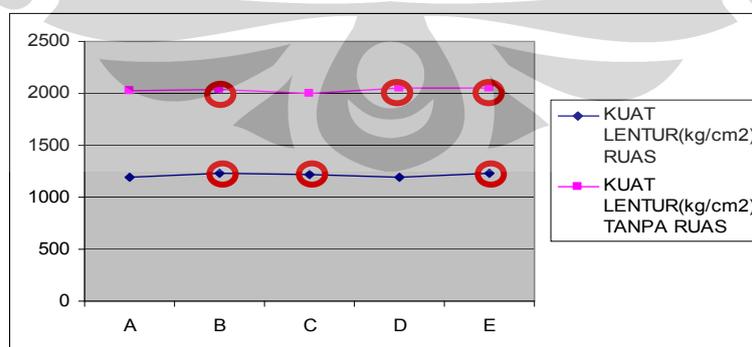


Gambar 4.17. Sampel Uji Kuat Lentur Bambu Betung Bagian Buku Dan Ruas  
(Sumber: Koleksi Penelitian, 2008)

Tabel 4.8. Uji Kuat Lentur Bambu Betung

No.	Jenis Sampel	Kuat Lentur (Kg/cm <sup>2</sup> )	
		Buku	Ruas
1	A	1189	2026
2	B	1235	2037
3	C	1221	1998
4	D	1197	2054
5	E	1236	2056

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008



Gambar 4.18. Grafik Uji Kuat Lentur Bambu Betung  
Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Pada grafik diatas pada sampel bagian buku terdapat tiga sampel yang memiliki besar yang saling mendekati, sampel B, C dan E diambil sebagai sampel

yang kemudian diolah. Sedangkan pada sampel bagian ruas bambu betung terdapat tiga sampel yang besarnya mendekati, sampel B, D dan E. Sampel tersebut diatas kemudian diolah.

Dari hasil uji lentur pada bambu Betung beberapa nilai yang mendekati diambil menjadi sampel yang kemudian dirata-ratakan.

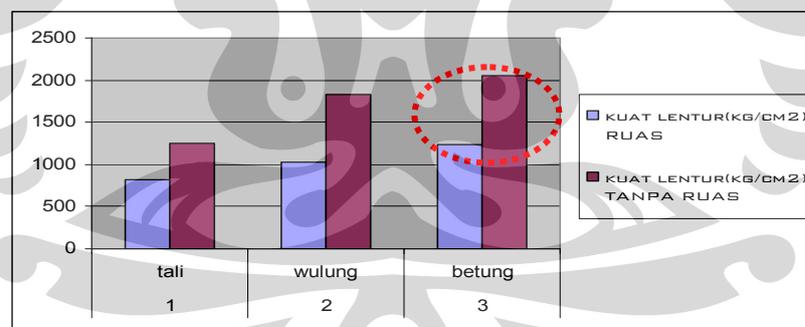
Nilai kekuatan lentur pada bambu Betung didapat rata-rata kuat lentur untuk bagian bambu ruas 2049 kg/cm<sup>2</sup> dan bagian buku 1230,67 kg/cm<sup>2</sup>.

#### D. Analisis Perbandingan Kuat Lentur antara Tiga Jenis Bambu

Tabel 4.9. Perbandingan Kuat Lentur antara Tiga Jenis Bambu

No.	Jenis Bambu	Kuat Lentur (Kg/cm <sup>2</sup> )	
		Buku	Ruas
1	Tali	812	1243
2	Wulung	1023,33	1833
3	Betung	1230,67	2049

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008



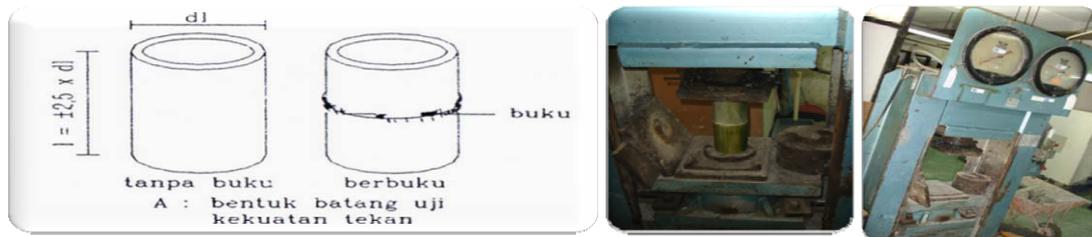
Gambar 4.19. Perbandingan Kuat Lentur antara Tiga Jenis Bambu

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Hasil uji kuat lentur dari ketiga bambu kemudian dibandingkan dapat terlihat pada grafik diatas, dari perbandingan kekuatan bambu tersebut beberapa hal yang dapat dilihat dan dianalisa:

- Dari ketiga jenis bambu yang memiliki kekuatan lentur paling tinggi adalah bambu Betung.
- Dari ketiga jenis bambu diatas, bagian tanpa ruas memiliki kuat lentur yang lebih besar dibandingkan bagian beruas.

### IV.1.3 Uji Kekuatan Tekan



Gambar 4.20. Profil sample untuk uji tarik

(sumber: standart JIS A 5908:2003)

Batang bambu yang diuji berdasarkan standar yang ditetapkan dalam JIS A 5908:2003. Uji kuat tekan pada bambu dilakukan salah satunya untuk mengetahui sifat mekanis dari bambu. Dengan itu kita dapat mengukur kekuatan suatu material khususnya bambu untuk dapat diterapkan pada jenis struktur dan konstruksi tersebut.

#### A. Analisis Uji Kuat Tekan Bambu Tali



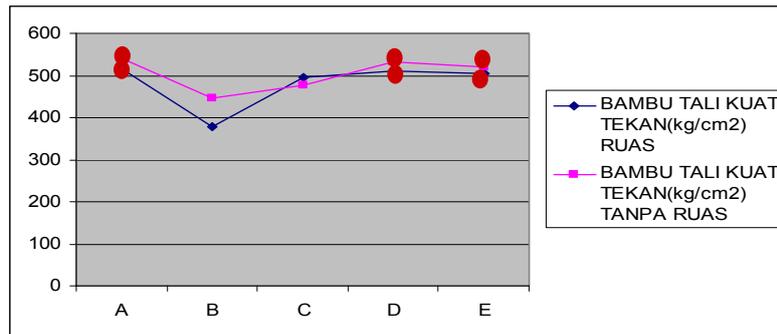
Gambar 4.21. Sampel Uji Kuat Tekan Bambu Tali Bagian Buku Dan Ruas

(Sumber: Koleksi Penelitian, 2008)

Tabel 4.10. Uji Kuat Tekan Bambu Tali

No.	Jenis Sampel	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	
		Buku	Ruas
1	A	517	543
2	B	378	445
3	C	496	478
4	D	511	532
5	E	505	521

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008



Gambar 4.22. Grafik Uji Kuat Tekan Bambu Tali  
 Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Saat melakukan uji tekan pada bambu tali pada bagian buku, pada sampel B dan C memiliki nilai yang berbeda jauh dengan sampel A, D, dan E maka sampel yang nilainya diambil untuk dijadikan sebuah data adalah sampel A, D, dan E. Sedangkan untuk bagian ruas terdapat empat sampel yang memiliki nilai yang berdekatan, yaitu sampel A, D, dan E kemudian empat data tersebut yang diolah dan analisa.

Hasil data percobaan uji tekan pada bambu tali beberapa nilai yang mendekati diambil menjadi data untuk diolah dan dirata-ratakan, dari perhitungan tersebut didapat besar kuat tekan bambu tali pada bagian ruas ruas 532 kg/cm<sup>2</sup> dan bagian buku 511 kg/cm<sup>2</sup>.

### B. Analisis Uji Kuat Tekan Bambu Wulung

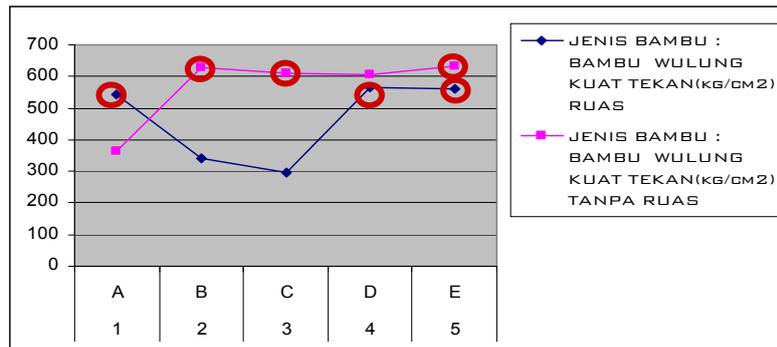


Gambar 4.23. Sampel Uji Kuat Tekan Bambu Wulung Bagian Buku Dan Ruas  
 (Sumber: Koleksi Penelitian, 2008)

Tabel 4.11. Uji Kuat Tekan Bambu Wulung

No.	Jenis Sampel	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	
		Buku	Ruas
1	A	543	365
2	B	342	629
3	C	298	611
4	D	565	608
5	E	562	631

(Sumber: Koleksi Penelitian, 2008)



Gambar 4.24. Grafik Uji Kuat Tekan Bambu Wulung  
 Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Hasil uji kuat tekan pada bambu Wulung dapat dilihat pada tabel dan grafik diatas dari sampel yang masing-masing bagian terdiri dari lima buah sampel dapat dilihat beberapa nilai yang mendekati. Dapat dilihat pada tabel bagian buku bambu Wulung , sampel A, D dan E memiliki nilai yang mendekati, ketiga sampel ini diambil sebagai data yang akan dianalisa dan diolah. Sedangkan pada bagian ruas dari kelima sampel terdapat tiga sampel yang mendekati, sampel B, C dan E. kemudian ketiga sampel tersebut diolah dan dianalisa.

Sampel uji kekuatan tekan yang memiliki nilai yang mendekati diatas setelah diolah dan dirata-ratakan menghasilkan nilai kuat tekan untuk bagian bambu ruas 623,67 kg/cm<sup>2</sup> dan bagian buku 556,67kg/cm<sup>2</sup>.

### C. Analisis Uji Kuat Tekan Bambu Betung

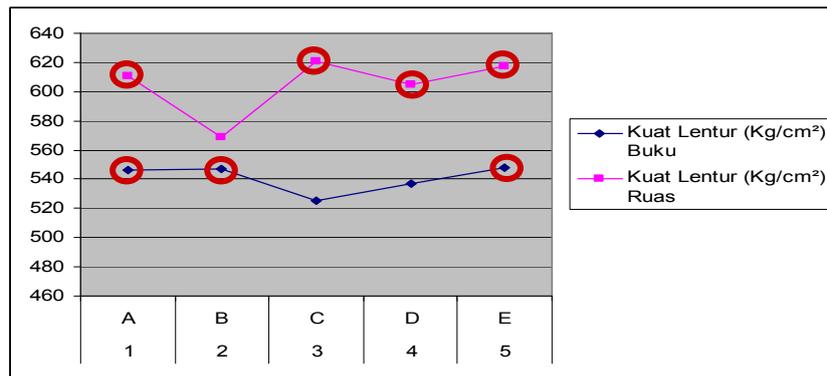


Gambar 4.25. Sampel Uji Kuat Tekan Bambu Betung Bagian Buku Dan Ruas  
 (Sumber: Koleksi Penelitian, 2008)

Tabel 4.12. Uji Kuat Tekan Bambu Betung

No.	Jenis Sampel	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	
		Buku	Ruas
1	A	546	611
2	B	547	569
3	C	525	621
4	D	537	605
5	E	548	617

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008



Gambar 4.26. Grafik Uji Kuat Tekan Bambu Betung  
 Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Pada Grafik diatas menggambarkan hasil uji kuat tekan pada lima buah sampel dapat dilihat pada sampel bagian buku sampel C dan D memiliki nilai yang berbeda dari ke-tiga sampel lainnya, sedangkan sampel A, B dan E memiliki nilai kuat tarik yang hampir sama. Ketiga sampel tersebut yang digunakan untuk dianalisa dan diolah. Dan untuk sampel bagian ruas, nilai yang mendekati adalah sampel A, C, D dan E. ke-tiga nilai tersebut yang digunakan untuk menghasilkan nilai kuat tekan yang dibutuhkan.

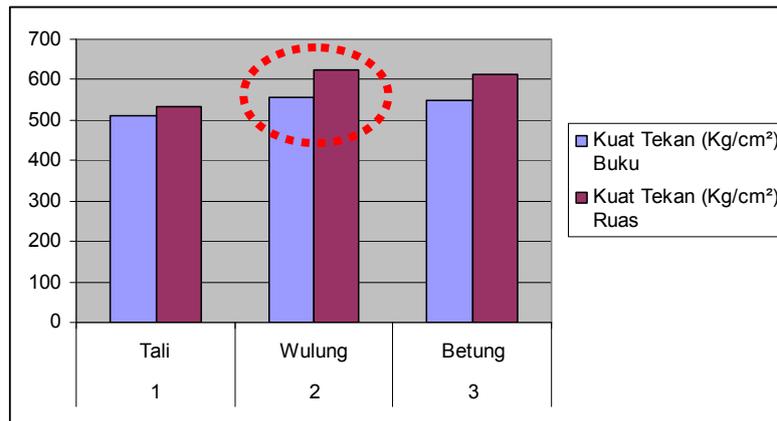
Dari beberapa sampel hasil uji kekuatan tekan pada bambu Betung beberapa nilai yang mendekati diambil menjadi sampel yang kemudian dirata-ratakan. Nilai yang dirata-ratakan tersebut menghasilkan nilai kuat tekan bambu betung untuk bagian bambu ruas 613,5 kg/cm<sup>2</sup> dan bagian buku 547 kg/cm<sup>2</sup>.

#### D. Analisis Perbandingan Kekuatan Tekan antara Tiga Jenis Bambu

Tabel 4.13. Perbandingan Kekuatan Tekan antara Tiga Jenis Bambu

No.	Jenis Bambu	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	
		Buku	Ruas
1	Tali	511	532
2	Wulung	556,67	623,67
3	Betung	547	613,5

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008



Gambar 4.27. Perbandingan Kuat Tekan antara Tiga Jenis Bambu

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Pada Grafik perbandingan kuat tekan bambu diatas, beberapa hal yang dapat dilihat dan dianalisa, yaitu:

- Dari ketiga jenis bambu yang memiliki kekuatan tekan paling tinggi adalah bambu Wulung.
- Dari ketiga jenis bambu diatas, bagian tanpa ruas memiliki kuat tekan yang lebih besar dibandingkan bagian beruas.

### E. Analisis Perubahan Bentuk Fisik Bambu Setelah Uji Kekuatan Tekan

#### Bambu Beruas



Gambar 4.28. Bambu Beruas

- Gaya yang diterima sebagian disalurkan keluar pada ruas
- Pada bambu yang beruas daerah pecahnya terletak pada bagian atas

#### Bambu Tanpa Ruas



Gambar 4.29. Bambu Tanpa Ruas

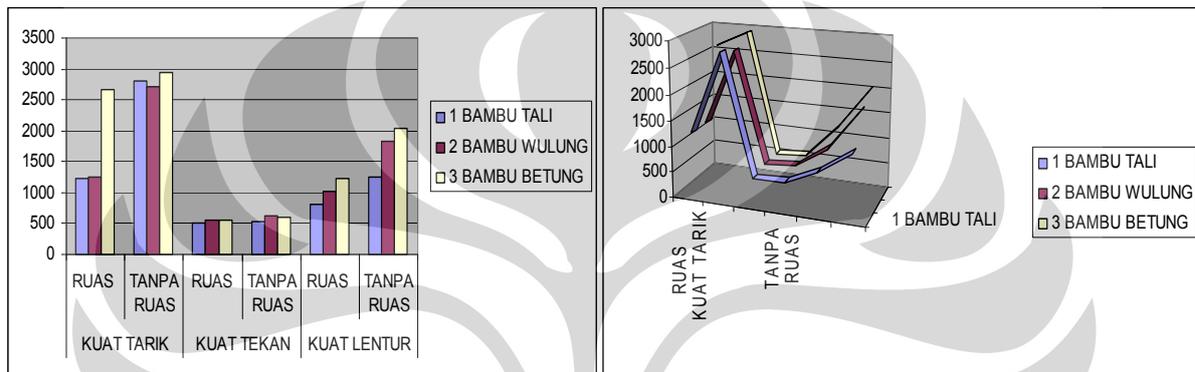
- Gaya yang diterima seluruhnya diteruskan kebawah
- Pada bambu yang tanpa ruas daerah pecahnya terletak pada bagian bawah.

#### IV.1.4 Analisis Perbandingan Kekuatan Antara ke-Tiga Jenis Bambu

Tabel 4.14 Perbandingan Kekuatan Antara ke-Tiga Jenis Bambu

No.	Jenis Bambu	Kuat Tarik		Kuat Tekan		Kuat Lentur	
		Buku	Ruas	Buku	Ruas	Buku	Ruas
1	Bambu Tali	1238,67	2813,7	511	532	812	1243
2	Bambu Wulung	1245	2722,33	556,67	623,67	1023,33	1833
3	Bambu Betung	2663	2944,25	547	613,5	1230,67	2049

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008



Gambar 4.30. grafik perbandingan kekuatan tiga jenis bambu

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Berdasarkan hasil percobaan dari ketiga bambu diatas yang memiliki kuat tarik dan kelenturan paling baik adalah bambu Betung. Sedangkan yang memiliki kuat tekan paling besar adalah bambu Wulung.

Jika kita lihat pada tabel sifat mekanis bambu diatas yang memiliki kekuatan paling stabil adalah bambu Betung.

#### A. Penelitian Kekuatan Bambu yang Sudah Pernah Dilakukan

Tabel 4.15 Perbandingan Sifat Mekanis Tiga Jenis Bambu Tali, Wulung, Betung

No.	Jenis Bambu	Kuat Tarik		Kuat Tekan		Kuat Lentur	
		Buku	Ruas	Buku	Ruas	Buku	Ruas
1	Bambu Tali	1231	2358	505	521	802	1240
2	Bambu Wulung	1252	2837	562	675	1032	1835
3	Bambu Betung	2663	2858	548	631	1239	2956

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Penelitian yang pernah dilakukan dilakukan pada jenis bambu yang sama pada tabel diatas dapat dilihat bambu yang memiliki kekuatan yang stabil adalah bambu betung. Kuat tarik, tekan dan lentur pada bambu dibagian buku dan ruas memiliki kekuatan yang berbeda, bagian ruas memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan buku.

## B. Penelitian Kekuatan Bambu yang Saat Ini Dilakukan

Tabel 4.16 Perbandingan Sifat Mekanis

No.	Jenis Bambu	Kuat Tarik		Kuat Tekan		Kuat Lentur	
		Buku	Ruas	Buku	Ruas	Buku	Ruas
1	Bambu Tali	1238,67	2813,7	511	532	812	1243
2	Bambu Wulung	1245	2722,33	556,67	623,67	1023,33	1833
3	Bambu Betung	2663	2944,25	547	613,5	1230,67	2049

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

- a. Dengan menggunakan standart percobaan dan jenis material bambu yang sama, hasil penelitian tidak jauh berbeda.
- b. Bambu yang memilki sifat mekanis yang paling baik adalah bambu betung.

Dari kedua penelitian diatas dapat dilihat sifat mekanis dari bambu yang akan dijadikan pembatas untuk menentukan struktur dan konstruksi yang dapat diterapkan dengan material bambu sesuai daya dukungnya.

### IV.2 Uji Simulasi Komputer SAP2000

#### IV.2.1 Data

##### A. Spesifikasi material:

1. Bambu Betung
2. Diameter 15cm dan tebal dinding 1,5cm
3. Kekuatan Tarik : daerah buku  $2663\text{kg/cm}^2$   
daerah ruas  $2944,25\text{kg/cm}^2$
4. Kekuatan Tekan : daerah buku  $547\text{kg/cm}^2$   
daerah ruas  $613,5\text{kg/cm}^2$
5. Kekuatan Lentur : daerah buku  $1230\text{kg/cm}^2$   
daerah ruas  $2094\text{kg/cm}^2$
6. MOE ( $\times 1000\text{ kg/cm}^2$ ): daerah buku  $167.8\text{kg/cm}^2$   
daerah ruas  $202.0\text{kg/cm}^2$
7. Bagian bambu yang digunakan adalah bagian buku yang merupakan bagian terlemah, dengan asumsi bagian yang lebih kuat akan dapat menerima gaya atau beban yang sama.

## B. Jenis Struktur Bentang Lebar yang akan diterapkan pada Bambu

Siegel (1962) menjelaskan bahwa rancangan bangunan bambu dapat dikembangkan melalui konsep bentuk ruang "*space structures*" yang mengalami gaya tarik dan gaya tekan yaitu struktur dalam bentuk tiga dimensional.

Merujuk pada teori-teori diatas struktur yang diterapkan pada konstruksi bambu yang akan disimulasikan terdiri dari dua jenis struktur yang pertama struktur *space frame* dan *space truss*.

Definisi dari bangunan bentang lebar sendiri adalah bangunan yang memiliki lebar ruang  $\geq 20\text{m}$  tanpa kolom ditengahnya.<sup>46</sup> Maka lebar bentang yang akan disimulasikan dimulai dari 20 m.

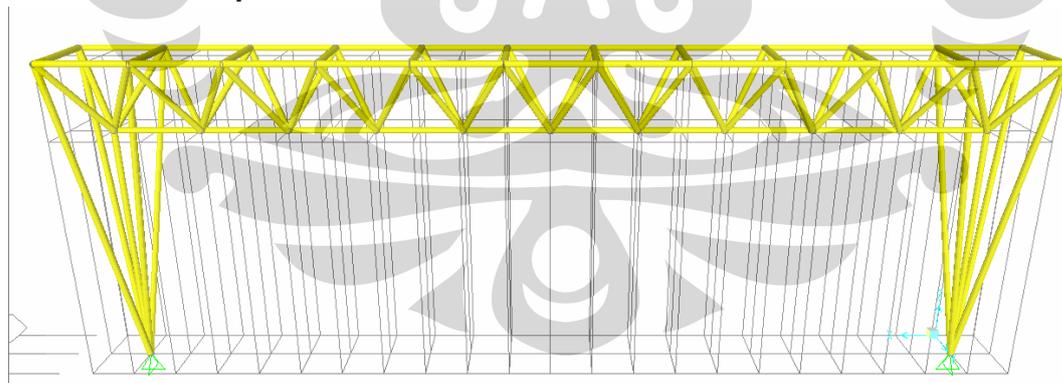
Bambu merupakan bahan bangunan yang dapat digunakan untuk konstruksi rangka batang jarak titik simpulnya  $\leq 2.00$  m. Hal ini disebabkan karena bambu memiliki ukuran yang tidak sama dari pangkal hingga ujung, pada jarak 2.00 m bambu masih memiliki ukuran yang sama. Dengan dasar ini 2.00 m menjadi ukuran jarak antar simpul yang diterapkan pada model yang akan disimulasikan.

### Struktur Bangunan yang akan disimulasikan

- a) Struktur *Space Frame*
- b) Struktur *Space Truss*

### Analisis Hasil Simulasi Komputer

#### IV.2.2 Struktur *Space Frame*



Gambar 4.31. Kontruksi *Space Frame* Bambu

Lebar bentang: 20m, 24m, 28m, 32m, 36m, 40m

Jarak antar simpul 2m

<sup>46</sup>Daniel L Schodek, *Struktur*: membahas mengenai struktur pada bangunan, Penerbit Refika Aditama, Bandung, 1998.

Tabel 4.17. Gaya-gaya Maksimal yang Bekerja Pada Batang Struktur *Space Frame* Berdasarkan Hasil Simulasi

No.	Jenis Konstruksi	Lebar Bentang (cm)	Jarak Simpul (cm)	Gaya Batang (kg/cm <sup>2</sup> )		Lendut Max(cm)
				Tarik Maksimum	Tekan Maksimum	
1	Space Frame	2000	200	659	411	0,1
2	Space Frame	2400	200	681	452	-0,5
3	Space Frame	2800	200	917	559	-0,9
4	Space Frame	3200	200	1159	605	-3
5	Space Frame	3600	200	1400	943	-2,1
6	Space Frame	4000	200	1770	1666	-3,1

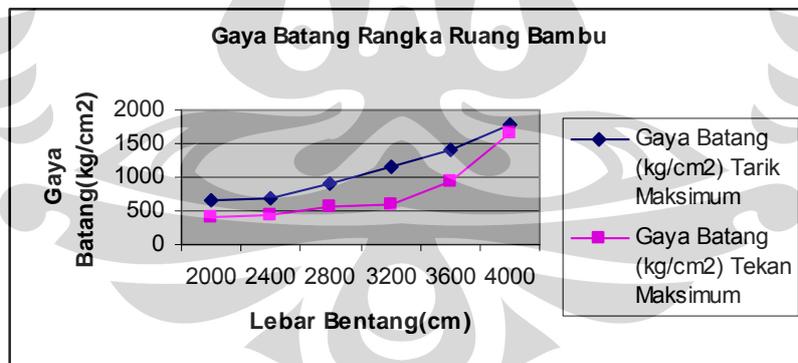
Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

### A. Analisis Gaya Tarik yang Bekerja pada Batang

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa pada struktur *space frame* ini gaya tarik maksimal yang berkerja dibatang selalu memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan gaya tekannya.

Struktur *space frame* yang akan disimulasikan mulai dari bentang 20 m-40 m gaya tarik maksimal yang terjadi 545kg/cm<sup>2</sup>-2461kg/cm<sup>2</sup> jika dibandingkan dengan kekuatan tarik bambu 2944,25kg/cm<sup>2</sup>, gaya tarik maksimal yang bekerja pada batang masih dapat diterima oleh material bambu.

### B. Analisis Gaya Tekan yang Bekerja pada Batang



Gambar 4.32. Gaya Batang Rangka Ruang Bambu

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Mulai pada bentang 36m besar gaya yang terjadi pada batang sudah melebihi kekuatan tekan bambu yang dapat diterima oleh bambu.

Pada grafik diatas dapat dilihat perbandingan nilai gaya tekan pada struktur *space frame* selalu berada dibawah gaya tariknya.

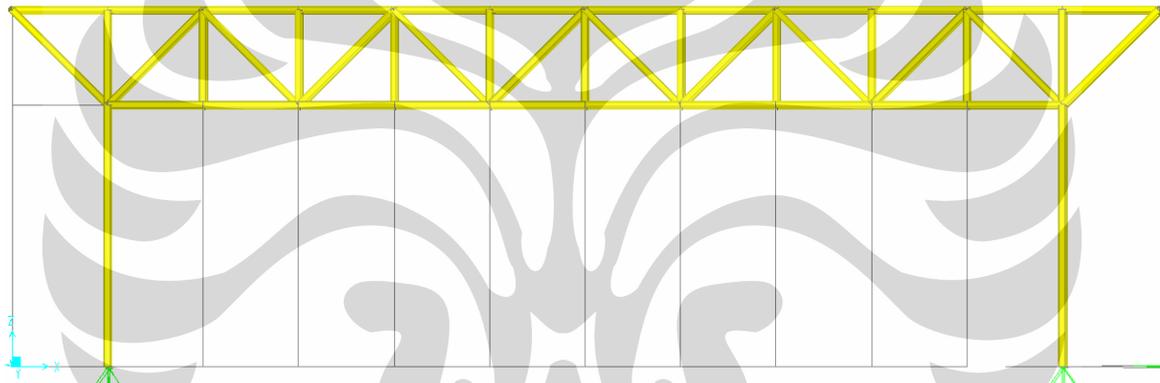
### C. Analisis Lendutan yang terjadi pada Struktur

Seiring dengan lebarnya bentang angka kelendutannya juga mengalami kenaikan. Besar lendutan yang terjadi pada struktur pada bentang 20-40m memiliki nilai 0.1-3.1cm, nilai ini masih berada dibawah tegangan yang diizinkan yaitu 6.3-13.3cm.

$$\text{Tegangan yang diizinkan} = \frac{\text{Lebar Bentang (cm)}}{300}$$

Struktur tidak dapat mengalami lendutan yang melebihi batas lendutan yang diizinkan. Maka besar lendut masih diizinkan dialami konstruksi pada bentang 20-40m adalah 6,3cm-13,3cm.

#### IV.2.3. Struktur Space Truss



Gambar 4.33. Kontruksi Space Truss Bambu

Lebar Bentang 20m, 24m, 28m, 32m, 36m, dan 40m  
Jarak simpul 2m

Tabel 4.18. Gaya-gaya Maksimal yang Bekerja Pada Batang Struktur Space Truss Berdasarkan Hasil Simulasi

No.	Jenis Bentang	Lebar Bentang (cm)	Jarak Simpul (cm)	Gaya Batang(kg/cm <sup>2</sup> )		Lendut Maksimum (cm)
				Tarik Maksimum	Tekan Maksimum	
1	Space Truss	2000	200	567	548	0,2
2	Space Truss	2400	200	780	800	0,5
3	Space Truss	2800	200	1165	1087	1
4	Space Truss	3200	200	1679	1676	1,8
5	Space Truss	3600	200	2398	2400	3
6	Space Truss	4000	200	3320	3346	5,5

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

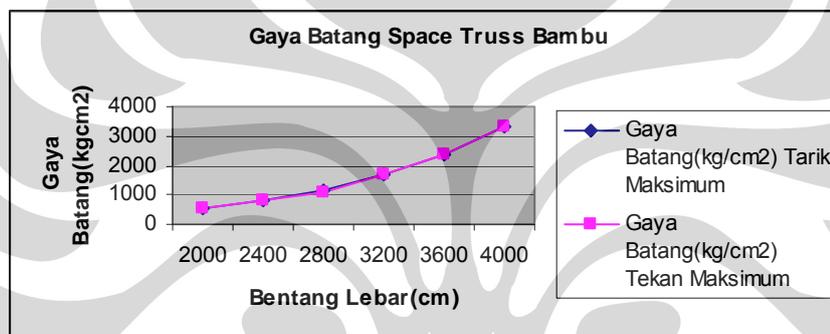
### A. Analisis Gaya Tarik yang Bekerja pada Batang

Pada tabel diatas dapat kita lihat besar gaya tekan dan gaya tarik yang berkerja pada struktur *space truss* jika dibanding besarnya kedua gaya tersebut memiliki besar yang relatif sama, maka setiap batang-batangnya mengalami kuat taik dan tekan yang seimbang.

Struktur *space truss* mulai dari bentang 20 - 40m gaya tarik maksimal yang terjadi  $710\text{kg/cm}^2$ - $3320\text{kg/cm}^2$  jika dibandingkan dengan kekuatan tarik bambu  $2944.25\text{kg/cm}^2$ , maka gaya tarik maksimal yang bekerja pada batang masih saat mencapai bentang 40 m melebihi kekuatan tarik dari bambu.

Gaya tarik pada batang yang masih bisa diterima oleh kekuatan tarik bambu adalah  $2398\text{kg/cm}^2$  terjadi pada saat mencapai bentang 36m.

### B. Analisis Gaya Tekan yang Bekerja pada Batang



Gambar 4.34. Gaya batang Space Truss Bambu  
Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Mulai pada bentang 24m besar gaya yang terjadi pada batang sudah melebihi kekuatan tekan bambu yang dapat diterima oleh bambu.

### C. Analisis Lendut yang Terjadi pada Struktur

Lendutan yang terjadi pada struktur mulai dari bentang 20 - 40m turun sebanyak 0.26cm-5cm sedangkan lendutan yang masih diizinkan adalah 6.3cm-13.3cm, maka struktur ini tidak mengalami lendutan yang melebihi lendut yang diizinkan.

#### IV.2.4 Perbandingan Besar Gaya-Gaya yang Terjadi pada Batang

Tabel 4.19. Perbandingan Gaya yang Terjadi Pada Batang Struktur *Space Frame* dan *Space Truss*

No.	Lebar Bentang	Jarak Simpul	Gaya Batang Konstruksi <i>Space Frame</i> (kg/cm <sup>2</sup> )		Gaya Batang Konstruksi <i>Space Truss</i> (kg/cm <sup>2</sup> )	
			Tarik Maksimum	Tekan Maksimum	Tarik Maksimum	Tekan Maksimum
1	2000	200	659	411	567	548
2	2400	200	681	452	780	800
3	2800	200	917	559	1165	1087
4	3200	200	1159	605	1679	1676
5	3600	200	1400	943	2398	2400
6	4000	200	1770	1666	3320	3346

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Pada tabel diatas jika dibandingkan besar gaya tarik dan gaya tekan yang bekerja antara kedua struktur. Pada konstruksi *space truss* nilai gaya tarik dan gaya tekan memiliki besar yang hampir sama sedangkan pada Konstruksi *space frame* besar Gaya tekan selalu berada dibawah gaya tariknya. Dan gaya yang bekerja pada batang struktur *space truss* cenderung lebih besar dibandingkan dengan gaya yang berkerja pada struktur *space frame*.

Pada lebar bentang 40m gaya tarik yang terjadi pada batang konstruksi *space truss* sudah melebihi kekuatan tarik maksimal yang dapat diterima material bambu.

Material bambu memiliki kekuatan tarik yang besar dibandingkan kekuatan tekannya maka struktur yang dapat diterapkan adalah struktur yang batang-batangnya mengalami batang tarik.

Jika dilihat dari hasil simulasi diatas maka bahan material bambu dapat mencapai lebar bentang yang lebih besar saat diterapkan pada struktur *space frame*.

#### IV.2.5 Perbandingan Besar Lendutan yang Terjadi pada Struktur

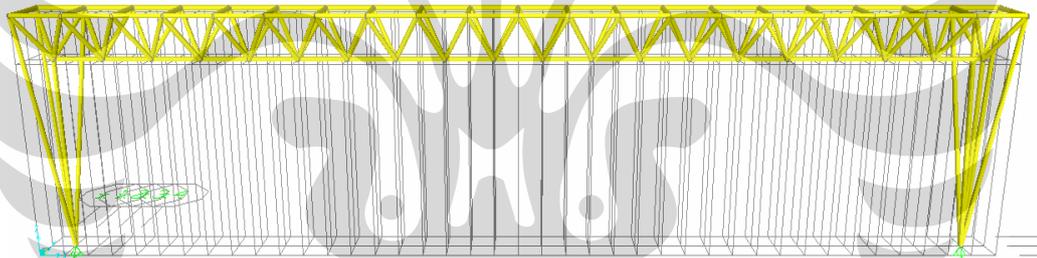
Tabel 4.20. Perbandingan Lendutan yang Terjadi Pada Batang Struktur *Space Frame* dan *Space Truss*

No.	Lendut Maksimum pada Konstruksi Space Frame (cm)	Lendut Maksimum pada Konstruksi Space Truss (cm)
1	0,1	0,2
2	0,5	0,5
3	0,9	1
4	3	1,8
5	2,1	3
6	3,1	5,5

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Struktur *space truss* mengalami lendutan yang lebih besar dibandingkan besar lendutan yang dialami struktur *space frame* tetapi besar lendutnya tidak melebihi lendutan yang diizinkan.

#### IV.2.6 Struktur Space Frame dengan Jarak Simpul 160 cm



Gambar 4.35. Konstruksi Space Frame bambu dengan jarak simpul 160cm

Setelah melakukan simulasi pada kedua jenis struktur diatas, dapat dilihat struktur yang dapat dimanfaatkan secara maksimal dengan material bambu adalah struktur rangka ruang. Pada struktur rangka ruang ini bentang maksimal yang dapat dicapai adalah 32m karena pada bentang 36m besar gaya tekan yang dialami lebih besar dari kekuatan tekan yang dapat diterima bambu.

Untuk mencapai lebar bentang yang maksimal maka diuji coba dengan merubah jarak simpul.

Struktur rangka ruang (*space frame*) dengan Jarak Simpul 160cm. Jarak simpul tersebut diterapkan pada lebar bentang 32m, 36m dan 40m.

Tabel 4.21 Gaya-gaya Maksimal yang Bekerja Pada Batang Struktur *Space Frame* Dengan Jarak simpul 160cm Berdasarkan Hasil Simulasi

No.	Jenis Konstruksi	Lebar Bentang (cm)	Jarak Simpul (cm)	Gaya Struktur(kg/cm <sup>2</sup> )		Lendut Maksimum (cm)
				Tarik Maksimum	Tekan Maksimum	
1	Space Frame	3200	160	1115	613	-1,8
2	Space Frame	3520	160	1379	925	-2,25
3	Space Frame	2800	160	1698	1497	-3,5

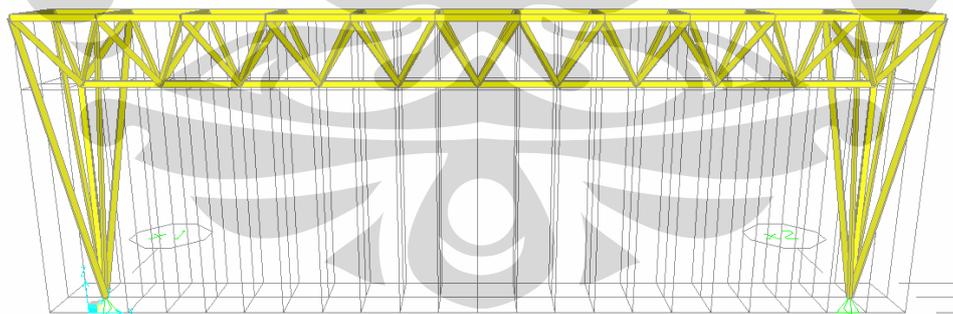
Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Berdasarkan besar gaya yang dihasilkan melalui perhitungan simulasi diatas besar gaya yang dihasilkan tidak mengalami penurunan yang besar pada bentang 36m dan 40m jika dibandingkan dengan jarak simpul 2m besar gaya tekan maksimalnya masih melebihi kuat tekan dari material bambu.

#### IV.2.7 Struktur *Space Frame* Dan *Space Truss* dengan Bahan Material Kayu sebagai Perbandingan

Dilakukan perbandingan dengan kayu mutu II untuk melihat kemampuan bambu sebagai alternatif, dibandingkan dengan kayu karena bambu dan kayu merupakan bahan bangunan organik.

##### A. Struktur *Space Frame* kayu



Gambar 4.36. Kontruksi *Space Frame* dengan Material Kayu

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Lebar Bentang 20m, 24m, 28m, 32m, 36m, dan 40m

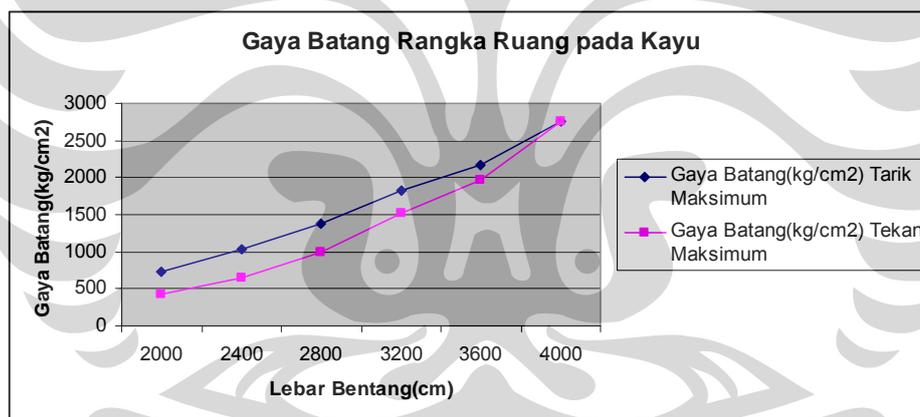
Jarak simpul 2m

Tabel 4.22 Gaya-gaya Maksimal yang Bekerja pada Batang Struktur *Space Frame* berdasarkan Hasil Simulasi

No.	Jenis Bentang	Lebar Bentang (cm)	Jarak Simpul (cm)	Gaya Batang(kg/cm <sup>2</sup> )		Lendut Maksimum
				Tarik Maksimum	Tekan Maksimum	
1	Space Frame	2000	200	733	434	0,2
2	Space Frame	2400	200	1039	648	0,3
3	Space Frame	2800	200	1371	994	0,5
4	Space Frame	3200	200	1821	1511	0,1
5	Space Frame	3600	200	2169	1959	1,16
6	Space Frame	4000	200	2763	2750	1,8

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

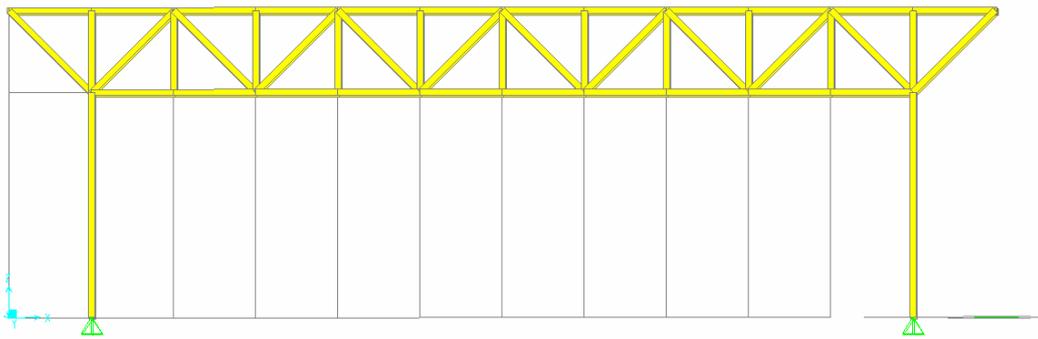
Material kayu kuat mutu II (kuat Tarik 725-1100kg/cm<sup>2</sup> dan kuat tekan 425-650kg/cm<sup>2</sup>) yang dianggap setara dengan kuat bambu diterapkan pada konstruksi *space frame* dapat mencapai bentang 24m karena saat mencapai bentang 28m gaya tarik dan gaya tekan yang dialami oleh batang sudah melebihi kuat tarik dan tekan yang dapat diterima kayu.



Gambar 4.37. Gaya Batang Rangka Ruang pada Kayu

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

### B. Struktur *Space Truss Kayu*



Gambar 4.38. Struktur *Space Frame* Dengan Material Kayu

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

Lebar Bentang 20m, 24m, 28m, 32m, 36m, dan 40m

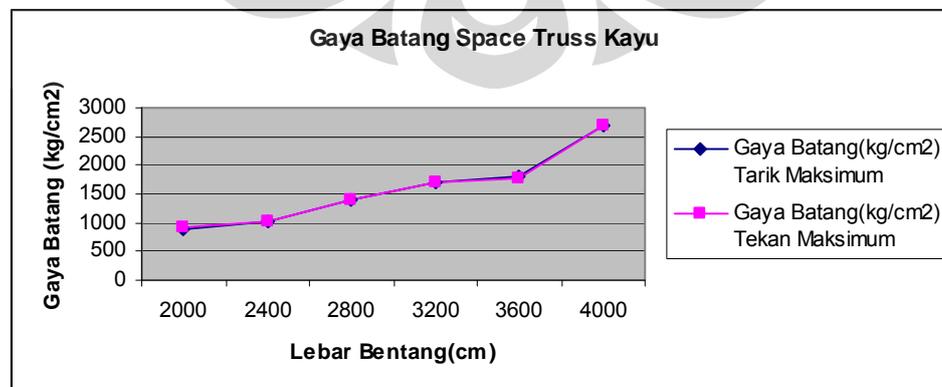
Jarak simpul 2m

Saat diterapkan pada konstruksi *space truss* material kayu tidak dapat mencapai bentang 20m karena gaya tekan yang dialami batang sudah melebihi kuat tekan yang dapat diterima oleh kayu.

Tabel 4.23. Gaya-gaya Maksimal yang Bekerja Pada Batang Struktur *Space Truss* Berdasarkan Hasil Simulasi

No.	Jenis Bentang	Lebar Bentang (cm)	Jarak Simpul (cm)	Gaya Batang(kg/cm <sup>2</sup> )		Lendut maksimal (cm)
				Tarik Maksimum	Tekan Maksimum	
1	Space Truss	2000	200	896	905	0,16
2	Space Truss	2400	200	1024	1024,15	1,13
3	Space Truss	2800	200	1400	1410	2,8
4	Space Truss	3200	200	1696	1698	3,3
5	Space Truss	3600	200	1801	1776	1,4
6	Space Truss	4000	200	2696	2680	1,6

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008



Gambar 4.39. Gaya Batang *Space Truss* Kayu

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2008

#### IV.2.8 Perbandingan Gaya Batang yang dialami antara Kayu dan Bambu pada Struktur *Space Frame* dan *Space Truss*

Jika dibandingkan antara kayu dan bambu saat diterapkan pada struktur *space frame* dan *space truss* besar lendutan yang dialami kayu cenderung lebih rendah.

Lebar bentang yang dapat dicapai kayu lebih kecil dibanding bambu, hal ini salah satunya disebabkan karena bambu memiliki kuat tarik yang lebih besar dari kayu. Maka pada saat kayu diterapkan pada konstruksi *space frame* yang gaya tariknya lebih besar dari gaya tekannya, kayu tidak dapat mencapai bentang yang lebih besar dari bambu.

#### IV.3 Jenis Sambungan

Berdasarkan perhitungan hasil simulasi, dapat diketahui besar setiap gaya-gaya yang bekerja pada batang-batang dan gaya maksimal yang terjadi. Dengan menggunakan gaya maksimal yang terjadi kita dapat membuat jenis sambungan yang sesuai.

Untuk memperhitungkan jumlah sambungan baut dan panjang pelat baja digunakan pendekatan bambu dengan kayu mutu II.

*Pendekatan Kayu Mutu II*

*Golongan II:*

*Sambungan berpenampang satu :  $\dot{S} = 40 db_1 (1 - 0,6 \sin \alpha)^{47}$*

#### IV.4 Perhitungan Sambungan pada Bambu

*Pada bambu elemen sambungan yang menghubungkan bambu dengan material lain, misalnya pelat baja dapat menggunakan sambungan baut dengan lebar diameter baut  $\leq 20$  mm.<sup>48</sup>*

P (gaya tekan max) = 605 kg/cm<sup>2</sup>

A(sudut baut dengan pelat baja) = 0°

b (tebal pelat) = 0,75 cm

- Dengan pendekatan mutu bahan kayu bangunan kayu mutu II:  
 $\dot{S} = 40 db (1 - 0,6 \sin \alpha)$   
 $\dot{S} = 215 d^2 (1 - 0,35 \sin \alpha)$
- Untuk sambungan bambu diameter baut  $\leq 20$  mm.

<sup>47</sup> Ir. K.H.Felix Yap, *Konstruksi Kayu: Sistem sambungan dengan baut pada kayu Mutu II*, Bandung:CV.Trimitra Mandiri,1999.

<sup>48</sup> J.J.A. Janssen, *Bamboo in Building Structures, Disertatie Drukkerij Wibro Helmond*, Eindhoven University of Technology. Netherland, 1981.

1) Untuk (d) diameter 15 mm = 1,5 cm (t) tebal plat = 0,75 cm

$$\dot{S} = 40 \text{ db } (1 - 0,6 \sin \alpha)$$

$$\dot{S} = 40 (0,75) (1,5) (1 - 0,6 \sin \alpha)$$

$$\dot{S} = 45 \text{ kg}$$

*Jika pada sambungan bertampang satu, salah satu batangnya adalah dari besi (baja) atau pada sambungan bertampang dua pelat-pelat penyambungannya dari besi (baja), maka harga-harga S dalam rumus –rumus tersebut dapat dinaikkan 25%.<sup>49</sup>*

Karena sambungan dengan baja maka  $\dot{S} \text{ total} = \dot{S} + (\dot{S}_{\text{baut}} \times 25\%)$

$$\dot{S} \text{ total} = \dot{S} + (\dot{S}_{\text{baut}} \times 25)$$

$$= \dot{S} + 45$$

$$= 56,25 \text{ kg/cm}^2$$

Maka jumlah baut dengan dibutuhkan 2 penampang baut

$$n \text{ (jumlah baut)} = p/2 \dot{S}$$

$$n \text{ (jumlah baut)} = 605/2 \dot{S}$$

$$= 605/2(56,25)$$

$$= 5,37 \sim 6 \text{ baut}$$

Untuk baut dengan penampang  $d = 18 \text{ mm}$  dan tebal plat  $0,75 \text{ cm}$  ( $1/2$  tebal penampang bambu) maka jumlah baut yang dibutuhkan 6 baut.

2) Untuk diameter baut = 18 mm

$$b \text{ (tebal pelat baja)} = 0,75$$

$$\dot{S} = 40 \text{ db } (1 - 0,6 \sin \alpha)$$

$$\dot{S} = 40 (1,8) (0,75) (1 - 0,6 \sin \alpha)$$

$$\dot{S} = 54 \text{ kg}$$

$$\dot{S} \text{ total} = \dot{S} + (54 \times 25\%)$$

$$= 67,5 \text{ kg}$$

$$\text{Maka } n \text{ (jumlah baut)} = p/2 \dot{S}$$

$$= 605/2 \dot{S} (67,5)$$

$$= 4,48 \sim 5 \text{ baut.}$$

Maka untuk sambungan dengan baut yang memiliki diameter 18 mm dan tebal pelat 0,75. Jumlah baut yang dibutuhkan 5 baut.

3) Untuk diameter baut = 18 mm

$$b \text{ (tebal pelat baja)} = 1 \text{ cm}$$

$$\dot{S} = 40 \text{ db } (1 - 0,6 \sin \alpha)$$

$$\dot{S} = 40 (1,8) (1) (1 - 0,6 \sin \alpha)$$

<sup>49</sup> Ir. K.H.Felix Yap, *Konstruksi Kayu: Sambungan dengan material pendukung menaikan kekuatan material utama*, Bandung:CV.Trimitra Mandiri,1999.

$$\dot{S} = 72 \text{ kg}$$

$$\dot{S} \text{ total} = 72 + (72 \times 25\%)$$

$$= 90 \text{ kg}$$

$$n \text{ (jumlah baut)} = p/2\dot{S}$$

$$= 605/2 (90)$$

$$= 3,36 \text{ baut}$$

$$= 4 \text{ baut.}$$

Maka untuk sambungan dengan baut yang memiliki diameter 18 mm dan tebal pelat 1. Jumlah baut yang dibutuhkan 4 baut.

4) Untuk d (diameter baut) = 20 mm

$$b \text{ (tebal pelat baja)} = 10 \text{ mm}$$

$$\dot{S} = 40 \text{ db } (1 - 0,6 \sin \alpha)$$

$$\dot{S} = 40 (2) (1) (1 - 0,6 \sin \alpha)$$

$$\dot{S} = 80 \text{ kg}$$

$$\dot{S} \text{ total} = \dot{S} + (\dot{S} \times 25\%)$$

$$= 80 + (80 \times 25\%)$$

$$= 100 \text{ kg}$$

$$n \text{ (jumlah baut)} = p/2 \dot{S}$$

$$= 605/2 (100)$$

$$= 3 \text{ baut.}$$

Maka jumlah baut yang dibutuhkan pada sambungan dengan baut berdiameter 1 cm dan tebal pelat 1 cm. Jumlah baut yang dibutuhkan adalah 3 baut.

*Penempatan baut-baut harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut*

*Arah gaya sejajar dengan arah serat kayu*

*Jarak minimum: antara sumbu baut dan ujung kayu (kayu muka) yang dibebani 7 d dan  $> 10d^{50}$*

jarak antar Baut

Jika diameter baut 15mm

Maka jarak antar baut

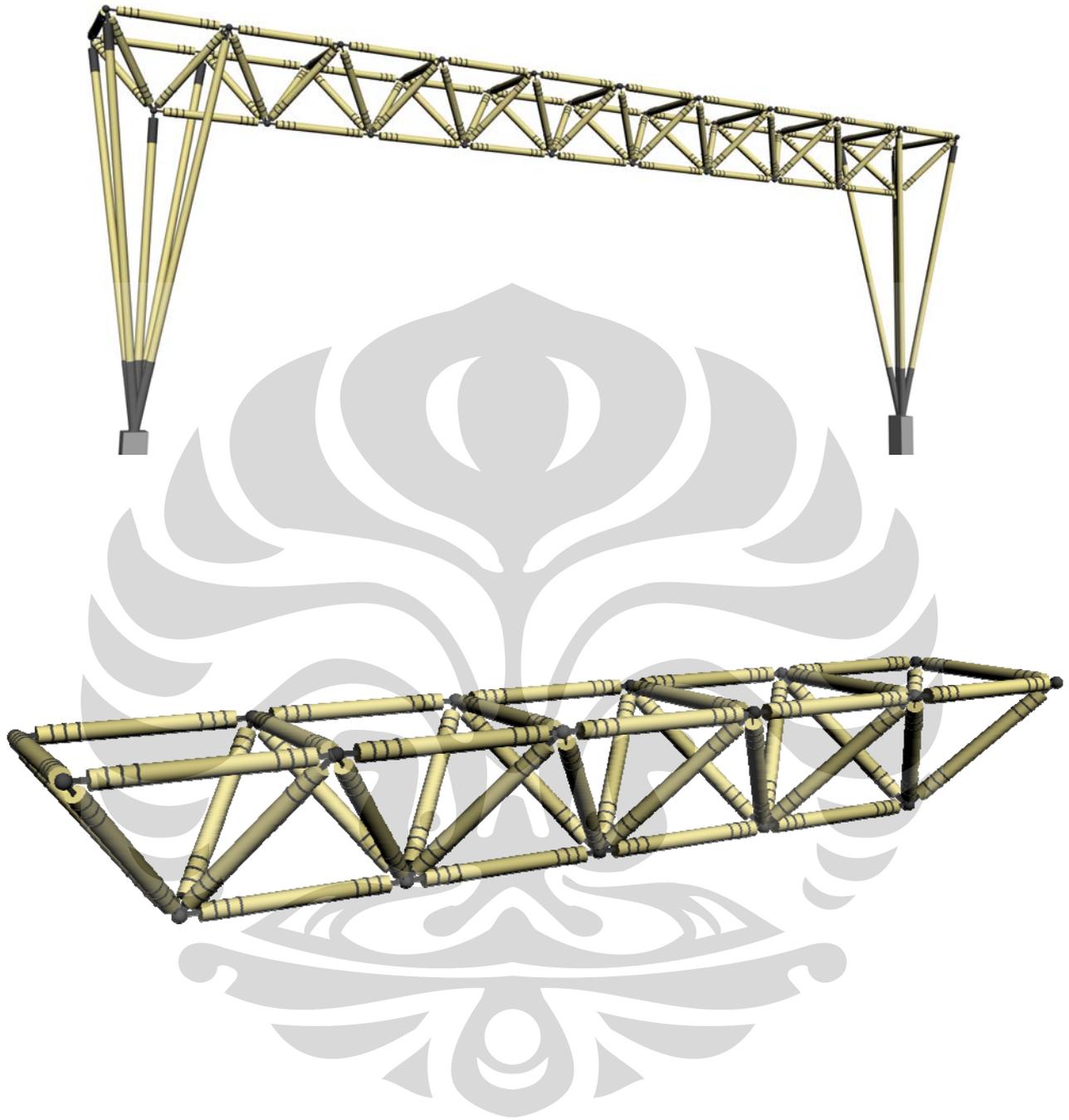
$$=7d \text{ dan } >10d$$

$$=7[1,5]\text{cm dan } >10[1,5]\text{cm}$$

$$=10,5\text{cm dan } >15\text{cm}$$

<sup>50</sup> Ir. K.H.Felix Yap, *Konstruksi Kayu*: Jarak setiap baut berdasarkan gaya yang bekerja pada batang, Bandung:CV.Trimitra Mandiri,1999.

#### IV.5 Desain Sambungan



#### IV.6 Kesimpulan Uji Laboratorium dan Simulasi Komputer Program SAP2000:

1. Berdasarkan hasil uji laboratorium sifat mekanis bambu, bambu memiliki kuat tarik yang lebih besar dari tekan. Bambu memiliki kelenturan yang tinggi.
2. Jika dibandingkan dengan sifat mekanis kayu, bambu memiliki kuat tarik dan kelenturan yang lebih besar.
3. Kekuatan bambu setara dengan kekuatan kayu mutu II.
4. Berdasarkan hasil simulasi SAP2000, bambu dapat mencapai bentang lebih besar saat diterapkan pada struktur *space frame* dibandingkan dengan struktur *space truss*.
5. Pada struktur *space frame* besar gaya tarik yang dialami batang lebih besar dari gaya tekannya.
6. Pada struktur *space truss* gaya tekan yang dialami batang cenderung memiliki besar yang sama.
7. Dengan struktur *space frame* bambu dapat mencapai bentang maksimal 32m dengan jarak simpul 2m.
8. Dengan jenis struktur *space frame* dan *space truss* bambu dapat mencapai lebar bentang yang lebih besar jika dibandingkan dengan kayu.
9. Menurunkan jarak simpul tidak berpengaruh besar terhadap turunnya gaya tarik dan gaya tekan yang dialami struktur *space frame*.
10. Bambu dapat menjadi alternatif bahan bangunan yang menggantikan kayu.
11. Dengan material pendukung bambu dapat dikembangkan menjadi konstruksi sambungan untuk struktur bentang lebar *space frame*.
12. Dengan mengetahui kuat tekan bambu kita dapat menentukan jumlah baut yang dibutuhkan untuk setiap sambungan bambu.
13. Karena memiliki kuat tarik yang lebih besar dari kuat tekan maka bambu dapat maksimal jika diterapkan pada sistem struktur yang mengalami gaya tarik yang lebih besar dari gaya tekannya.
14. Bambu memiliki berat jenis yang lebih ringan jika dibandingkan kayu.
15. Bambu dapat diterapkan menjadi bahan konstruksi bangunan pada struktur bentang lebar.
16. Material pendukung pada sambungan bambu menambah daya dukung terhadap bahan material bambu.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### V.1 Kesimpulan

#### V.1.1 Kesimpulan Menjawab Pertanyaan Penelitian

Pada penelitian ini untuk menjawab pertanyaan penelitian dilakukan percobaan pada laboratorium dan simulasi dengan menggunakan program komputer *SAP2000* dari penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Untuk menjawab lebar bentang yang dapat dicapai dengan menggunakan konstruksi bambu pertama dilakukan uji kuat tarik, tekan dan lentur dari bambu dari percobaan tersebut didapat beberapa data yaitu bambu memiliki kuat tarik yang lebih besar dibandingkan kuat tekannya. Maka dengan menggunakan data hasil percobaan tadi dilakukan simulasi dengan program komputer *SAP2000*. Berdasarkan beberapa literatur, dilakukan simulasi pada dua sistem struktur bentang lebar yang dapat diterapkan pada bambu yaitu struktur *space frame* Dan *space truss*. Pada struktur *space frame* lebar bentang maksimal yang dapat dicapai dengan konstruksi sambungan bambu (*ball joint*) yang memiliki jarak simpul 2m adalah 32m sedangkan dengan struktur *space truss* lebar bentang maksimal yang dapat dicapai adalah 20meter. Hal ini dikarenakan pada struktur *space frame* gaya tarik yang dialami batangnya lebih besar dari gaya tekannya dengan kata lain batangnya adalah batang tarik sedangkan pada *space truss* batangnya mengalami gaya yang seimbang antara gaya tarik dan tekannya. Maka dari itu bambu akan mencapai bentang maksimal jika diterapkan pada struktur *space frame* yaitu 32m karena bambu memiliki kuat tarik yang lebih besar dari kuat tekannya.
2. Kemudian penelitian dilanjutkan dengan membuat jenis sambungan yang dapat dibuat. Menggunakan data yang didapat pada simulasi komputer program *SAP2000* dapat membantu menentukan jumlah baut yang dibutuhkan dengan diameter tertentu dan jarak perletakan baut tersebut. Konstruksi sambungan *ball joint* bambu pada struktur *space frame* yang akan dibuat dengan ukuran baut berdiameter 15mm dibutuhkan jumlah baut 6 buah dan setiap antar baut memiliki jarak 105mm. Jenis sambungan yang dapat dibuat dengan menggunakan material pendukung yaitu baja sebagai simpul pada struktur *space frame* dengan material utama bambu.

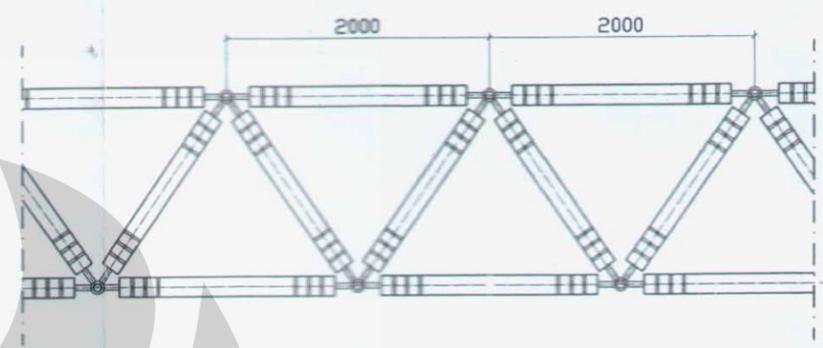
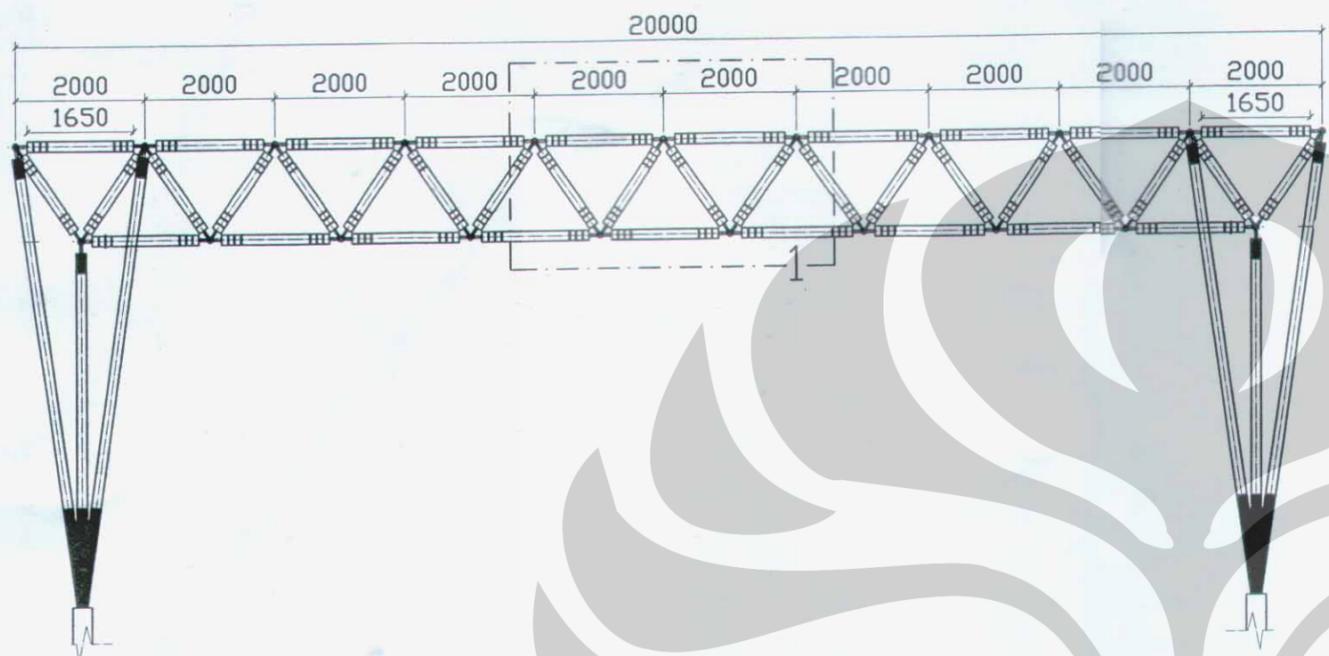
3. Pada penelitian ini juga dilakukan perbandingan bambu dan kayu pada struktur bentang lebar. Bambu dengan menggunakan struktur *space frame* dapat mencapai bentang yang lebih lebar dibandingkan kayu.

#### **V.1.2 Kesimpulan dari Hipotesis:**

1. Lebar Bentang maksimal yang dapat dicapai konstruksi bambu pada struktur bentang lebar dengan menggunakan struktur *space frame* dapat mencapai lebih dari 20m yaitu 32m. Hipotesis yang dilakukan sebelumnya terbukti.
2. Dengan menggunakan bahan material pendukung baja dapat menambah kekuatan sambungan bambu, karena gaya yang bekerja pada simpul diterima oleh simpul baja yang kemudian baru disalurkan menuju batang-batangnya. Hipotesis yang dilakukan sebelumnya terbukti.

#### **V.2 Saran**

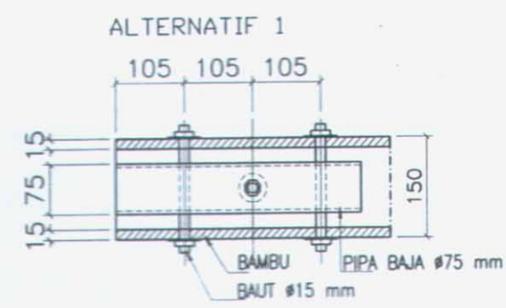
1. Agar bambu dapat mencapai lebar yang maksimal sebaiknya diterapkan pada sistem struktur yang mengalami gaya tarik lebih besar dibandingkan gaya tekannya, seperti struktur *space frame*. Karena bambu memiliki kuat tarik yang lebih besar dibandingkan kuat tekannya.
2. Jarak antar simpul pada konstruksi sambungan bambu sebaiknya tidak lebih dari dua meter karena bambu memiliki diameter yang relatif sama pada ukuran tersebut.
3. Bambu yang baik untuk digunakan sebagai bahan konstruksi antara lain adalah, bambu Betung, bambu Tali, dan bambu Tali karena memiliki sifat mekanis dan fisis yang baik setara dengan kayu mutu II.



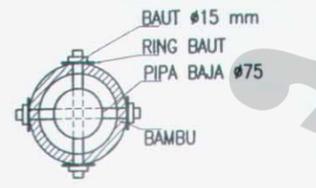
DETAIL 1  
SKLALA 1 : 40

KONSTRUKSI RANGKA RUANG  
SKLALA 1 : 100

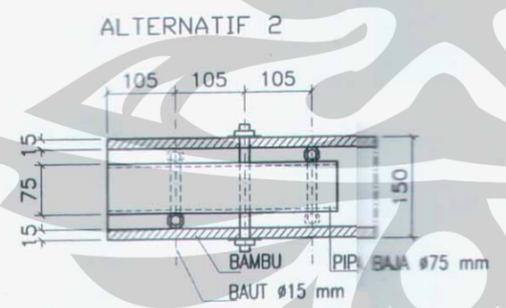
ALTERNATIF PEMASANGAN BAUT



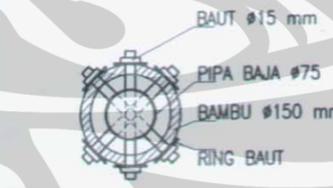
POTONGAN MELINTANG  
SKLALA 1 : 10



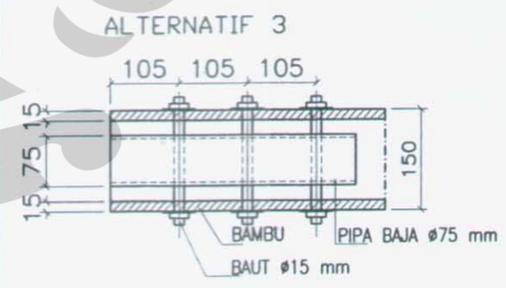
POTONGAN PENAMPANG  
SKLALA 1 : 10



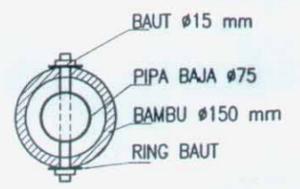
POTONGAN MELINTANG  
SKLALA 1 : 10



POTONGAN PENAMPANG  
SKLALA 1 : 10



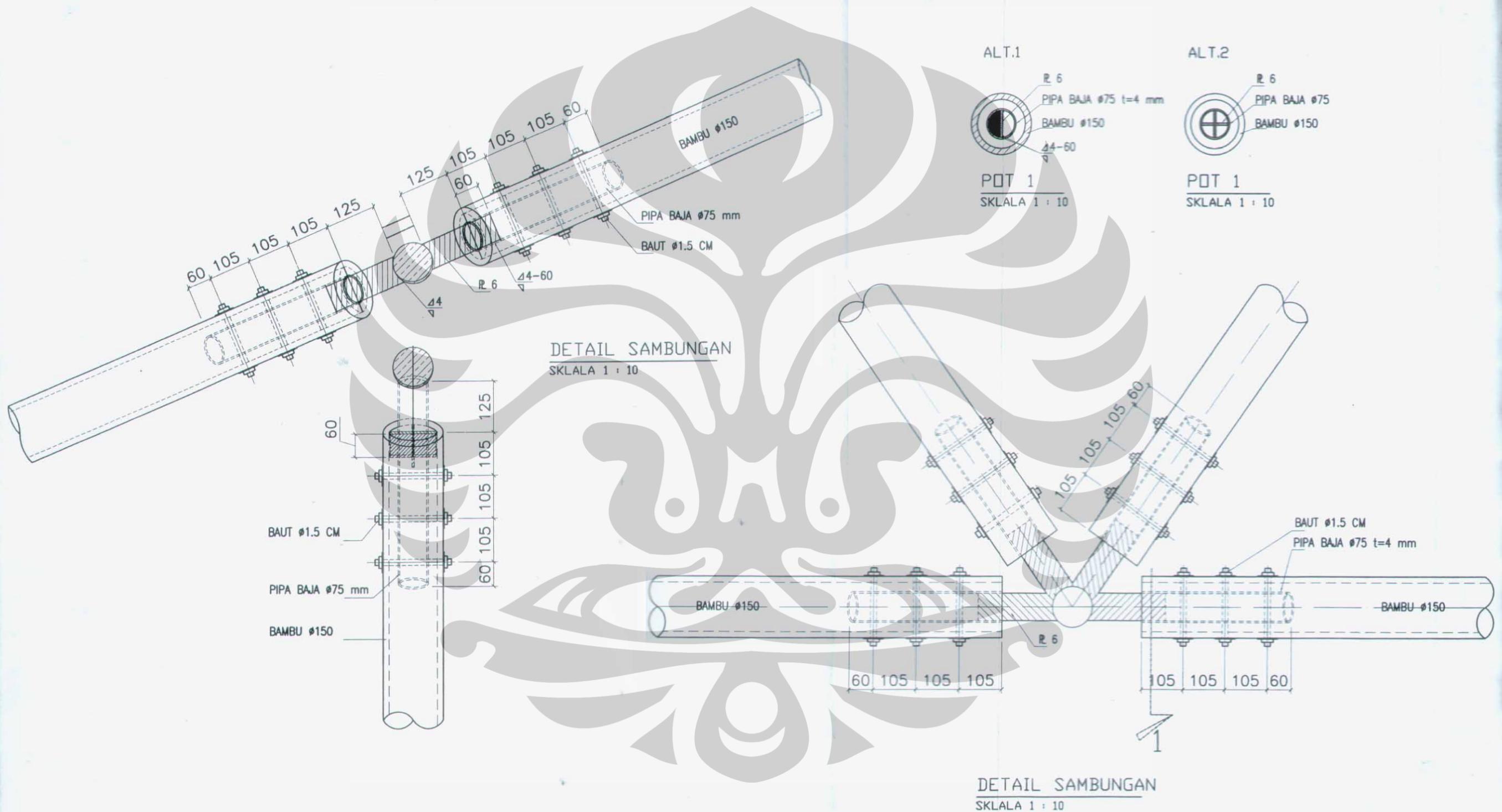
POTONGAN MELINTANG  
SKLALA 1 : 10



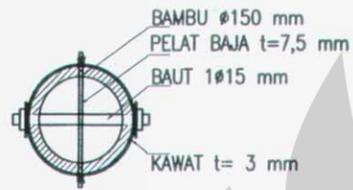
POTONGAN PENAMPANG  
SKLALA 1 : 10

a

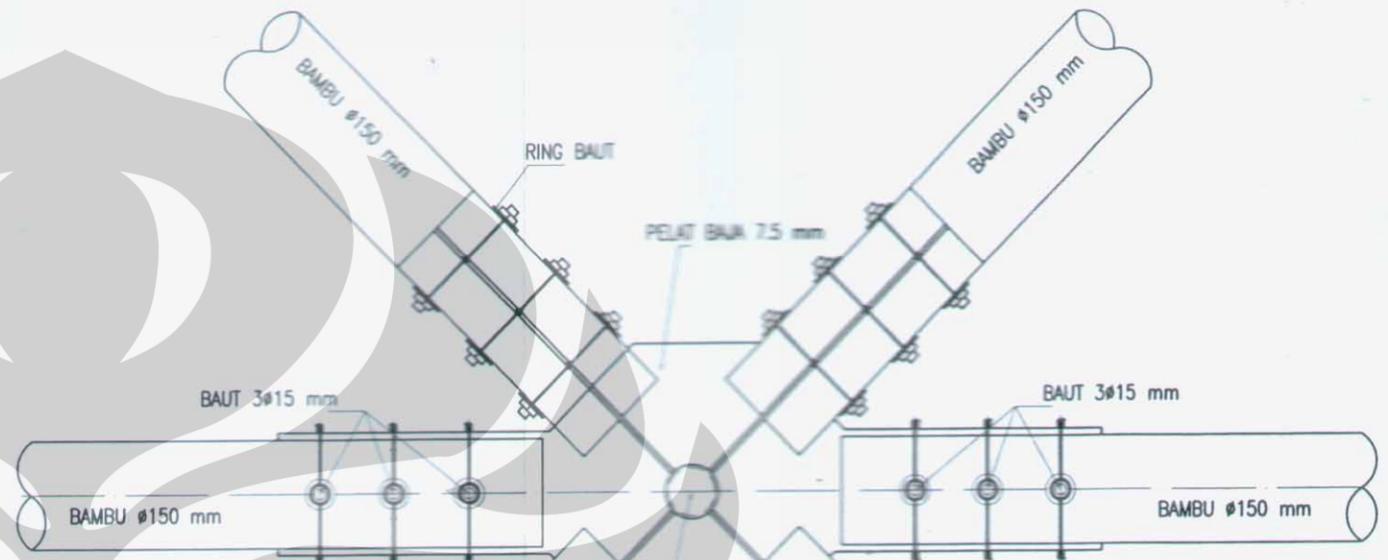
# ALTERNATIF 1 (SAMBUNGAN)



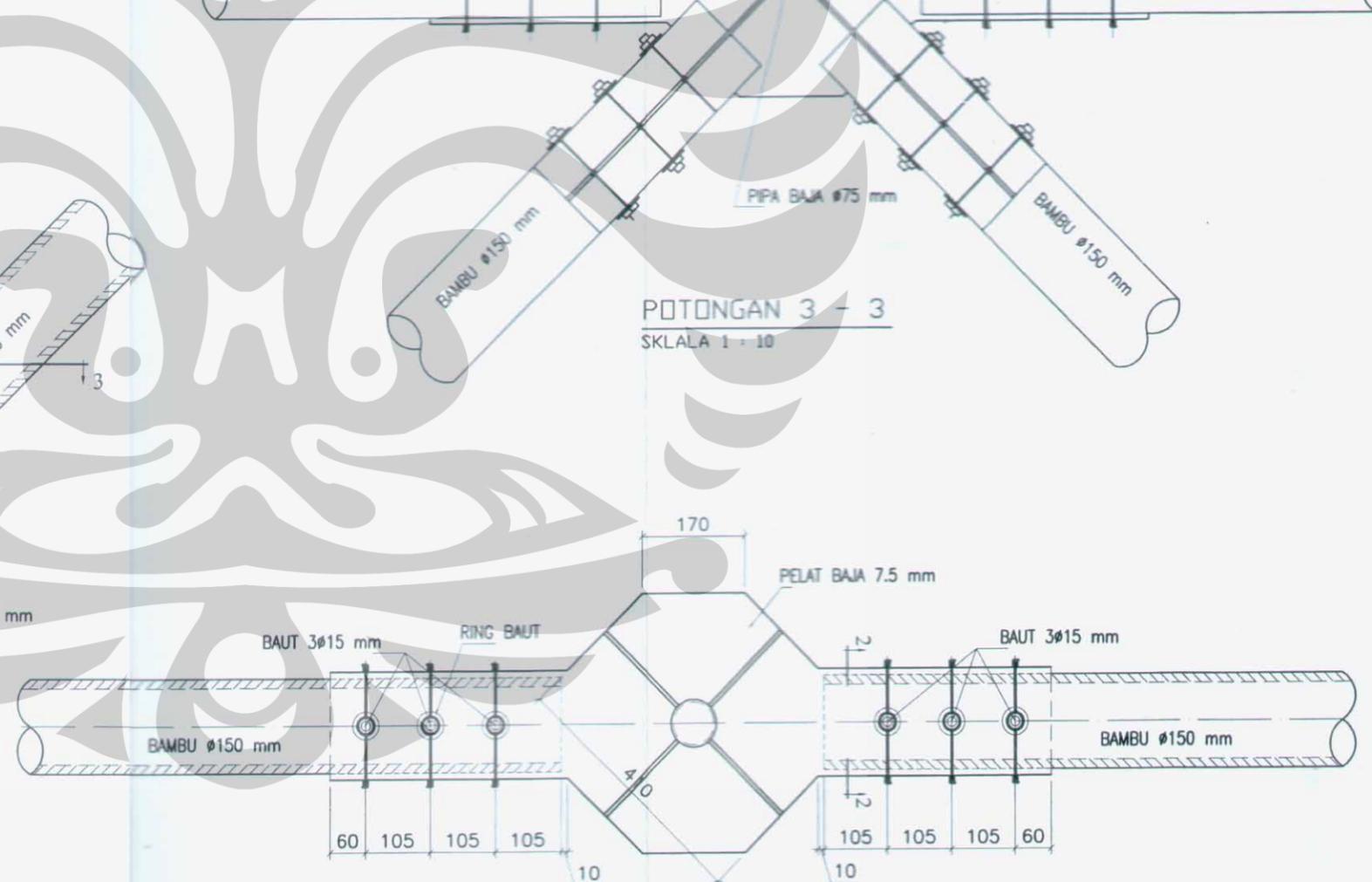
# ALTERNATIF 2 (SAMBUNGAN)



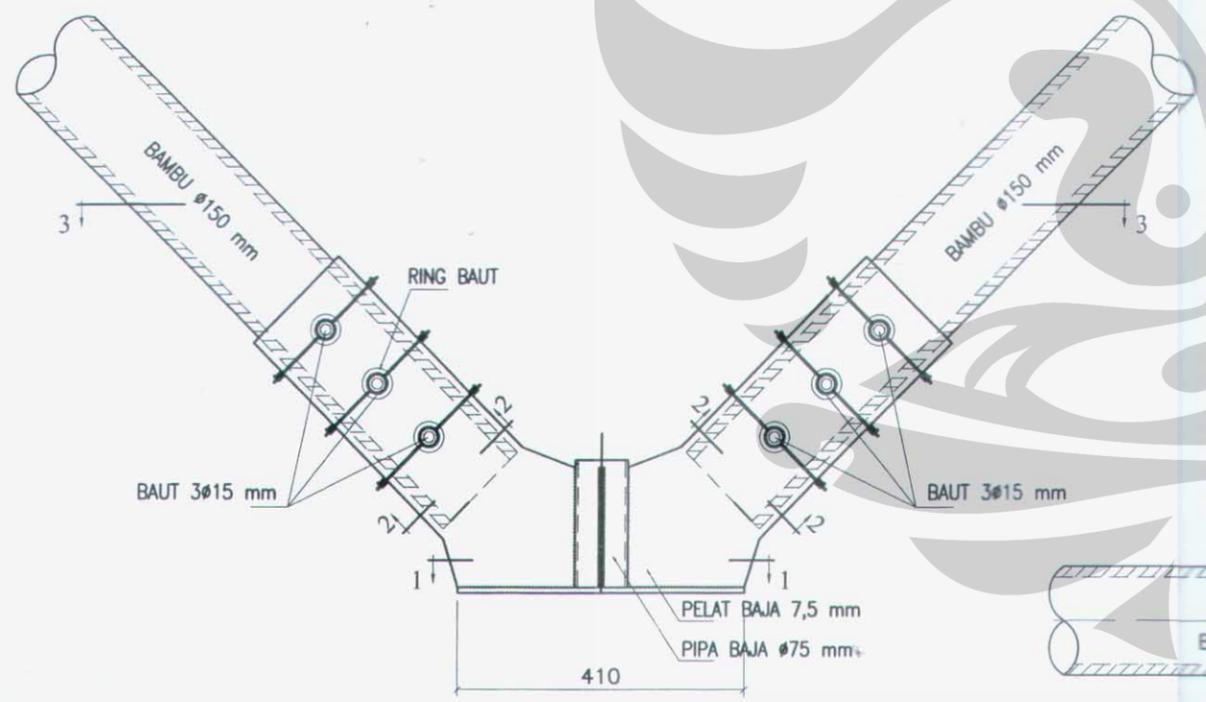
POTONGAN 2 - 2  
 SKLALA 1 : 10



POTONGAN 3 - 3  
 SKLALA 1 : 10



POTONGAN 1 - 1  
 SKLALA 1 : 10



DETAIL SAMBUNGAN  
 SKLALA 1 : 10

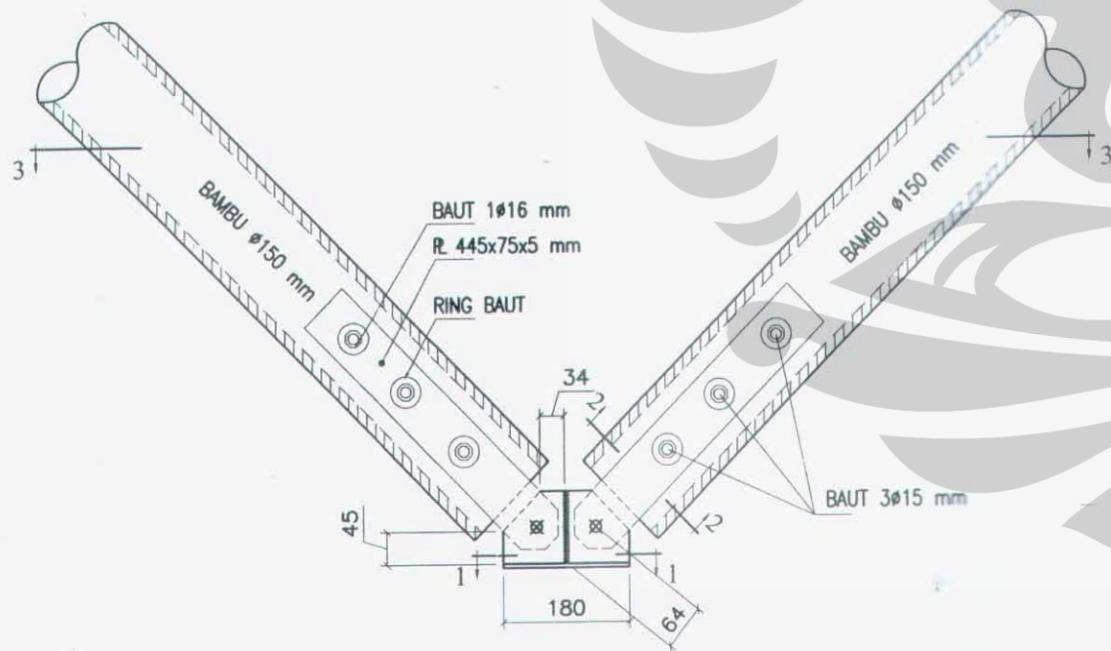
# ALTERNATIF 3 (SAMBUNGAN)



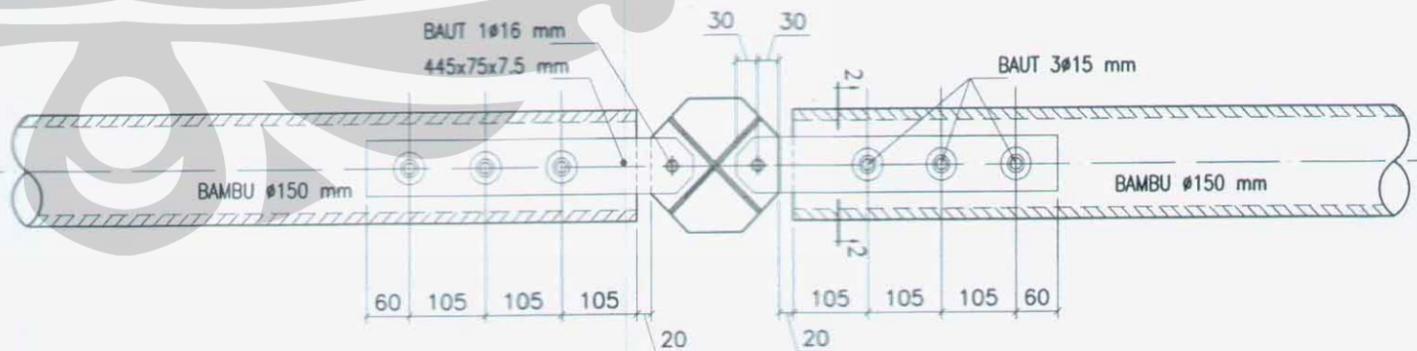
POTONGAN 2 - 2  
SKLALA 1 : 10



POTONGAN 3 - 3  
SKLALA 1 : 10



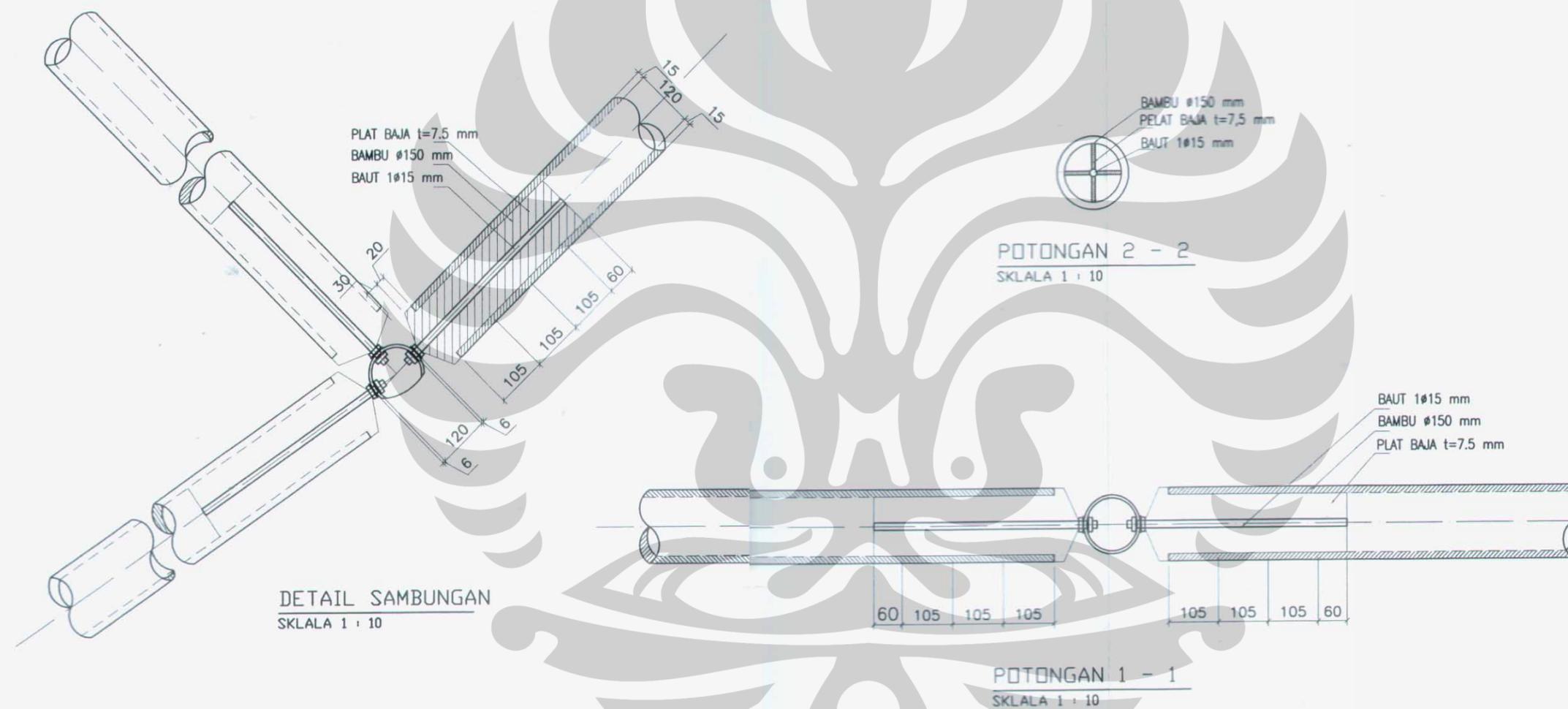
DETAIL SAMBUNGAN  
SKLALA 1 : 10



POTONGAN 1 - 1  
SKLALA 1 : 10

d

# ALTERNATIF 4 (SAMBUNGAN)



## DAFTAR PUSTAKA

- Aenudin. (1995). **Beberapa Sifat Rekayasa Balok Bentuk Laminasi Bambu Betung**. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Barly. (1999). **Pengawetan Bambu Untuk Bahan Konstruksi Bangunan Dan Mebel**. Badan Penelitian Dan Pengembangan Kehutanan dan Perkebunan Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan dan Sosial Ekonomi Kehutanan. Bogor.
- Batubara, Ridwanti. (1997). **Pemanfaatan Bambu di Indonesia**, Faklutas Pertanian Program Ilmu Kehutanan Universitas Sumatra Utara.
- Boen, Teddy. (1978). **Manual Bangunan Tahan Gempa**. Jakarta
- Breyer D.E. (1980). **Design of Wood Structure**. Mc Grow Hill, USA.
- Budi Basuki. (1985). **Anyaman Bambu**. Edisi ke – 2. PT. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Cuypers, J.C.M.M et al. (1999). **Ilmu Bangunan 3**. edisi ke – 3. Erlangga, Jakarta.
- Dransfield, S./Widjaja E.A. (ed) (1995). **Bamboos. Plant Resources of South-East Asia. Vol. 7**. Prosea, Bogor.
- Fang H. Y. and H. C. Mehta. (1978). **Sulfur-Sand Treated for Reinforcing Structural Concrete**. New Use of Sulfur II. Advance in Chemistry Series 165. American Chemical Society. Washington D.C.
- Farrelly, David. (1996). **The Book of Bamboo**. Thames & Hudson, London
- Frick, Heinz, (2004). **Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu**, Penerbit Kanisius, Yogyakarta
- Frick, Heinz. (1997). **Pola Structural dan Teknik Bangunan di Indonesia**, Kanisius, Yogyakarta.
- Frick, Heinz/FX. Bambang Suskiatno. (1998). **Dasar-Dasar Eko-Arsitektur**. Kanisius, Yogyakarta.
- Frick, Heinz/Koesmartadi, Ch. (2004) **Ilmu Konstruksi Bangunan Kayu**. Kanisius, Yogyakarta.
- Frick, Heinz/Purwanto, MF. (1998) **Sistem Bentuk Struktur Bangunan**. Kanisius, Yogyakarta.
- Frick, Heinz/Setiawan, Pujo L. (2001). **Ilmu Konstruksi Struktur Bangunan**. Kanisius, Yogyakarta.
- Halimi. A.R. (1995). **Studi Sifat Fisis dan Mekanis Bambu Betung (*Dendrocalamus asper* (Schulf.f) BackerEx Heyne) dari Tempat Tumbuh**

- yang Berbeda.** Skripsi jurusan Teknologi Hasil Hutan.Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.
- Hamzuri. **Rumah Tradisionil Jawa.** n.d. Jakarta.
  - Haygreen. J. G. dan J. L. Bowyer. 1982. **Forest Product and Wood Science,** An Introduction. The Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA.
  - Heyne, K. (1987). **Tumbuhan Berguna Indonesia. Terjemahan jilid I.** Yayasan Sarana Wana Jaya.Jakarta, Hal.343-344.
  - Hidalgo, A.O. (1992). **Technologies Development in Colombia in The Bamboo Housing Construction Field.** Di dalam: International Symposium on industrial use of bamboo. Bamboo and it use.Beijing.
  - International Symposium on industrial use of bamboo (ed.). (1992). **Bamboo and its use. Seminar Proceedings.** International tropical timber organization, Beijing.
  - I.V.Rawamanuja Rao, R.Gananaharan, Cherla B.Sastry. (1990). **Bamboos Current Research.** The Kerala Forest Research Institute. India.
  - Janssen, Jules A. **Bamboo in Building Structures.**
  - \_\_\_\_\_ . (1995). **Building with Bamboo. edisi ke-2.** London.
  - \_\_\_\_\_ . (1980). **The Mechanical Properties Of Bamboo Research in Asia, Singapore 28-30 Mei1980.** Intenational Development Research Centre, Ottawa, Kanada.
  - \_\_\_\_\_ . (1981). **Bamboo in Building Structures. Disertatie Drukkerij Wibro Helmond.** Eindhoven University of Technology. Netherland.
  - Kisho Kurokawa. (2002) . **Oita Stadium, Oita, Edition Axel Mangers, Japan.** London.
  - Ken Yeang, . (2000) .**The Green Skyscraper:The Basis for Designing Sustainable Intensive Buildings.**Prestel.
  - Liese, W. (1988). **Bamboo as an Alternative Material in the Content of Workshop in Cochin,** India, PP.350.
  - Lyall, Sutherland. (2006). **Master of Structure.** PT Raja Grafindo Persada. Jakarta.
  - Macdonald Angus J. (2002). **Struktur dan Arsitektur.edisi ke-2.** Erlangga, Jakarta.
  - Morisco. (1996). **Bambu sebagai Bahan Rekayasa.** Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta

- Mubiantie, Relina Wahyu. (2002). **Bambu Material Alternatif Rangka Konstruksi Bangunan**, Departement Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- N.I-18. (1976). **Peraturan Muatan Indonesia.edisi ke-2**. Yayasan Lembaga penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Nandika, D.,J.R. Matangaran dan IGK. T. Darma. (1994). **Keawetan dan Pengawetan Bambu dalam Widjaja et. al : Strategi Penelitian Bambu Indonesia** .Sarasehan Penelitian Bambu Indonesia di Puspitek Serpong tanggal 21-22 Juni 1994.Penerbitan Yayasan Bambu Lingkungan Lestari.
- Noermalicha. (2001). **Rekayasa Rancang Bangun Laminasi Lengkungan Bambu**. Tesis. Fakultas Kehutanan IPB. Tidak diterbitkan.
- Pusat Penelitian Hasil Hutan Bogor. (2000). **Himpunan Sari Hasil Penelitian Rotan dan Bambu**. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan dan Perkebunan Bogor.
- Penelitian Puslitbang. (1998). **Ketersediaan bambu, Hutan bambu, dan Pemanfaatannya**. Bandung.
- Porsea. (1995) . **Bamboos Plant Resources of South-East Asia 7**. Printed in Indonesia: h 189.
- Regional Housing center. (1969). **Bambu Sebagai Bahan Bangunan**, Penerbit Depertemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal cipta karya, Bandung.
- Sastrapraja et al., 1977; Verhoef, 1957;Wadjaja 1987 dalam Ismanto, 1994.
- Schodedek Daniel L. (1998). **Struktur**. PT Refika Aditama, Bandung.
- Siegel C. (1962). **Structure and Form**: in Modern Architecture. Van Nostrand Reinhold Company. New York. h 308
- Siopongco, J.O. and. Munandar. (1987). **Technology Manual on Bamboo as Building Material**. The Forest Product Research and Development Institute (FPDRI) Philippines and The Institute on Human Settlements (IHS) Indonesia. Philippines.
- Sulthoni, A. (1984). **Kumbang Bubuk dan Pencegahannya Secara Tradisonal**. Disertasi Universitas Gajah MAda Yogyakarta. Tidak diterbitkan.
- Surjokusumo, S dan N. Nugroho. (1994). **Pemanfaatan Bambu sebagai Bahan Bangunan Dalam Widjaja et.al: Strategi Penelitian Bambu Indonesia**. Sarasehan Penelitian Bambu Indonesia Di Puspitek Serpong tanggal 21-22 Juni 1994.Penerbit Yayasan Bambu Lingkungan Lestari.

- Syafi'i, L.I. (1984). **Pengujian Sifat-Sifat Fisis dan Mekanik Contoh Kecil Bebas Cacat Beberapa Jenis Bambu**. Skripsi. Fakultas Kehutanan IPB. Tidak diterbitkan.
- Velez, Simon and bamboo architecture (2000). **Grown Your Own House**. Vitra Design Museum und Autoren.
- Vebry, Muammar. (2006). United Nation Human Settlements Programme : **Bambu adalah Bahan Bangunan yang Berkelanjutan**. Aceh Institute & Programme Officer UN-HABITAT.
- Watson,Donald. **Time Sever Standards For Building Materials & Systems**.
- Widjaja Suseno Widjaja. (1999).**Bambu Merupakan Element Structure yang Sangat Potensial dan Murah Pada Saat Krisis ekonomi**.di dalam majalah: Pranata vol. 8.UNIKA, Semarang.
- \_\_\_\_\_ . (1999). **Teknologi Manual Bambu Untuk Konstruksi Bangunan**. Di dalam: Seri Kajian Ilmiah. Vol.9,no.1. UNIKA, Semarang.
- Widjaja, Elizabeth A. (2001). **Identikit Jenis-Jenis Bambu di Jawa**. Balai Penelitian Botani, Bogor.
- Widyowijatnoko, Andry. (1999) **Kajian Konstruksi Dinding Bambu Plester dan Konsep Pengembangan**. Institut Teknologi Bandung.
- Yap, K.H.F. (1967). **Bambu Sebagai Bahan Bangunan**. Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- \_\_\_\_\_ . (1999). **Konstruksi Kayu**. CV.Trimitra Mandiri. Bandung.
- Yayasan Pengembangan Bambu di Indonesia (Yapbindo)
- Yuda Wastu. (2006). **Mengekspos Detail Konstruksi dalam Design**. Konstruksi Bentang Lebar.
- [http://europa.eu.int/comm./dg\\_10/culture/program-2000\\_en.html](http://europa.eu.int/comm./dg_10/culture/program-2000_en.html) on 08.02.2000, 22:00
- WWW. *Experience-bamboo.net*
- <http://www.freewebtown.com/gaigoisaigon>
- WWW. Wikipedia, the free encyclopedia
- WWW. Reeworld. com.