

**PENGARUH VARIASI JARAK SENGKANG TERHADAP
RESPONS BEBAN PADA RANGKA KUDA-KUDA BETON
KOMPOSIT TULANGAN BAMBU**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

RULLY FINALIYAH SANTOSO

0510610057-61

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2010**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH VARIASI JARAK SENGKANG TERHADAP
RESPONS BEBAN PADA RANGKA KUDA-KUDA BETON
KOMPOSIT TULANGAN BAMBU**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

RULLY FINALIYAH SANTOSO
NIM. 0510610057-61

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS

NIP. 19511211 198103 2001

Dosen Pembimbing II

Ir. Ristinah S, MT

NIP. 19491227 197603 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI JARAK SENGKANG TERHADAP
RESPONS BEBAN PADA RANGKA KUDA-KUDA BETON
KOMPOSIT TULANGAN BAMBU**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

RULLY FINALIYAH SANTOSO
NIM. 0510610057-61

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 25 Oktober 2010

Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS
NIP. 19511211 198103 2001

Ir. Ristinah S, MT
NIP. 19491227 197603 2 001

DOSEN PENGUJI

Ir. M. Taufik Hidayat, MT
NIP. 19611228 198802 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Sipil

Ir. Sugeng P. Budio, MS
NIP. 19610125 198601 1 001

PERNYATAAN ORISINILITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah SKRIPSI ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah SKRIPSI ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia SKRIPSI ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (SARJANA TEKNIK) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. (UU No.20 Tahun 2003 Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 10 November 2010

Mahasiswa,



Nama : RULLY F SANTOSO

NIM : 0510610057

JURUSAN : SIPIL

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan Hidayah-nya, penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “Pengaruh Variasi Jarak Senggang Terhadap Respons Beban Pada Rangka Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu”.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan akademik yang wajib ditempuh oleh setiap mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya guna menyelesaikan studinya serta guna memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyusun skripsi ini, khususnya kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS, selaku Dosen Pembimbing Skripsi.
2. Ir. Ristinah S, MT, selaku Dosen Pembimbing Skripsi.
3. Ir. M. Taufik, MT, selaku Dosen Penguji Skripsi
4. Ir. Sugeng P. Budio, MS, selaku Dosen Wali.
5. Ir. Sugeng P. Budio, MS, selaku Ketua Jurusan Sipil.
6. Bapak/Ibu Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memberikan ilmunya selama di bangku kuliah.
7. Bapak/Ibu dan seluruh keluarga serta semua pihak yang telah membantu saya demi terselesaikannya skripsi ini.
8. Bapak Sugeng dan Bapak Yunus, selaku pengelola Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi.
9. Semua teman-teman Sipil yang banyak membantu dalam terselesaikannya skripsi ini.
10. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dan dorongan dalam menyusun skripsi ini.

Saya menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, 10 November 2010

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
RINGKASAN	vii
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Batasan Masalah.....	2
1.3. Perumusan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Tinjauan Umum.....	4
2.2. Kuda-kuda Kayu.....	4
2.2.1. Modulus Elastisitas Kayu.....	5
2.2.2. Perencanaan Batang Tarik.....	5
2.2.3. Perencanaan Batang Tekan.....	6
2.3. Kuda-kuda Beton Komposit.....	8
2.4. Material Penyusun.....	9
2.4.1. Tulangan Bambu.....	9
2.4.2. Agregat.....	10
2.4.3. Semen.....	10
2.4.4. Air.....	11
2.4.5. Sengkang.....	11
2.5. Respons Beban dan Lendutan.....	13
2.6. Keruntuhan Pada Kuda-kuda Beton Komposit.....	13
2.6.1. Keruntuhan Akibat Beban Sentris.....	13
2.7. Hipotesis Penelitian.....	16
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	17
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	17
3.3. Jumlah dan Perlakuan Benda Uji.....	18
3.4. Prosedur Penelitian.....	18
3.5. Pemodelan Tulangan Bambu.....	19
3.6. Pemodelan Pembebanan.....	20
3.7. Metode Pengambilan Data.....	21
3.8. Rancangan Penelitian.....	21
3.9. Analisis Kuda-kuda Beton Komposit.....	21
3.10. Variabel Penelitian.....	22
3.11. Diagram Alir Penelitian.....	23

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Sifat-sifat Bahan Penyusun Kuda-kuda Beton Komposit.....	24
4.1.1. Semen.....	24
4.1.2. Air.....	24
4.1.3. Pasir dan Kerikil.....	24
4.1.4. Bambu Tulangan.....	24
4.2. Campuran Beton.....	25
4.3. Pengujian Beton Keras.....	25
4.4. Pengujian Hipotesis.....	26
4.5. Pengujian Rangka Kuda-kuda Beton Komposit.....	28
4.6. Hasil Penelitian dan Perhitungan.....	28
4.6.1. Hubungan Beban (P) dan Lentutan (Δ) Kuda-kuda Beton Komposit...28	
4.6.2. Perhitungan Analisa Teori Beban dan Lentutan Rangka Kuda-kuda Beton Komposit dan Rangka Kuda-kuda Kayu.....	35
4.6.3. Perbandingan Analisa Teoritis dan Hasil Eksperimen.....	35
4.7. Pembahasan.....	36
4.7.1. Perbandingan Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Jarak sengkang 10 cm dengan Jarak Sengkang 15 cm.....	36
4.7.2. Perbandingan Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu dengan Kuda-kuda Kayu Meranti.....	37
4.7.3. Model Keruntuhan.....	38
4.7.4. Perbedaan Lentutan dari Hasil Penelitian terhadap Teori.....	38

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	40
5.2. Saran.....	41

DAFTAR PUSTAKA	42
-----------------------------	----

LAMPIRAN	43
-----------------------	----

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Modulus Elastisitas Kayu.....	5
Tabel 2.2	Perlemahan Alat Sambung Kayu.....	6
Tabel 2.3	Nilai <i>Ke</i> untuk Kolom-kolom untuk Beberapa Jenis Kekangan Ujung.....	8
Tabel 3.1	Rancangan pembuatan benda uji.....	21
Tabel 4.1	Pengujian Bambu.....	25
Tabel 4.2	Campuran Beton per Benda Uji.....	25
Tabel 4.3	Uji Kuat tekan Beton.....	26
Tabel 4.4	Beban Maksimum Eksperimen.....	34
Tabel 4.5	Beban Batas dan Lendutan Maksimum Eksperimen.....	34
Tabel 4.6	Beban Batas dan Lendutan Maksimum Teoritis.....	35
Tabel 4.7	Perbandingan Eksperimen dan Teoritis.....	36
Tabel 4.8	Retak Awal Kuda-kuda beton Komposit.....	38

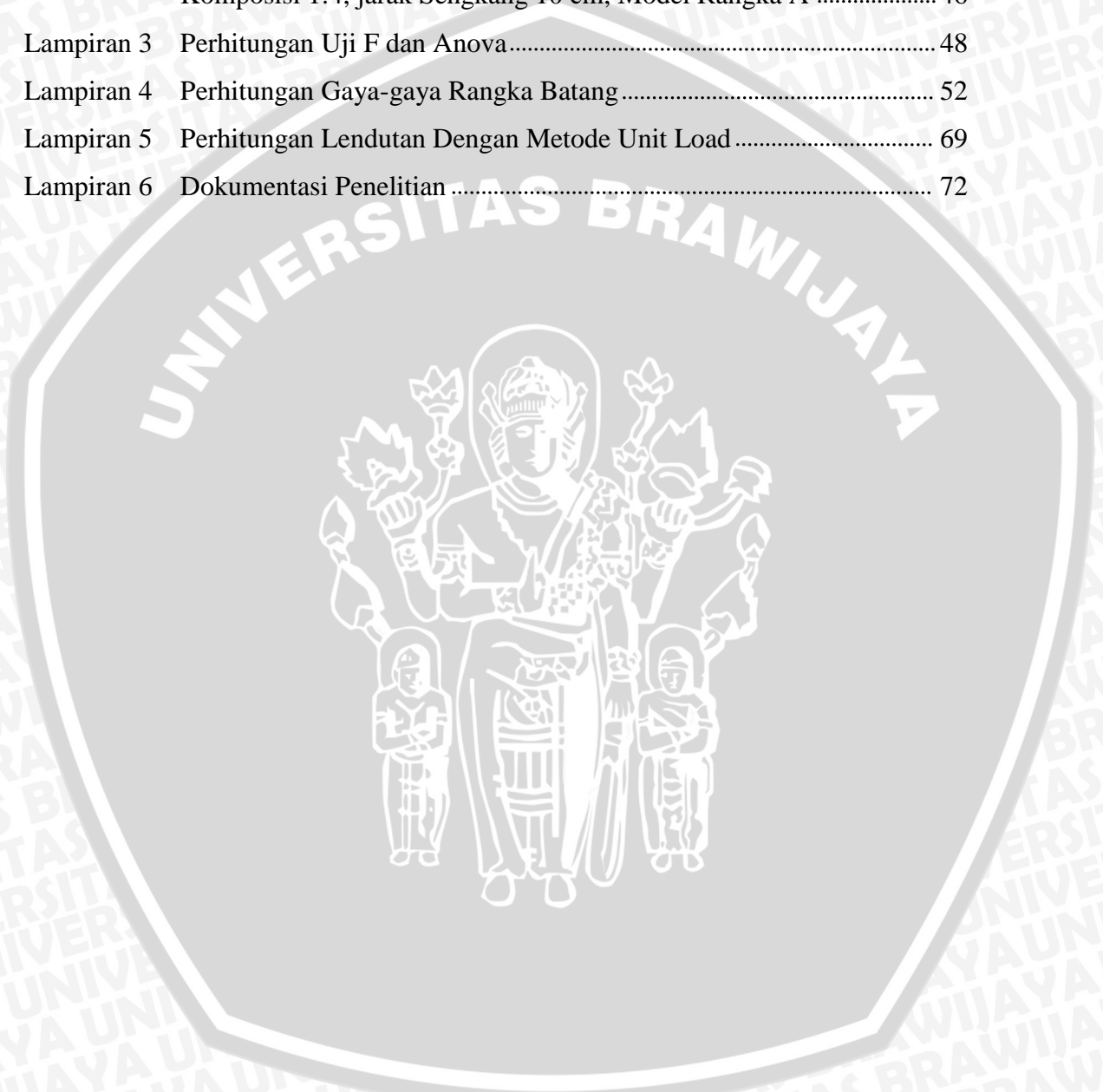


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Model Tegangan-Regangan untuk Beton dengan Pengekang.....	15
Gambar 2.2. Pengaruh Jarak sengkang terhadap Pengekangan Beton	15
Gambar 3.1. Variasi Model Kuda-kuda	19
Gambar 3.2. Detail Potongan.....	19
Gambar 3.3. Detail Penulangan Rangka Batang.....	20
Gambar 3.4. Rangka Pembebanan untuk Kuda-kuda Beton Komposit	20
Gambar 3.5. Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 4.1. Grafik Hubungan Beban-Lendutan pada Kuda-kuda Beton Sengkang 15 cm di Titik A	29
Gambar 4.2. Grafik Hubungan Beban-Lendutan pada Kuda-kuda Beton Sengkang 15 cm di Titik B	29
Gambar 4.3. Grafik Hubungan Beban-Lendutan pada Kuda-kuda Beton Sengkang 15 cm di Titik C	30
Gambar 4.4. Grafik Hubungan Beban-Lendutan pada Kuda-kuda Beton Sengkang 10 cm di Titik A	30
Gambar 4.5. Grafik Hubungan Beban-Lendutan pada Kuda-kuda Beton Sengkang 10 cm di Titik B	31
Gambar 4.6. Grafik Hubungan Beban-Lendutan pada Kuda-kuda Beton Sengkang 10 cm di Titik C	31
Gambar 4.7. Grafik Rerata Hubungan Beban-Lendutan pada Titik A.....	32
Gambar 4.8. Grafik Rerata Hubungan Beban-Lendutan pada Titik B.....	32
Gambar 4.9. Grafik Rerata Hubungan Beban-Lendutan pada Titik C.....	33
Gambar 4.10. Grafik Rerata Hubungan Beban-Lendutan di Tiga Titik.....	33

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Lendutan pada Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Komposisi 1:4, jarak Sengkang 15 cm, Model Rangka A	44
Lampiran 2	Data Lendutan pada Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Komposisi 1:4, jarak Sengkang 10 cm, Model Rangka A	46
Lampiran 3	Perhitungan Uji F dan Anova	48
Lampiran 4	Perhitungan Gaya-gaya Rangka Batang	52
Lampiran 5	Perhitungan Lendutan Dengan Metode Unit Load	69
Lampiran 6	Dokumentasi Penelitian	72



RINGKASAN

Rully F Santoso, Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Oktober 2010, *Pengaruh Variasi Jarak Sengkang Terhadap Respons Beban Pada Rangka Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu*, Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS dan Ir. Ristinah S, MT.

Sebagai material bangunan, beton dan kayu merupakan material yang paling banyak digunakan untuk membangun rumah tinggal. Beton bertulang merupakan campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air dan baja sebagai tulangan. Namun material baja terlalu mahal, sedangkan kayu relatif lebih ekonomis, akan tetapi karena kelangkaannya membuat bahan bangunan ini tidak ekonomis lagi. Oleh karena itu diperlukan bahan alternatif yang bisa menggantikan material tersebut. Penggunaan bahan tulangan bambu pada rangka beton dapat digunakan sebagai alternatif pemecahan masalah. Salah satu gagasan dalam penelitian ini adalah membuat beton untuk rangka kuda-kuda dengan menggunakan tulangan bambu. Dari beberapa penjelasan di atas, maka pada penelitian ini akan dibahas tentang pengaruh variasi jarak sengkang terhadap respons beban pada rangka kuda-kuda beton komposit tulangan bambu.

Penelitian ini dilakukan dengan memberikan beban terpusat kepada benda uji yaitu kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dengan jarak sengkang 10 cm dan jarak sengkang 15 cm dengan faktor air semen tetap pada umur 28 hari. Pengujian dilakukan pada kuda-kuda beton dengan bentang 240 cm, tinggi 100 cm dan tebal 8 cm. Diameter tulangan bambu 1 cm dan sengkang besi diameter 4 mm. Proses pembebanan dilakukan secara bertahap sehingga mengalami lendutan dan sampai mencapai beban maksimum saat benda uji mulai menampakkan retak tekan pada kuda-kuda beton. Pengamatan lendutan menggunakan alat *Dial Gauge* setiap penambahan beban LCD sebesar 1 setrip yang diletakkan pada tiga titik buhul kuda-kuda beton sedangkan pengamatan lebar retak menggunakan alat *Crack Detector Microscope* setiap penambahan beban LCD sebesar 5 setrip.

Data yang diambil dari hasil pengujian adalah data beban maksimum kuda-kuda beton saat mengalami keruntuhan dan nilai lendutan pada setiap pembebanan. Dari data pengamatan akan ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan beban (P) dan lendutan (Δ). Dari grafik yang ditampilkan akan dapat dilihat beberapa perbedaan beban dan lendutan maksimum pada tiap-tiap variasi. Untuk mengetahui adanya perbedaan beban maksimum dan lendutan maksimum, maka digunakan analisa varian satu arah.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai beban maksimum dan lendutan pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu jarak sengkang 10 cm dengan jarak sengkang 15 cm. Kuda-kuda beton komposit dengan jarak sengkang 10 cm mampu menahan beban maksimum hingga 5320 kg, sedangkan kuda-kuda beton komposit dengan jarak sengkang 15 cm hanya mampu menahan beban maksimum sebesar 4389 kg. Dengan beban batas 3857 kg lendutan rata-rata sebesar 6,522 mm untuk jarak sengkang 10 cm dan 7,481 mm untuk jarak sengkang 15 cm.

Kata kunci : jarak sengkang, tulangan bambu, kuda-kuda beton, beban, lendutan.

BAB I PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang Masalah

Sebagai negara berkembang, Indonesia merupakan salah satu negara yang mengalami pertumbuhan penduduk relatif pesat di setiap tahunnya. Hal ini menyebabkan kebutuhan akan tempat tinggal semakin meningkat pula. Sementara disisi lain fenomena tersebut tidak disertai dengan pertumbuhan ekonomi yang seimbang sehingga banyak penduduk Indonesia yang belum mempunyai tempat tinggal layak huni. Dengan melihat hal tersebut maka diperlukan suatu cara yang efektif untuk membangun perumahan rakyat yang memiliki struktural yang kuat, ringan, terjangkau, dan tahan terhadap perubahan lingkungan sekitar seperti cuaca, angin maupun gempa bumi.

Sebagai material bangunan, beton dan kayu merupakan material yang paling banyak digunakan untuk membangun rumah tinggal. Beton bertulang merupakan campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air dan baja sebagai tulangan. Namun material ini terlalu mahal jika hanya digunakan untuk membangun perumahan rakyat kecil. Sedangkan kayu merupakan material struktural dari alam yang relatif lebih ekonomis, akan tetapi karena kelangkaannya membuat bahan bangunan ini tidak ekonomis lagi. Oleh karena itu diperlukan bahan alternatif yang bisa menggantikan material tersebut.

Beton merupakan salah satu bagian terpenting dari sebuah bangunan yang terdiri dari spesi, kerikil, semen, dan air serta tulangan besi. Dalam bangunan, beton memiliki berbagai macam fungsi diantaranya sebagai pelat, balok, dan kolom. Selain itu beton banyak sekali digunakan dalam bidang teknik sipil, misalnya pada struktur arsitektural, jembatan, struktur hidrolik, perkerasan jalan, pesawat terbang, kapal, dan sebagainya. Namun akhir-akhir ini nilai ekonomis dari beton itu sendiri semakin sulit terjangkau sehingga perlu alternatif untuk mengatasi masalah tersebut seperti modifikasi salah satu bahan pembuat beton yaitu tulangan besi.

Penggunaan bahan tulangan bambu sebagai tulangan besi pada rangka beton dapat digunakan sebagai alternatif pemecahan masalah. Bambu tersedia dalam jumlah yang cukup banyak dan harganya juga relatif lebih murah dibandingkan dengan harga besi.

Salah satu gagasan yang akan kami teliti adalah membuat beton untuk rangka kuda-kuda dengan menggunakan tulangan bambu dan diisi dengan spesi. Kemampuan

dari rangka beton-tulangan bambu dalam menahan beban yang bekerja harus diketahui sehingga rangka beton tersebut dapat dipakai pada struktur rangka atap pada bangunan rumah. Beban vertikal yang bekerja pada rangka atap, baik beban hidup maupun beban mati ada kalanya bekerja pada jarak tidak nol dari sumbu memanjang.

Dengan memberikan tulangan bambu pada beton komposit ini diharapkan tulangan bambu akan berfungsi sebagai tulangan pada saat rangka beton mengalami lendutan. Tulangan bambu akan berperan dalam menahan lendutan yang terjadi bersama-sama dengan beton sehingga diharapkan dapat menambah fleksibilitas dari mortar dan mengurangi risiko keruntuhan berbahaya. Kontribusi tulangan bambu nampak pada momen inersia polar ekuivalen yang terjadi pada balok komposit. Keruntuhan terjadi karena tegangan tarik ijin dari balok terlampaui. Beton tidak dapat menahan tegangan tarik yang besar. Pada saat tegangan tarik beton telah terlampaui maka tulangan bambu mulai bekerja menahan lendutan yang terjadi.

Untuk menjadikan tulangan bambu dan mortar bersifat komposit diperlukan suatu perlakuan khusus terhadap tulangan bambu. Kekuatan dari beton rangka atap ini dipengaruhi sifat komposit yang timbul antara tulangan bambu dan beton, sedangkan agar terjadi sifat komposit antara tulangan bambu dan mortar diperlukan pelapisan tulangan bambu dengan bahan pernis. Dengan demikian sistem komposit tulangan bambu-beton dapat menjadi solusi konstruksi dengan biaya ekonomis apabila tekniknya dapat diterima dan dikembangkan.

1.2. Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Pengaruh lingkungan diabaikan/disamakan
2. Pengujian dilakukan pada rangka kuda-kuda beton komposit dan rangka kuda-kuda kayu kelas III.
3. Benda uji berupa rangka kuda-kuda beton komposit dengan komposisi spesi 1:4 → semen 1, agregat kasar 2, dan agregat halus 2.
4. Rangka kuda-kuda beton komposit tidak menggunakan tulangan baja tetapi menggunakan tulangan bambu.
5. Untuk bambu tidak dibahas dalam perhitungan.
6. Pembahasan hanya mencakup kekuatan pada rangka kuda-kuda beton komposit tulangan bambu terhadap beban tetap yang dilakukan melalui pengujian laboratorium.

7. Beban yang bekerja adalah beban terpusat.
8. Struktur rangka batang merupakan struktur statis tertentu.

1.3. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan diatas maka dalam penelitian ini dapat dirumuskan permasalahan yang akan dibahas, yaitu :

1. Bagaimana pengaruh variasi jarak sengkang terhadap respons beban pada rangka kuda-kuda yang terbuat dari beton komposit tulangan bambu ?
2. Apakah beton komposit yang terbuat dari spesi dan tulangan bambu memiliki kekuatan yang cukup sebagai bahan bangunan pengganti rangka kuda-kuda kayu meranti yang umumnya dipakai ?
3. Apakah terdapat perbedaan nilai lendutan pada rangka kuda-kuda beton komposit tulangan bambu antara pengujian eksperimental maupun analisis teoritis?

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian skripsi ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi jarak sengkang pada rangka kuda-kuda beton komposit terhadap respons beban yang terjadi.
2. Mengetahui kelayakan penggunaan tulangan bambu pada rangka kuda-kuda beton komposit sebagai bahan tulangan alternatif berdasarkan kekuatan dan sifat komposit beton.
3. Mengetahui nilai lendutan pada rangka kuda-kuda beton komposit tulangan bambu yang diperoleh dari pengujian eksperimental maupun analisis teoritis.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi alternatif bahan bangunan yang murah tetapi mempunyai kualitas yang baik dan cukup tersedia di pasaran. Selain itu bahan bangunan ini mempunyai kekuatan yang cukup baik sehingga dapat bersaing dengan bahan bangunan lain serta sebagai alternatif pengganti besi tulangan pada pembuatan beton. Penelitian ini juga sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Berkembangnya rangka batang sebagai bentuk struktural utama berlangsung sangat cepat. Pada awalnya rangka batang menjadi jenis struktur yang umum digunakan pada teknik sipil untuk bentang panjang, misalnya jembatan. Namun selanjutnya penggunaan rangka batang berkembang untuk bangunan gedung hingga menjadi elemen umum dalam arsitektur modern.

Rangka batang adalah susunan elemen-elemen linier yang membentuk segitiga atau kombinasi segitiga, sehingga menjadi bentuk rangka yang tidak dapat berubah bentuk apabila diberi beban eksternal tanpa adanya perubahan bentuk pada satu atau lebih batangnya (Daniel L Schodek, 1995:135). Adapun sistem rangka sederhana merupakan bagian dari sistem rangka batang.

Sistem rangka sederhana adalah sistem struktur yang diperoleh dengan menyambungkan batang-batang lurus satu sama lain lewat sambungan yang bersifat sendi, yang lazim dikenal sebagai titik buhul. Gaya luar dapat diatur hingga bekerja tepat pada titik buhul. Struktur semacam ini sangat populer diterapkan, misalnya dalam konstruksi atap (kuda-kuda), jembatan rangka, menara rangka baja, dan lain sebagainya. Karena batang-batang umumnya akan memikul gaya aksial berupa gaya tarik, atau gaya tekan, ataupun tekan dan tarik secara bergantian (gaya bertukar), maka struktur rangka sederhana sering terbuat dari bahan baja / logam, yang memiliki sifat ketahanan yang hampir setara terhadap tarik dan tekan.

Kuda-kuda adalah bagian yang memberikan bentuk kepada atap dan sekaligus berfungsi sebagai pendukung penutup atap. Konstruksi kuda-kuda dapat dibuat dari rangka baja, beton, atau kayu.

2.2 Kuda-Kuda Kayu

Dalam merancang konstruksi kayu, termasuk kuda-kuda, hal penting yang harus dilakukan adalah menetapkan besaran tegangan ijin kayu. Berbeda dengan beton dan baja yang mempunyai tegangan ijin relatif tetap, tegangan ijin kayu berubah-ubah akibat dari berbedanya arah serat dan arah gaya. Besarnya tegangan ijin sangat erat hubungannya dengan kekuatan kayu. Makin kuat kayu itu, makin besar pula tegangan yang diijinkan.

Dalam penelitian ini, digunakan kuda-kuda kayu meranti sebagai uji pendahuluan yang nantinya akan dibandingkan kekuatannya dengan kuda-kuda beton komposit tulangan bambu. Kayu meranti termasuk kayu kelas kuat II-IV dan kelas awet II-III (Heinz Frick, 2003:270-271).

2.2.1 Modulus Elastisitas Kayu

Pada perhitungan perencanaan batang tekan dan balok lentur, beberapa rumus membutuhkan besaran modulus elastisitas kayu (E). Besaran E berbeda-beda menurut kelas kuat kayu, sebagaimana tercantum dalam tabel berikut ini :

Tabel 2.1 Modulus elastisitas kayu

Kelas kuat kayu	E // (kg/cm ²)
I	125.000
II	100.000
III	80.000
IV	60.000

(Sumber : Ir. Siti Nurlina, MT, 2008:20).

2.2.2 Perencanaan Batang Tarik

Untuk batang tarik, sulit dihindari adanya alat sambung pada penampangnya. Tiap-tiap alat sambung memerlukan lubang pada penampang kayu, sehingga luas penampang kayu menjadi berkurang. Dengan adanya lubang pada penampang kayu, maka tegangan di sekitar lubang akibat konsentrasi tegangan jauh lebih besar daripada tegangan di tepi lubang.

Apabila kayu menerima tarikan, maka besarnya tegangan tarik yang terjadi harus lebih kecil daripada tegangan ijin kayu.

$$T_u \leq \lambda \phi_t T' \quad (2-1)$$

dimana :

- T_u = gaya tarik terfaktor (kg)
- λ = faktor waktu
- ϕ_t = faktor tahanan tarik sejajar serat
- T' = tahanan tarik terkoreksi (kg)

Tahanan tarik terkoreksi komponen tarik struktur tarik konsentris, T' , ditentukan pada penampang tarik kritis :

$$T' = F_t' A_n \tag{2-2}$$

dimana :

F_t' = kuat tarik sejajar serat terkoreksi (MPa)

A_n = luas penampang neto (mm²)

Akibat adanya perlemahan, luasan batang tarik (A_n) harus diperbesar sehingga menjadi luas batang tarik yang dipakai (A bruto). Tambahan luas disesuaikan dengan jenis alat sambung.

Tabel 2.2 Perlemahan alat sambung kayu

Macam alat penyambung	A bruto / A netto
Perekat	1,00
Paku	1,10 – 1,15
Baut dan gigi	1,20 – 1,25
Kokot dan cincin belah *	1,20
Pasak kayu	1,30

(Sumber : Ir. Siti Nurlina, MT, 2008:28).

2.2.3 Perencanaan Batang Tekan

Komponen struktur tekan harus direncanakan sedemikian sehingga :

$$P_u \leq \lambda \phi_c P' \tag{2-3}$$

dimana :

P_u = gaya tekan terfaktor (kg)

λ = faktor waktu

ϕ_c = faktor tahanan tekan sejajar serat

P' = tahanan tekan terkoreksi (kg)

Tahanan tekan kolom ditentukan berdasarkan kelangsingan penampang kolom pada arah yang paling kritis. Tahanan tekan kolom terkoreksi ditetapkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P' &= C_p A F_c^* \\ &= C_p P_o' \end{aligned} \tag{2-4}$$

dimana :

C_p = faktor kestabilan kolom

A = luas penampang bruto (mm²)

F_c^* = Kuat tekan terkoreksi sejajar serat (MPa)

P_o' = tahanan tekan aksial terkoreksi sejajar serat pada kelangsingan kolom sama dengan nol (kg)

Faktor kestabilan kolom, C_p , dihitung sebagai berikut :

$$C_p = \frac{1 + \alpha_c}{2c} - \sqrt{\left(\frac{1 + \alpha_c}{2c}\right)^2 - \frac{\alpha_c}{c}} \quad (2-5)$$

dengan :

$$\alpha_c = \frac{\phi_s P_e}{\lambda \phi_c P_o'} \quad (2-6)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 E'_{05} I}{(K_e l')^2} = \frac{\pi^2 E'_{05} A}{\left(K_e \frac{l}{r}\right)^2} \quad (2-7)$$

dimana :

ϕ_s = faktor tahanan stabilitas = 0,85

ϕ_c = faktor tahanan tekan = 0,90

P_e = tahanan tekuk kritis (Euler) pada arah yang ditinjau (kg)

E'_{05} = nilai modulus elastisitas lentur terkoreksi pada persentil ke lima (MPa)

Nilai kelangsingan kolom tergantung pada panjang efektif kolom dan jari-jari girasi penampang kolom. Nilai kelangsingan kolom dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Kelangsingan} = \frac{K_e l}{r} \quad (2-8)$$

Panjang kolom tak-terkekang atau panjang bagian kolom tak-terkekang, l , harus diambil sebagai jarak pusat-ke-pusat pengekang lateral. Panjang efektif kolom, l_e , untuk arah yang ditinjau harus diambil sebagai $K_e l$, dimana K_e adalah faktor panjang tekuk untuk komponen struktur tekan. K_e tergantung pada kondisi ujung kolom dan ada atau tidaknya goyangan. Selanjutnya nilai K_e bisa dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.3 Nilai K_e untuk kolom-kolom untuk beberapa jenis kekangan ujung

Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Nilai K_e teoritis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Nilai K_e yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0,65	0,80	1,2	1,0	2,10	2,4
Kode ujung						

(Sumber : SNI 03 – 1729 - 2000:31).

2.3 Kuda-kuda Beton Komposit

Syarat pembuatan kuda-kuda beton komposit adalah :

- Tepi potongan kuda-kuda beton komposit harus lurus, rata, tidak berkerut, sama tebalnya pada seluruh panjang lembaran/ balok. Bila diketuk perlahan-lahan dengan benda keras akan berbunyi nyaring yang menandakan bahwa lembaran/ balok tersebut tidak pecah atau retak.
- Permukaan potongan kuda-kuda beton komposit tidak menunjukkan retak-retak, kerutan-kerutan atau cacat lainnya yang dapat merugikan pemakaiannya. Permukaan lembaran/ balok harus rata.
- Penampang kuda-kuda beton komposit harus menunjukkan campuran yang merata tidak berlubang atau terbelah.

Kuda-kuda beton komposit dengan tulangan bambu dapat dipakai sebagai pengganti kuda-kuda baja atau kayu pada rumah tahan gempa. Analisis kuda-kuda beton komposit tulangan bambu menyangkut perilaku mekanis beban lentur dan beban aksial seperti kolom komposit isotropis dengan substitusi sifat bahan anisotropis. Kelemahan dari kuda-kuda beton komposit tulangan bambu ini adalah dalam memikul beban-beban tambahan maupun gaya lateral seperti gaya gempa. Ini disebabkan sifat elastisitas yang rendah pada arah tegak lurus serat. Oleh sebab itu kuda-kuda beton komposit tulangan

bambu ini masih memerlukan tulangan sengkang. Dalam tulisan ini akan dibahas analisis kuda-kuda beton komposit tulangan bambu menahan beban aksial.

2.4 Material penyusun

Beton terbuat dari bahan semen Portland, air, agregat dalam proporsi perbandingan tertentu dengan atau tanpa bahan tambah pembentuk massa padat (SK-SNI-T15-03, 1991). Bahan-bahan tersebut memiliki sifat dan karakteristik yang bervariasi. Berikut adalah penjelasan karakteristik bahan-bahan penyusun beton tersebut.

2.4.1 Tulangan Bambu

Tulangan pada beton mempunyai fungsi untuk menahan gaya tarik yang bekerja pada penampang beton. Beton hanya diperhitungkan untuk menahan gaya tekan saja dan beton lemah terhadap gaya tarik. Selain itu beton juga bersifat getas. Oleh karena itu dipasang tulangan untuk mengatasi kelemahan beton. Dan pada penelitian ini kami menggunakan tulangan yang terbuat dari bambu.

Berdasarkan penelitian para ahli menunjukkan bahwa bambu mempunyai tegangan tarik yang cukup besar terutama pada bagian kulitnya. Bambu pada bagian kulit atau terluar merupakan bagian terkuat diantara bagian yang lainnya karena apabila bagian kulit bambu tersebut dibengkok-bengkokkan maka akan sulit patah dibandingkan bagian yang lain. (Dransfield dan Widjaja, 1995). Dengan melihat kondisi ini maka diharapkan bambu mampu menggantikan peran baja yang sering digunakan sebagai tulangan pada pembuatan beton.

Terdapat banyak macam bambu, tetapi dari ratusan jenis itu, hanya empat macam jenis saja yang dianggap penting sebagai jenis bambu dan yang umum dipasarkan di Indonesia. Empat macam jenis bambu tersebut antara lain :

1. Bambu tali/ apus (*Gigantochloa apus*). Bambu apus memiliki berat jenis (kadar air 12 %) antara 107-230 kg/m³ sedangkan kuat tariknya antara 20-56 Nmm². (Sumber : Heinz Frick, 2004:141)
2. Bambu petung (*Dendrocalamus asper*).
3. Bambu duri/ ori (*Bambusa blumeana*).
4. Bambu wulung/ hitam (*Gigantochloa verticillata*).

Melihat berbagai jenis dan kekuatan bambu di atas, semua jenis tersebut dapat digunakan sebagai tulangan pada kuda-kuda beton komposit. Tetapi harus memenuhi beberapa syarat, yaitu :

- Kekuatan tarik bambu yang diijinkan II arah serat adalah $29,4 \text{ N/mm}^2$.
- Kekuatan tekan bambu yang diijinkan II arah serat adalah $7,85 \text{ N/mm}^2$.
- Kekuatan geser bambu yang diijinkan II arah serat adalah $2,45 \text{ N/mm}^2$.
- Kekuatan lentur bambu yang diijinkan adalah $9,80 \text{ N/mm}^2$.
- Modulus Elastisitas dapat diperhitungkan dengan 20 kN/mm^2 .

Dalam penelitian ini digunakan bambu jenis tali/ apus (*Gigantochloa apus*).

2.4.2 Agregat

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70 % volume mortar atau beton. Walaupun hanya sebagai bahan pengisi akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar/betonnnya sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar/beton. Butiran-butiran mineral yang bila dicampur dengan semen akan menghasilkan beton. Maksud penggunaan agregat dalam adukan beton adalah :

1. Menghemat penggunaan semen Portland.
2. Menghasilkan kekuatan besar pada beton.
3. Dengan gradasi yang baik dapat tercapai beton padat.
4. Mengurangi penyusutan pada pengerasan beton.

2.4.3 Semen

Semen Portland yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SII.0013-81 atau Standar Uji Bahan Bangunan Indonesia 1986, dan harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar tersebut (PB.1982:3.2-8). Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan (Tri Mulyono, 2004).

Menurut SNI 15-2049-1994, (1994). Semen Portland diklasifikasikan dalam lima jenis, yaitu :

- Jenis I :Semen Portland yang tidak memerlukan persyaratan khusus

- Jenis II: Semen Portland yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalori hidrasi sedang,
- Jenis III : Semen Portland yang memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi,
- Jenis IV : Semen Portland yang memerlukan kalori hidrasi rendah, dan
- Jenis V: Semen Portland yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.4.4 Air

Air yang diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang pada umumnya dapat digunakan sebagai bahan campuran beton. Air yang mengandung senyawa – senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat beton yang dihasilkan.

Untuk menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% biasanya digunakan dengan air suling. Biasanya jumlah air yang diperlukan dalam pembuatan beton berkisar 25% dari jumlah berat semen. Kelebihan air dalam adukan dapat membahayakan karena air bersama-sama dengan semen bergerak ke permukaan adukan beton, hal ini dinamakan bleeding.

2.4.5 Sengkang

Sengkang pada kuda-kuda beton komposit berfungsi untuk mengurangi bahaya pecah (*splitting*) beton yang dapat mempengaruhi daktilitas kuda-kuda beton komposit tersebut. Sengkang didistribusikan melintang secara merata di seluruh penampang kuda-kuda beton komposit untuk mengikat tulangan utama atau memanjang. Penempatan sengkang yang relatif rapat dapat memperbaiki sifat beton, karena dapat memberikan pengekangan yang lebih baik pada beton.

Menurut SK SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 9.10.5 penulangan sengkang pengikat untuk komponen struktur tekan harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- (1) Semua batang tulangan non-prategang harus diikat dengan sengkang dan sengkang ikat lateral, paling sedikit ukuran D-10 untuk tulangan longitudinal lebih kecil dari D-32, dan paling tidak D-13 untuk tulangan D-36, D-44, D-56

dan bundel tulangan longitudinal. Sebagai alternatif boleh juga digunakan kawat ulir atau jaring kawat las dengan luas penampang ekuivalen.

- (2) Spasi vertikal sengkang dan sengkang ikat tidak boleh melebihi 16 kali diameter tulangan longitudinal, 48 kali diameter batang atau kawat sengkang / sengkang ikat, atau ukuran terkecil dari komponen struktur tekan tersebut.
- (3) Sengkang dan sengkang ikat harus diatur sedemikian hingga setiap sudut dan tulangan longitudinal yang berselang harus mempunyai dukungan lateral yang didapat dari sudut sebuah sengkang atau kait ikat yang sudut dalamnya tidak lebih dari 135° dan tidak boleh ada batang tulangan di sepanjang masing-masing sisi sengkang atau sengkang ikat yang jarak bersihnya lebih dari 150 mm terhadap batang tulangan yang didukung secara lateral. Jika tulangan longitudinal terletak di sekeliling perimeter suatu lingkaran, maka sengkang berbentuk lingkaran penuh dapat dipergunakan.
- (4) Sengkang dan sengkang ikat harus diletakkan secara vertikal tidak lebih dari $\frac{1}{2}$ jarak spasi sengkang dan sengkang ikat di atas pondasi telapak atau lantai pada tiap tingkat, sedangkan di bawah tulang horizontal terbawah dari panel atau drop panel yang berada di atas harus berjarak tidak lebih dari $\frac{1}{2}$ jarak spasi sengkang.
- (5) Jika terdapat balok atau konsol pendek yang merangka pada keempat sisi pada suatu kolom sengkang atau sengkang ikat boleh dihentikan pada lokasi tidak lebih dari 75 mm di bawah tulang terbawah dari balk atau konsol pendek yang paling kecil dimensi vertikalnya.

Bagian beton yang tidak terkurung dengan sengkang dapat dengan mudah terlepas apabila menerima gaya lateral seperti gaya gempa. Kuda-kuda beton komposit harus mampu menahan beban-beban tambahan meskipun bagian terluarnya tadi telah terlepas, agar tidak terjadi keruntuhan (collapse). Oleh karena itu, jarak dan ukuran sengkang sangat berpengaruh dan harus direncanakan untuk mampu memikul sebagian besar kapasitas kuda-kuda beton komposit. Semakin rapat jarak sengkang, maka semakin kecil terjadinya tekuk pada kuda-kuda beton komposit yang akan mengakibatkan keruntuhan.

2.5 Respons Beban dan Lendutan

Respons beban pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu merupakan beban maksimum yang mampu ditahan oleh elemen struktur tersebut. Beban-beban yang bekerja pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu, baik yang berupa beban gravitasi (berarah vertikal) maupun beban-beban lain, seperti beban angin (dapat berarah horizontal), menyebabkan adanya lendutan dan deformasi pada elemen struktur kuda-kuda beton komposit tulangan bambu.

Lendutan pada struktur rangka batang merupakan deformasi total elemen-elemen batang pada titik pertemuannya akibat adanya gaya-gaya aksial dalam elemen-elemen batang tersebut. Nilai deformasi pada elemen-elemen batang akibat gaya-gaya aksial tersebut dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (2-9)$$

Besarnya lendutan pada setiap join rangka dapat ditentukan secara geometris, dengan mengasumsikan bahwa setiap elemen batang dalam kondisi sendi pada tiap titik pertemuannya.

2.6 Keruntuhan Pada Kuda-Kuda Beton Komposit

2.6.1 Keruntuhan Akibat Beban Sentris

Secara teoritis beban maksimum yang dapat dipikul oleh kuda-kuda komposit adalah beban yang menyebabkan terjadinya tegangan $f'c$ pada beton. Penambahan beban lebih lanjut bisa saja terjadi sampai regangan (*strain*) pada bambu mencapai nilai 0,003.

Suatu kuda-kuda komposit dengan luas penampang brutonya A_g dengan lebar b dan tinggi total h , bertulangan bambu dengan luasan A_b (terbagi pada semua sisi kuda-kuda). Luas bersih penampang kuda-kuda komposit adalah $A_g - A_b$.

Kapasitas beban sentris maksimum pada kuda-kuda komposit dapat diperoleh dengan menambahkan kontribusi beton, yaitu $(A_g - A_b) 0,85 f'c$ dan kontribusi kuda-kuda $A_b f_yb$. Dalam hal ini digunakan $0,85 f'c$ karena kekuatan maksimum yang dapat dipertahankan pada struktur aktual mendekati harga $0,85 f'c$. Dengan demikian, kapasitas beban sentris maksimum adalah P_o yang dapat dinyatakan sebagai :

$$P_o = (A_g - A_b) 0,85 f'c + A_b f_yb \quad (2-10)$$

Beban sentris menyebabkan tegangan tekan yang merata di seluruh bagian penampang. Ini berarti bahwa pada saat terjadi keruntuhan, tegangan dan regangannya akan sama di seluruh bagian penampang.

Mengasumsikan eksentrisitas sebesar nol merupakan hal yang amat mustahil di dalam struktur aktual. Beberapa contoh yang dapat menyebabkan eksentrisitas sangat mudah terjadi adalah ketidaktepatan letak dan ukuran kuda-kuda komposit, beban yang tidak simetris akibat perbedaan ukuran kuda-kuda, penggunaan mutu bahan yang tidak merata atau adanya ketidaksempurnaan yang lainnya. Dengan demikian perlu adanya suatu eksentrisitas minimum (yang dapat diterima) dalam arah tegak lurus terhadap sumbu lentur yaitu 10 % dari tebal untuk kuda-kuda komposit bersengkang.

Untuk mengurangi perhitungan eksentrisitas minimum yang diperlukan dalam analisa dan desain maka disyaratkan suatu reduksi beban aksial sebesar 20% pada kuda-kuda komposit bersengkang. Dengan menggunakan faktor-faktor ini, maka kapasitas beban aksial nominal pada kuda-kuda komposit bersengkang tidak boleh diambil lebih besar daripada :

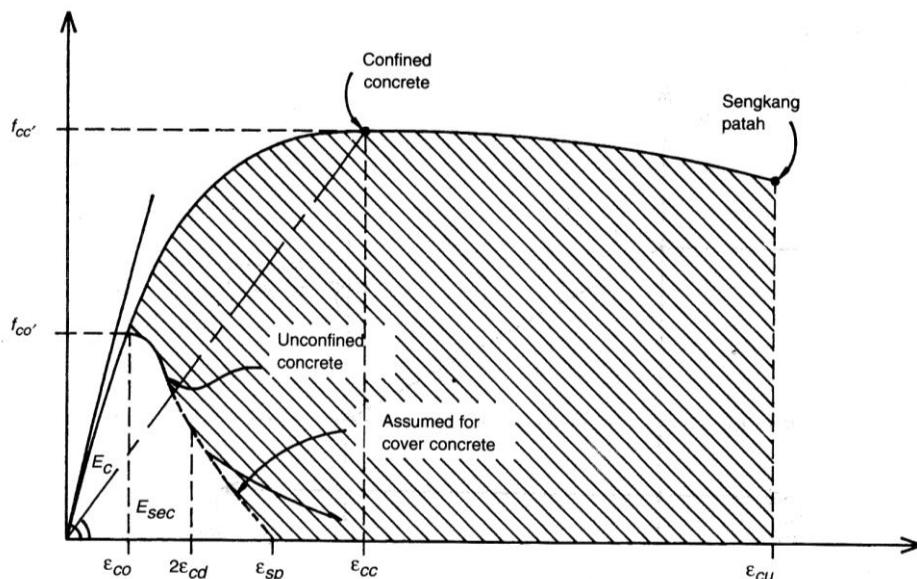
$$P_n(\max) = 0,8 [(A_g - A_b) 0,85 f'_c + A_b f_y] \quad (2-11)$$

Beban nominal ini masih harus direduksi lagi dengan menggunakan faktor reduksi ϕ yang besarnya adalah sebagai berikut :

$$\phi = 0,8 - \frac{0,2\phi P_n}{0,1f'_c A_g} \geq 0,65 \quad (2-12)$$

Apabila $\phi P_n b < 0,1 A_g f'_c$, maka pada persamaan untuk kuda-kuda komposit dengan pengikat sengkang, nilai $0,1 A_g f'_c$ diganti dengan $0,65 P_n b$.

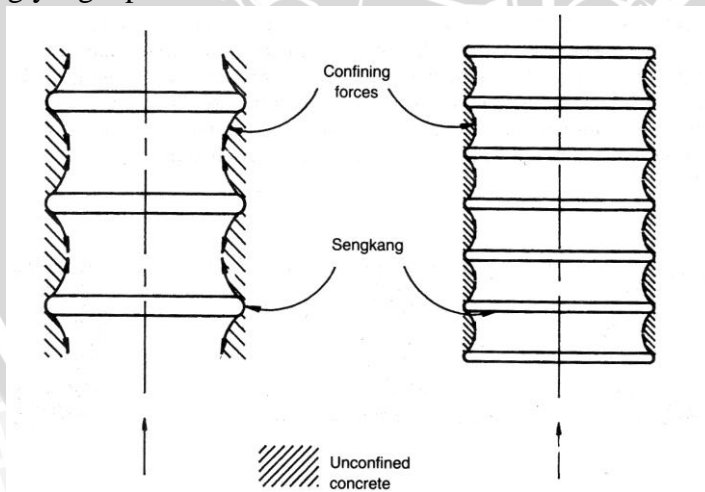
Hubungan tegangan-regangan beton ($f_c - \epsilon_c$) untuk penelitian ini menggunakan hasil penelitian R. Park seperti gambar 2.1, yang berlaku untuk komponen beton terkekang dengan sengkang segi empat.



Gambar 2.1 Model tegangan-regangan untuk beton dengan pengekang.

(Sumber : L. Wahyudi & Syahril A. Rahim,1999:191).

Penempatan sengkang yang relatif rapat dapat memperbaiki sifat beton, karena dapat memberikan pengekangan yang lebih baik, seperti diperlihatkan gambar 2.2. Jarak atau biasa disebut *pitch* sengkang tersebut ditentukan sehingga kapasitas beban yang merupakan kontribusi dari aksi *confining* sengkang (aksi sengkang untuk melindungi bagian inti kuda-kuda beton komposit) dapat menjadi kompensasi dari bagian beton di luar sengkang yang lepas.



Gambar 2.2 Pengaruh jarak sengkang terhadap pengekangan beton.

(Sumber : L. Wahyudi & Syahril A. Rahim,1999:190).

Dengan mengasumsikan analisa sengkang segi empat sama dengan sengkang spiral, maka diperoleh angka penulangan sengkang minimum sebesar :

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f_{cc'}}{f_{sy}} \quad (2-13)$$

dimana :

ρ_s = perbandingan antara volume tulangan sengkang terhadap volume inti beton tiap satu putaran

f_{cc}' = kuat tekan beton dengan pengekan

f_{sy} = kuat leleh tulangan sengkang

$$A_c = \frac{\pi D_c^2}{4} \quad (2-14)$$

$$A_g = \frac{\pi h^2}{4} \quad (2-15)$$

dimana :

A_c = luas penampang netto beton komposit

A_g = luas penampang bruto beton komposit

D_c = diameter inti beton dari tepi ke tepi sengkang

h = diameter kuda-kuda beton komposit

Karena ρ_s merupakan perbandingan antara volume tulangan sengkang terhadap volume inti beton tiap satu putaran, kemudian dipilih diameter tulangan sengkang d_b , dan dihitung luas penampang melintang sengkang a_s , sehingga diperoleh angka penulangan :

$$\rho_s = \frac{a_s \pi (D_c - d_b)}{(\pi/4) D_c^2 s} \quad (2-16)$$

Dengan mensubstitusikan kembali ke persamaan 2-13, maka diperoleh kuat tekan beton dengan pengekan :

$$f_{cc}' = \frac{\rho_s \cdot f_{sy}}{0,45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right)} \quad (2-17)$$

2.7 Hipotesis Penelitian

Setelah mempelajari tinjauan pustaka dan permasalahan yang ada di atas, maka dapat diambil hipotesis sebagai berikut :

1. Diduga terdapat pengaruh variasi jarak sengkang pada rangka kuda-kuda beton komposit tulangan bambu.
2. Diduga kuda-kuda beton komposit yang terbuat dari spesi dan tulangan bambu memiliki kekuatan yang cukup sebagai bahan bangunan pengganti kuda-kuda kayu kelas III yaitu kayu meranti.
3. Diduga terdapat perbedaan nilai lendutan pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu antara pengujian eksperimental maupun analisis teoritis.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi dan Laboratorium Struktur Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Waktu penelitian dimulai pada bulan Mei 2010 sampai selesai.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

- Satu set ayakan dengan *motorized dynamic shieve shaker* merek Forney.
- Timbangan.
- Sendok semen dan tongkat pemadat
- Cetakan silinder dengan diameter 100 mm dan tinggi 150 mm.
- Jangka sorong.
- Alat uji tekan beton.
- Mesin pencampur beton (*concrete mixer*).
- Portal Pengujian (Frame Uji) kapasitas 15 ton
- Proving Ring kapasitas 10 ton
- Alat pengukur defleksi (*Dial Gauge*) dan *Dial Holder*
- Pompa hidrolik kapasitas 25 ton
- Digital Strain Meter
- Klem

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Semen Portland tipe I produksi PT Semen Gresik.
- Kerikil
- Pasir
- Air dari PDAM.
- Tulangan bambu
- Pernis
- Kayu bekisting (triplek), dalam hal ini triplek 2/20.
- Tulangan besi diameter 4 mm (Φ 4)
- Plastik
- Kayu meranti, dalam hal ini balok 8/8

3.3. Jumlah dan Perlakuan Benda Uji

Dalam penelitian ini terdapat 6 (enam) benda uji kuda-kuda beton komposit dan 1 (satu) model kuda-kuda kayu diantaranya adalah:

- 3 (tiga) buah kuda-kuda berukuran (240x 100) cm, tebal 8 cm dengan jarak sengkang 10 cm.
- 3 (tiga) buah kuda-kuda berukuran (240x 100) cm, tebal 8 cm dengan jarak sengkang 15 cm.
- 1 (satu) buah kuda-kuda kayu (240x 100) cm, tebal 8 cm yang digunakan sebagai benda uji pembanding,

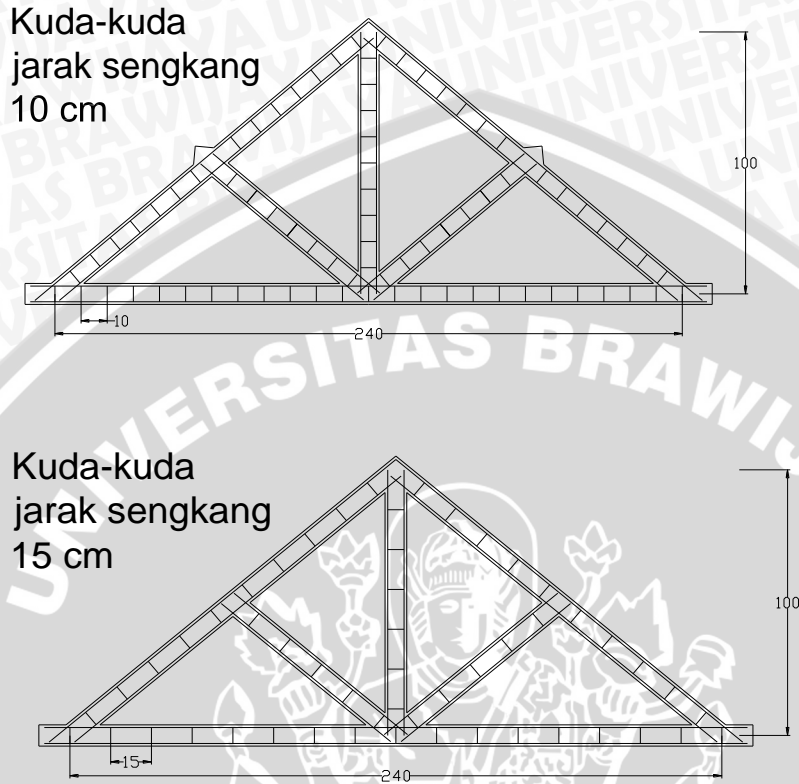
Tumpuan di kedua sisi kuda-kuda adalah baja yang sangat kaku yang sudah ada di laboratorium bahan dan konstruksi. Adanya tumpuan ini diharapkan akan berperilaku menjadi tumpuan sendi-rol untuk kedua kuda-kuda. Struktur kuda-kuda bersifat homogen dan isotropis. Keseluruhan kuda-kuda mengalami perlakuan yang sama.

3.4. Prosedur Penelitian

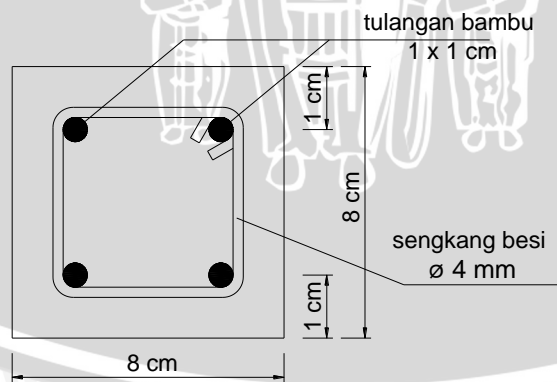
1. Analisa agregat meliputi analisa gradasi, analisa kadar air, analisa berat jenis dalam keadaan SSD, analisa berat isi dan penyerapan agregat.
2. Untuk mengetahui kuat tekan beton maka dibuat 2 buah benda uji beton bentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 15 cm.
3. Pembuatan benda uji kuda-kuda, yaitu :
 - 3 (tiga) buah adalah kuda-kuda dengan jarak sengkang 10 cm, dengan tebal 8 cm sebagai acuan dalam melihat lendutan yang terjadi.
 - 3 (tiga) buah adalah kuda-kuda dengan jarak sengkang 15 cm, dengan tebal 8 cm sebagai acuan dalam melihat lendutan yang terjadi.
4. Kuda-kuda beton komposit menggunakan tulangan bambu diameter 1 cm yang telah dibelah dan dipernis dan sengkang besi diameter 4 mm.
5. Pengujian silinder uji beton pada umur 28 hari untuk mengetahui besar kekuatan tekan dari campuran beton.
6. Pengujian benda uji kuda-kuda beton komposit setelah umur 28 hari, yaitu dengan memberi beban terpusat di atasnya.
7. Pemberian beban terpusat dilakukan hingga didapatkan lendutan pada kuda-kuda beton komposit.

3.5. Pemodelan Tulangan Bambu

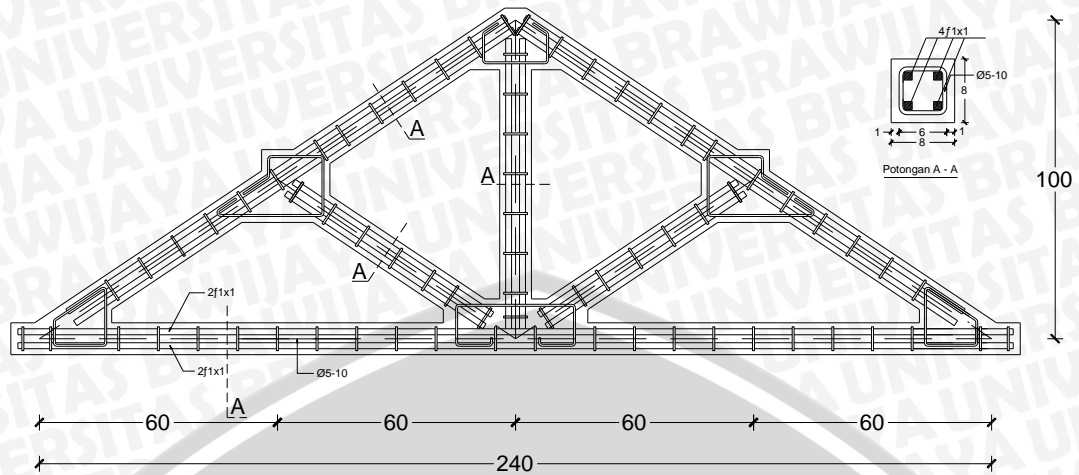
Dalam penelitian ini, perlakuan yang berbeda yaitu pada variasi jarak sengkang kuda-kuda. Pemodelan dapat dilihat pada Gambar 3.1 :



Gambar 3.1 Variasi Model kuda-kuda



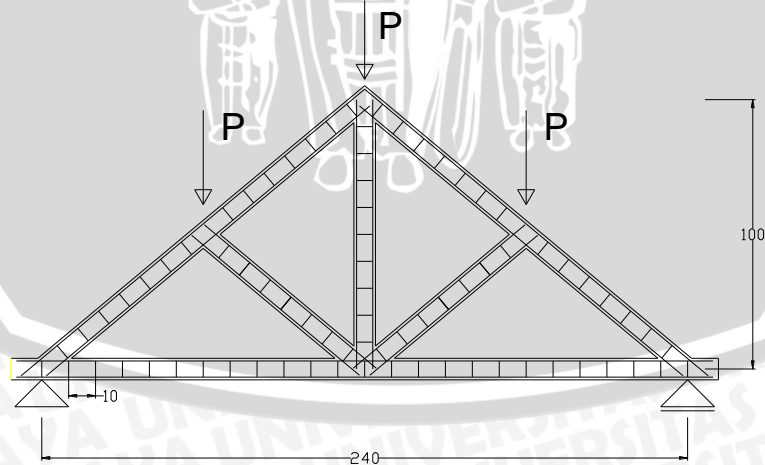
Gambar 3.2 Detail Potongan



Gambar 3.3 Detail Penulangan Rangka Batang

3.6. Pemodelan Pembebanan

Setelah dilakukan pengecoran dan pembongkaran bekisting pada kuda-kuda, maka akan dimulai pengujian. Pengujian ini dilakukan pada saat umur beton 28 hari sejak pengecoran. Kuda-kuda diletakkan pada rangka pembebanan kemudian mulai ditekan dengan alat uji tekan. Setelah peralatan uji siap pada rangka pengujian, pembebanan mulai dilakukan secara bertahap sampai mencapai beban maksimum saat benda uji mulai menampakkan retak tekan pada kuda-kuda. Adapun rangka pembebanan untuk kuda-kuda dapat dilihat pada Gambar 3.4. Dari alat uji tekan akan didapatkan besar beban terpusat P_u .



Gambar 3.4 Rangka pembebanan untuk kuda-kuda beton komposit.

3.7. Metode Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan pengujian benda uji sebanyak tiga buah, baik untuk kuda-kuda dengan jarak sengkang 10 cm maupun jarak sengkang 15 cm. Pengambilan data dengan mencatat besarnya beban yang diberikan pada saat keruntuhan mulai terjadi, serta lendutan yang dihasilkan akibat dari pemberian beban tersebut.

3.8. Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

P (kg)	Defleksi (mm)		
	Kuda-kuda jarak sengkang 10 cm		
	I	II	III
0
1
2
3
...
Pu

P (kg)	Defleksi (mm)		
	Kuda-kuda jarak sengkang 15 cm		
	I	II	III
0
1
2
3
...
Pu

Setelah data diambil, maka akan dibuat sebuah grafik yang menghubungkan antara besarnya pembebanan (kg) yang diberikan pada kuda-kuda hingga mencapai keruntuhan dengan besarnya lendutan yang terjadi (mm). Proses pemberian beban dihentikan ketika alat pembaca lendutan (*dial gauge*) sudah tidak mengalami perubahan lagi atau *strain gauge* sudah tidak terbaca lagi.

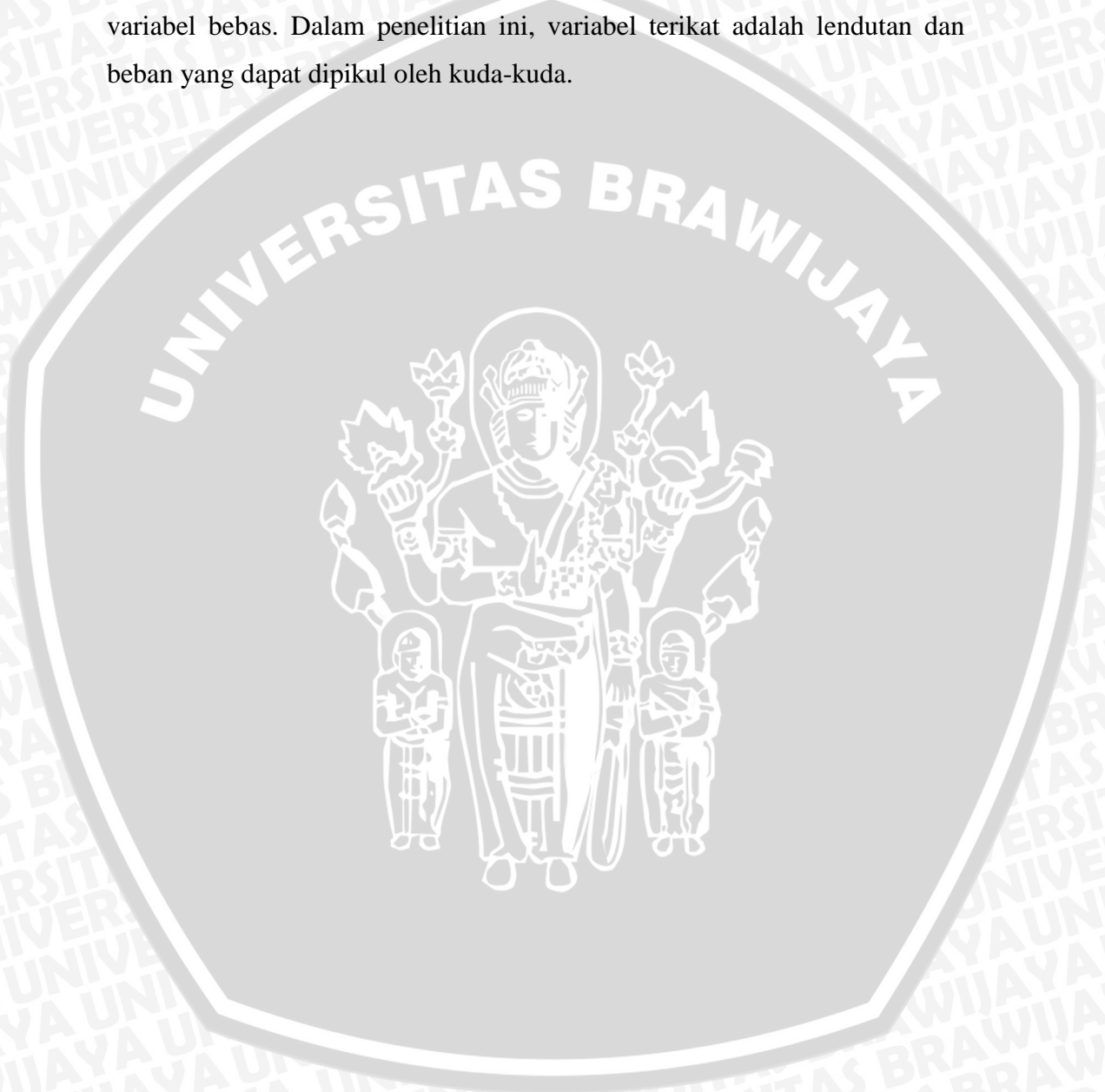
3.9. Analisis Kuda-Kuda Beton Komposit

1. Mengetahui lendutan yang terjadi pada kuda-kuda yang dibebani oleh beban terpusat.
2. Mengetahui lendutan antara kuda-kuda dengan jarak sengkang 10 cm dan 15 cm, hasil pengujian pembebanan, serta besar defleksi akibat momen ultimit tersebut.
3. Membandingkan besar beban maksimum yang dapat ditahan oleh kuda-kuda antara eksperimental dengan analisis teoritis.

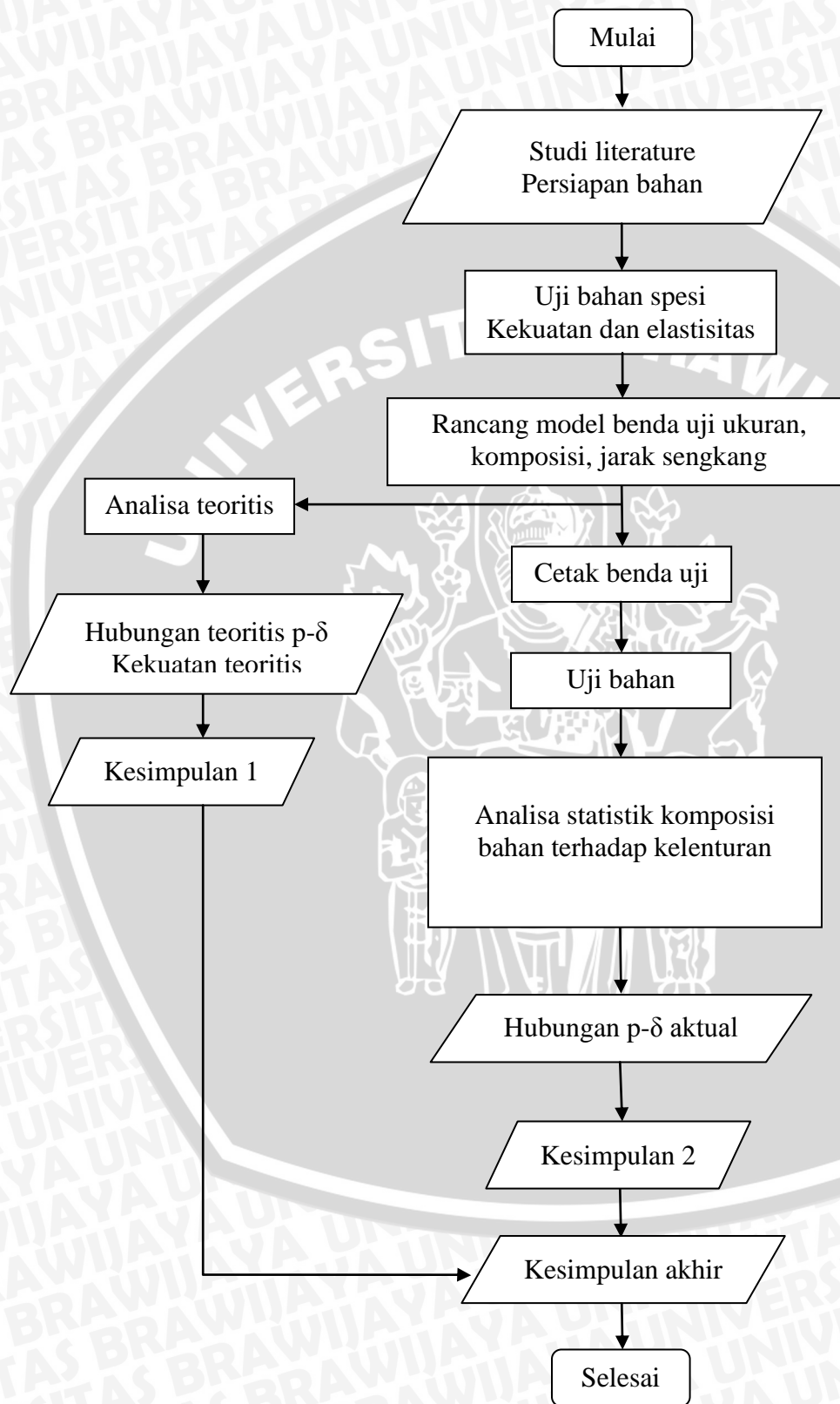
3.10 Variabel Penelitian

Adapun variabel yang dipakai dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel Bebas (*independent variable*) : variabel yang perubahannya bebas ditentukan peneliti. Dalam penelitian ini, variabel bebas adalah jarak sengkang rangka kuda-kuda beton komposit.
2. Variabel Terikat (*dependent variable*) : variabel yang tergantung pada variabel bebas. Dalam penelitian ini, variabel terikat adalah lendutan dan beban yang dapat dipikul oleh kuda-kuda.



3.11 Diagram Alir Penelitian



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Sifat-sifat Bahan Penyusun Kuda-kuda Beton Komposit

Pengujian utama dari penelitian ini adalah pengujian pembebanan kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dengan beban tekan sentris. Beberapa pengujian lain dilakukan untuk melengkapi data yang diperlukan oleh pengujian utama, antara lain : pengujian kuat tekan beton keras dengan benda uji silinder diameter 10 cm dan tinggi 15 cm.

4.1.1 Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Portland Cement type I produksi PT. Semen Gresik yang umum digunakan sehingga tidak dilakukan pengujian khusus terhadap semen.

4.1.2 Air

Dalam penelitian ini air yang digunakan adalah air PDAM Kota Malang yang tersedia di laboratorium dan tidak dilakukan pengujian terhadap air.

4.1.3 Pasir dan Kerikil

Pasir yang digunakan berupa pasir alami, sedang untuk kerikil yang dipakai dalam penelitian ini berupa batu pecah yang berasal dari daerah Malang. Tidak dilakukan pengujian khusus dalam penggunaan pasir dan kerikil, agar kondisinya mendekati keadaan yang sebenarnya di lapangan, maka diusahakan tidak dicuci akan tetapi dijaga dari adanya kotoran organik, lumpur, maupun sampah.

4.1.4 Bambu Tulangan

Pemeriksaan tegangan leleh rata-rata bambu tulangan dilakukan dengan menggunakan 3 sampel dengan ukuran $9 \times 17 \text{ mm}^2$, $9 \times 18,5 \text{ mm}^2$, dan $10,35 \times 17,75 \text{ mm}^2$. Pengujian ini didapat nilai tegangan tarik dan leleh dari bambu. Adapun hasil pengujian tampak pada tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Pengujian Bambu

Diameter	Bambu (9x17 ; 9x18,5 ; 10,35x17,75 mm ²)		
No Sampel	1	2	3
Ukuran	9x17 mm ²	9x18,5 mm ²	10,35x17,75 mm ²
Lokasi Sampel dari Pangkal Batang Bambu	2 m	2 m	1 m
P Leleh (kN)	21	22	33
Fy (Mpa)	137,5	132,13	179,63
Fy rata-rata (Mpa)	149,67		
ey Rata-rata	0,00251 (dari J.J.A. Janssen)		
Eb Rata-rata (Mpa)	9000 (dari J.J.A. Janssen)		

Sumber : Hasil Pengujian dari Ir. Sri Umamiati, 2009.

4.2 Campuran Beton

Karena pada penelitian ini sudah ditentukan komposisi spesi yakni 1:4 dengan dimensi 8x8 cm maka untuk mendapatkan masing-masing komposisi campuran beton dilakukan dengan cara perbandingan volume pekerjaan saja. Dari hasil perhitungan didapat volume pekerjaan beton sebesar 0,051 m³ dan untuk berat beton sebesar 2400 kg/m³ sehingga didapatkan 122,4 kg untuk 1 benda uji. Adapun terlihat pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Campuran Beton per Benda Uji

No	Bahan Penyusun	FAS	Berat Beton (Kg)	Spesi 1:4 (Kg)
1	Semen	0,5	122,4	24,48
2	Pasir			48,96
3	Kerikil			48,96
4	Air			12,24

Sumber : Hasil penelitian dan perhitungan

4.3 Pengujian Beton Keras

Pada beton keras dilakukan pengujian kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari dengan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 15 cm sebanyak 6 benda uji.

Adapun kuat tekan yang diinginkan sebesar 22,5 MPa tetapi dari hasil uji kuat tekan beton silinder didapatkan kuat tekan rata-rata 18,27 MPa untuk spesi 1:4. Untuk analisa rangka batang kuda-kuda komposit dalam penelitian ini menggunakan kuat tekan aktual tersebut diatas.

Tabel 4.3 Uji Kuat Tekan Beton

No	Komposisi Spesi	Berat (Kg)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
1	Spesi 1:4	I	1,902	18,90
		II	1,912	17,50
		III	1,860	17,80
		IV	1,957	16,69
		V	1,745	17,83
		VI	1,972	20,89

Sumber : Hasil penelitian dan perhitungan

Adapun ketidaksesuaian antara hasil mutu beton pada penelitian dengan yang diinginkan dikarenakan berbagai faktor, diantaranya kerikil yang digunakan kurang bersih dan belum sepenuhnya bebas dari debu atau lempung yang menempel dan faktor teknis saat pengecoran dan pengujian yang kurang terawasi dengan baik pada benda uji serta pemeliharaan benda uji.

Modulus elastisitas beton menggunakan persamaan $4700\sqrt{f'_c}$, sehingga diperoleh : 20089,41 MPa

4.4 Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis dimulai dengan hipotesis nol dan hipotesis tandingan atau alternatif. Penolakan hipotesis nol memiliki konsekuensi penerimaan hipotesis tandingan. Selain itu, ditentukan pula besar nilai *Level of Significance* (α) yang nilainya tergantung peneliti.

Pengujian hipotesis pada penelitian ini dilakukan dengan analisis varian satu arah, dengan cara uji F dimana kriteria pengujian dengan resiko kesalahan 5% ($\alpha = 0,05$), dan perhitungannya dilakukan secara manual. Dengan menggunakan perbedaan variasi jarak sengkang yaitu jarak sengkang 10 cm dan jarak sengkang 15 cm terhadap respon beban dan lendutan pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu. Analisis varian satu arah dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi jarak sengkang terhadap respon beban dan lendutan pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu. Dimana variasi jarak sengkang kuda-kuda merupakan variabel bebas sedangkan respon beban dan lendutan merupakan variabel terikat atau tidak bebas.

Pengujian hipotesis merupakan salah satu bagian terpenting dalam teknik pengambilan keputusan, untuk mengetahui apakah suatu pernyataan atau hipotesis suatu masalah diterima atau ditolak.

Keputusan diambil dengan membandingkan nilai signifikansi kedua variabel bebas dengan taraf signifikansi atau $\alpha = 5\%$, dengan pedoman :

- Nilai F hitung $>$ F tabel, maka H_0 ditolak
- Nilai F hitung $<$ F tabel, maka H_0 diterima

dimana :

- H_0 = Hipotesis yang menyatakan bahwa tidak terdapat pengaruh dari variasi jarak sengkang kuda-kuda terhadap respon beban dan lendutan pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu.
- H_1 = Hipotesis yang menyatakan bahwa terdapat pengaruh dari variasi jarak kuda-kuda terhadap respon beban dan lendutan pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu.

Dari perhitungan analisa varian untuk mengetahui pengaruh variasi jarak sengkang terhadap beban didapatkan harga $F_{hitung} = 1,8615$ dan $F_{tabel} = 7,71$, jadi $F_{hitung} < F_{tabel}$, artinya bahwa H_0 diterima dan H_1 ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari variasi jarak sengkang terhadap beban maksimum kuda-kuda beton komposit. Sedangkan untuk analisa varian untuk mengetahui pengaruh variasi jarak sengkang terhadap lendutan didapatkan $F_{hitung} = 0,00007235$ dan $F_{tabel} = 7,71$, jadi $F_{hitung} < F_{tabel}$, artinya bahwa

H_0 diterima dan H_1 ditolak, sehingga dapat dikatakan tidak terdapat pengaruh variasi jarak sengkang terhadap lendutan maksimum kuda-kuda beton komposit.

4.5 Pengujian Rangka Kuda-kuda Beton Komposit

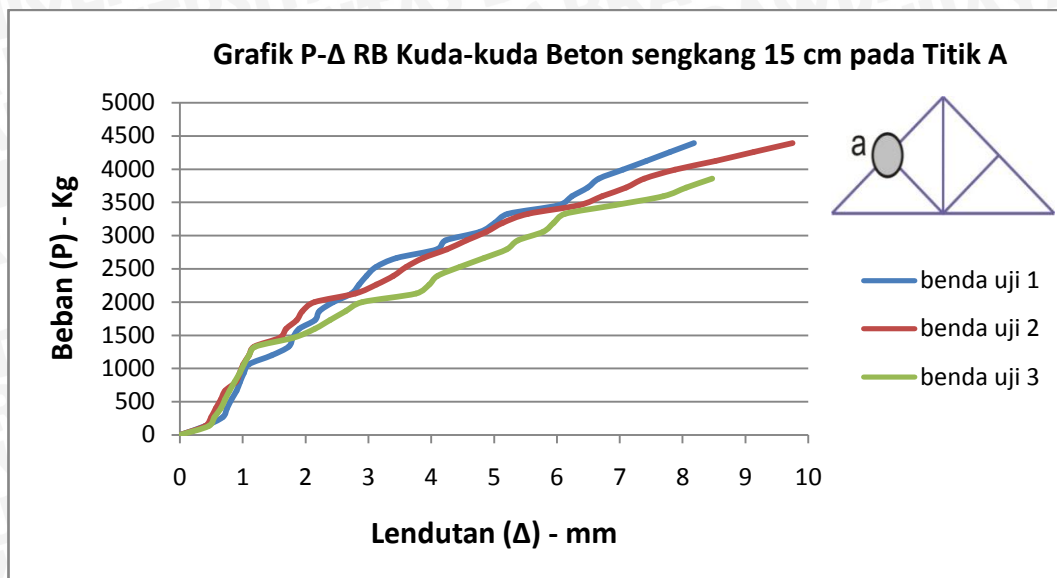
Pada pengujian rangka kuda-kuda ini dipakai uji pembebanan pada frame uji yang telah dipasang dongkrak yang dihubungkan dengan pompa. Kuda-kuda beton komposit yang akan diuji dibedakan menjadi 2 kelompok yaitu kuda-kuda jarak sengkang 10 cm dan jarak sengkang 15 cm dengan dimensi batang 8 x 8 cm. Total benda uji sebanyak 6 buah, dengan macam pengujian dibedakan 2 kelompok berdasarkan pada variasi penelitian pada jarak sengkang. Semua kuda-kuda memiliki bentang 240 cm dan tinggi 100 cm dengan sudut 40°. Rangka kuda-kuda ini dibebani oleh beban terpusat pada 3 titik simpul pada rangka. *Proving ring* kapasitas 25 ton dengan interval beban 133 kg digunakan mulai dari awal pengujian dengan kenaikan tiap satu strip (div) sampai kondisi runtuh pada kuda-kuda tersebut dimana pembebanan tidak dapat dilanjutkan lagi.

Pada saat pengujian di tiap titik simpul yang akan diamati dipasang *dial gauge* untuk mengetahui besar lendutan yang terjadi pada titik tersebut. Pola retak juga menjadi pengamatan pada saat pengujian berlangsung dan setiap kenaikan 5 strip dicek retak pada struktur kuda-kuda. Pada bab ini akan dibahas grafik hasil pengujian dan perbandingan antara analisa dan teori, sedang untuk data-data hasil pengujian terlampir pada bagian lampiran.

4.6 Hasil Penelitian dan Perhitungan

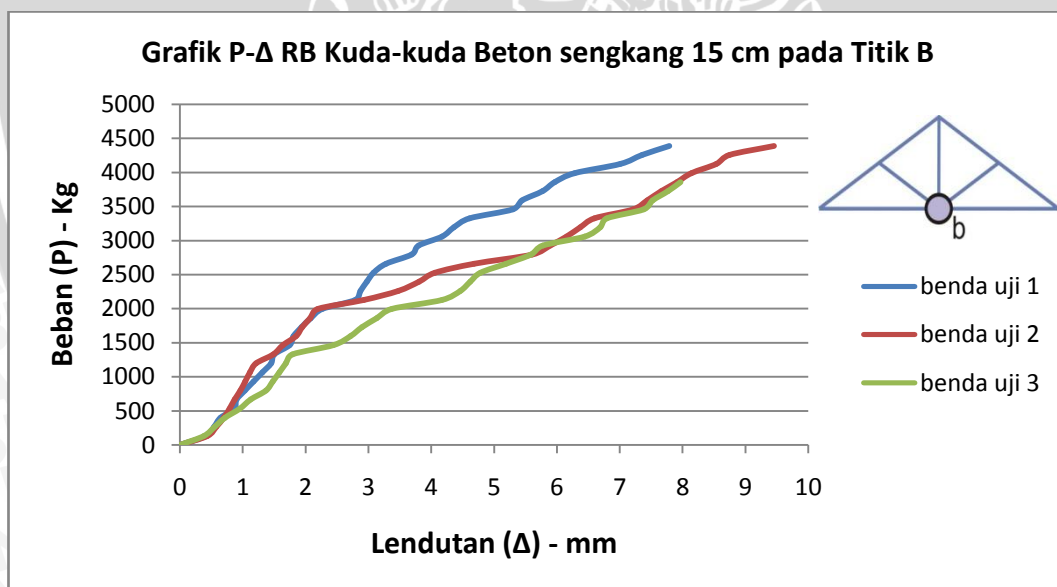
4.6.1 Hubungan Beban (P) dan Lendutan (Δ) Kuda-kuda Beton Komposit

Dari hasil pengujian laboratorium didapatkan nilai beban dan lendutan untuk kuda-kuda beton komposit dengan variasi jarak sengkang 15 cm dan 10 cm. Dalam melakukan pembacaan dial gauge untuk memperoleh nilai lendutan di pasang pada tiga titik. Data ini kemudian diolah dan ditampilkan dalam grafik berikut ini:



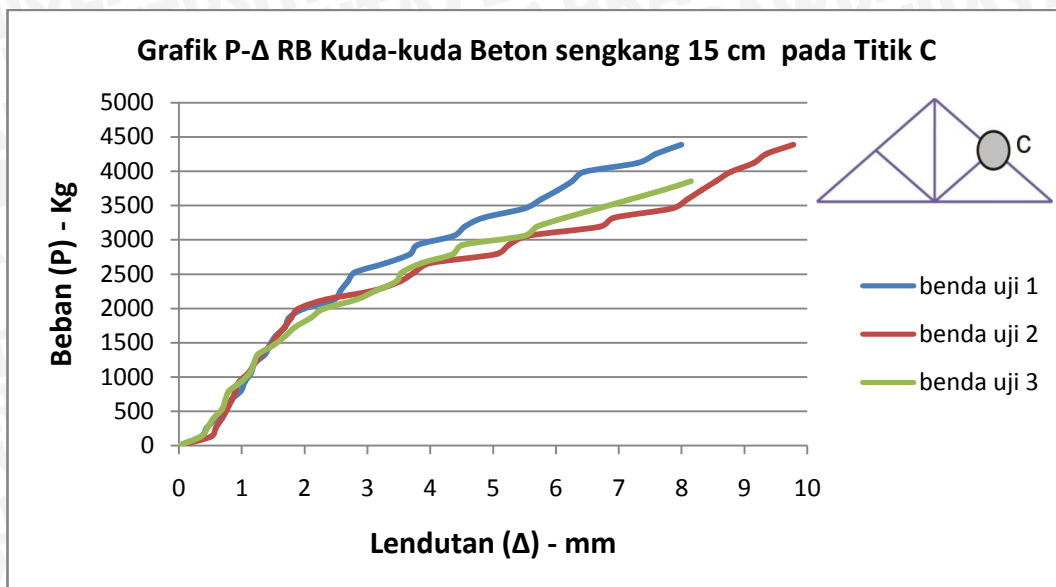
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Beban – Lendutan pada Kuda-kuda Beton Sengkang 15 cm di Titik A

Dari Grafik 4.1 dapat diketahui nilai lendutan maksimum kuda-kuda beton pada titik A dengan jarak sengkang 15 cm sebesar 9,75 mm saat beban 4389 Kg.



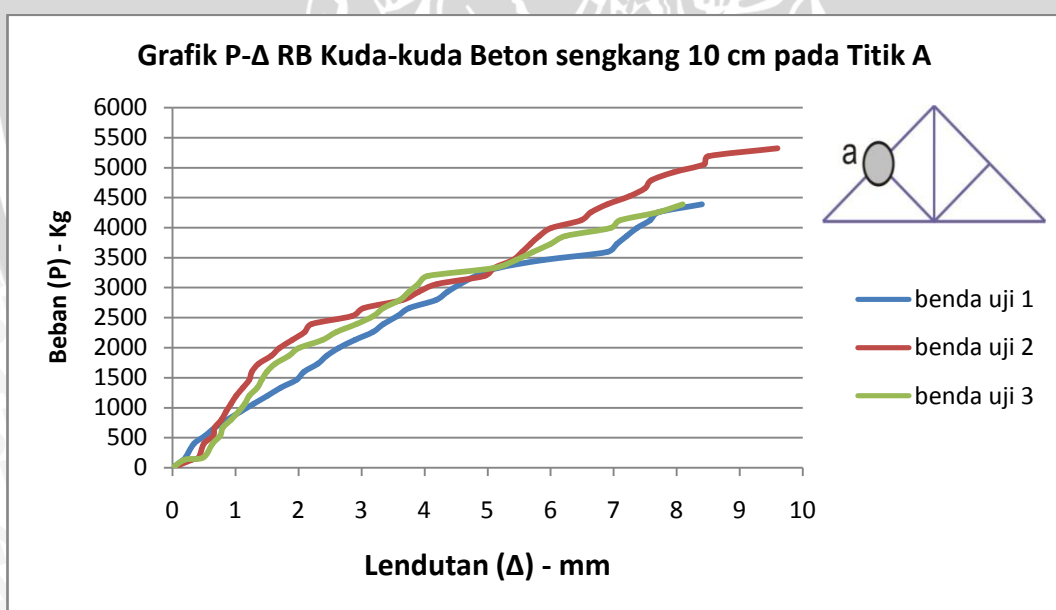
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Beban – Lendutan pada Kuda-kuda Beton Sengkang 15 cm di Titik B

Dari Grafik 4.2 dapat diketahui nilai lendutan maksimum pada titik B dengan jarak sengkang 15 cm sebesar 9,453 mm saat beban 4389 Kg.



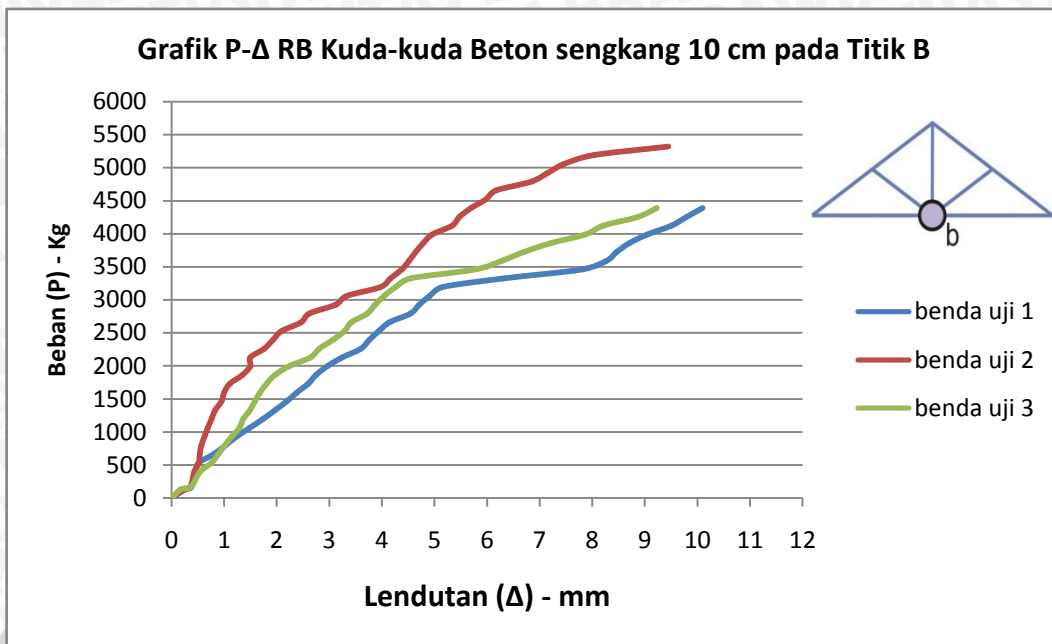
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Beban – Lendutan pada Kuda-kuda Beton Sengkang 15 cm di Titik C

Dari Grafik 4.3 dapat diketahui nilai lendutan maksimum pada titik C dengan jarak sengkang 15 cm sebesar 9,78 mm saat beban 4389 Kg.



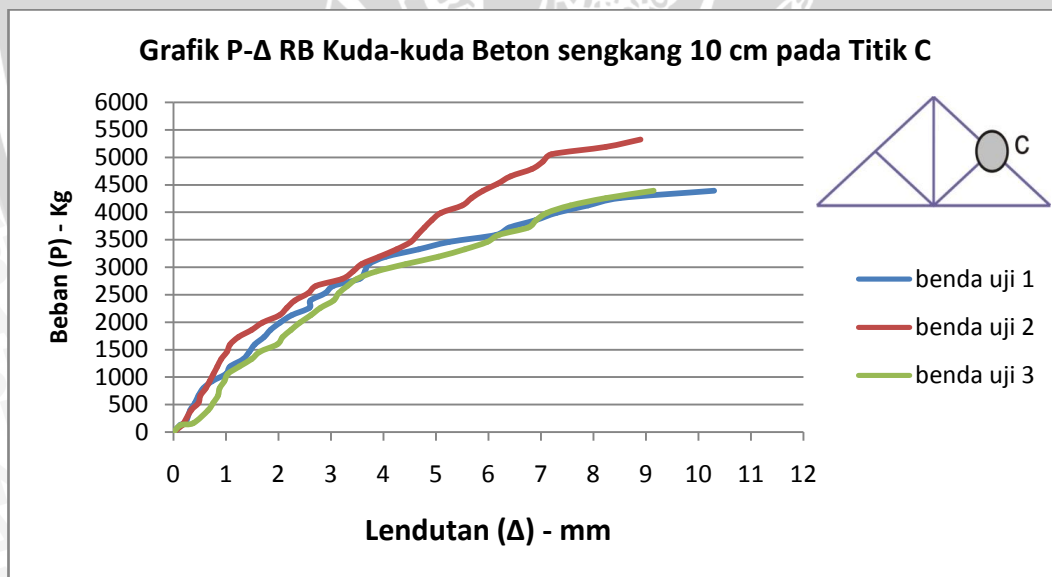
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Beban – Lendutan pada Kuda-kuda Beton Sengkang 10 cm di Titik A

Dari Grafik 4.4 dapat diketahui nilai lendutan maksimum pada titik A dengan jarak sengkang 10 cm sebesar 9,60 mm saat beban 5320 Kg.



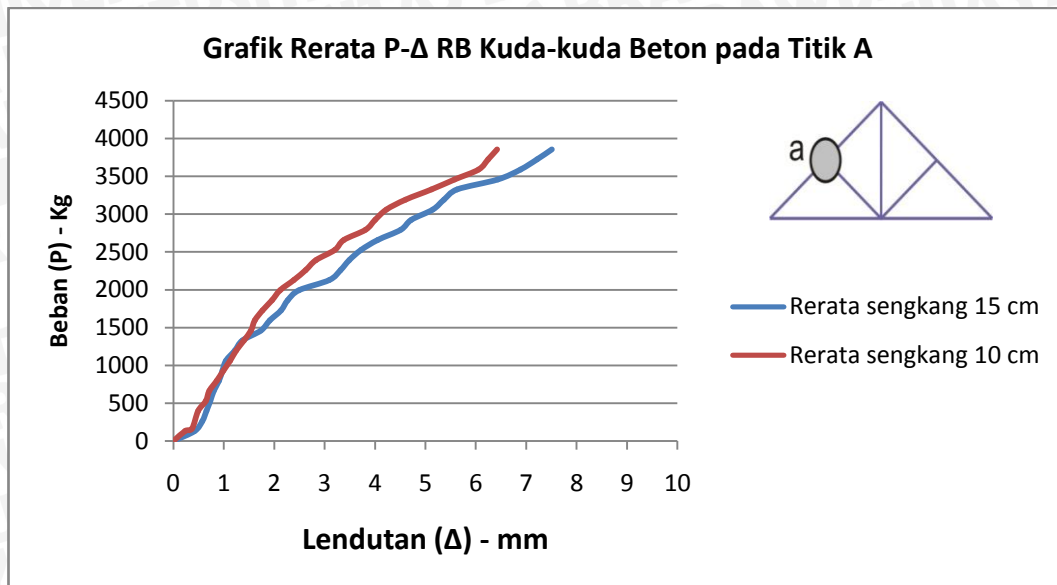
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Beban – Lendutan pada Kuda-kuda Beton Sengkang 10 cm di Titik B

Dari Grafik 4.5 dapat diketahui nilai lendutan maksimum pada titik B dengan jarak sengkang 10 cm sebesar 10,10 mm saat beban 4389 Kg.



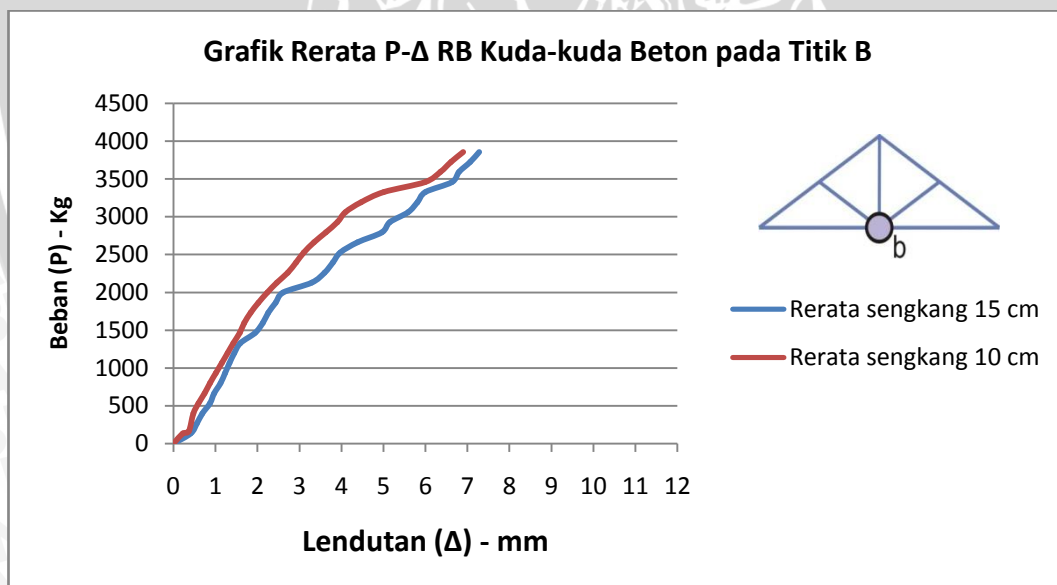
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Beban – Lendutan pada Kuda-kuda Beton Sengkang 10 cm di Titik C

Dari Grafik 4.6 dapat diketahui nilai lendutan maksimum pada titik C dengan jarak sengkang 10 cm sebesar 10,30 mm saat beban 4389 Kg.



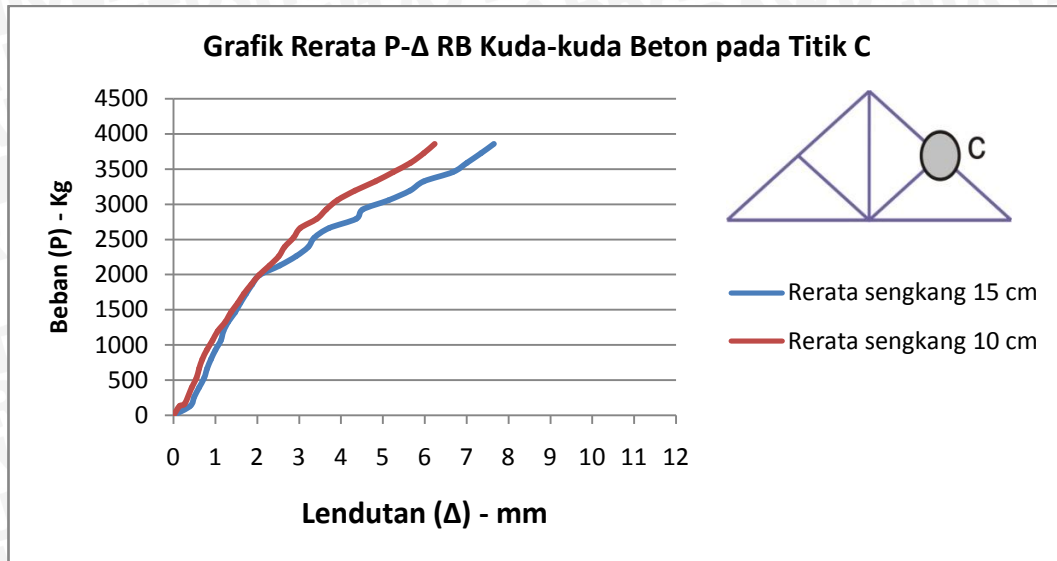
Gambar 4.7 Grafik Rerata Hubungan Beban – Lendutan pada Titik A

Dari Grafik 4.7 dapat diketahui bahwa di titik A ketika pembebanan 3857 Kg, nilai lendutan maksimum rata-rata pada kuda-kuda beton dengan jarak sengkang 15 cm sebesar 7,51 mm dan pada kuda-kuda beton dengan jarak sengkang 10 cm sebesar 6,423 mm.



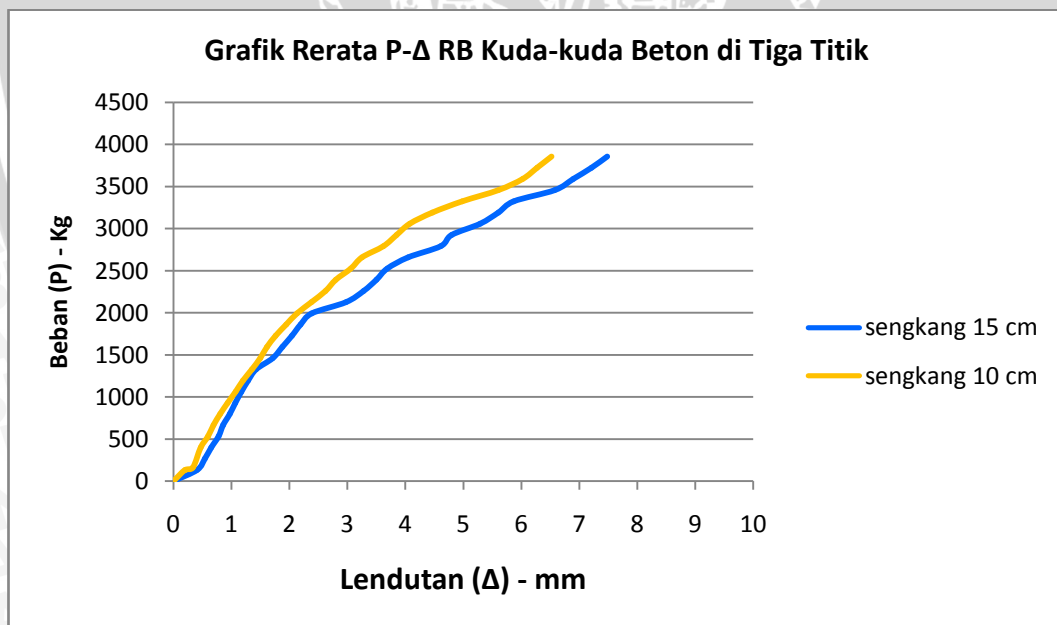
Gambar 4.8 Grafik Rerata Hubungan Beban – Lendutan pada Titik B

Dari Grafik 4.8 dapat diketahui bahwa di titik B ketika pembebanan 3857 Kg, nilai lendutan maksimum rata-rata pada kuda-kuda beton dengan jarak sengkang 15 cm sebesar 7,28 mm dan pada kuda-kuda beton dengan jarak sengkang 10 cm sebesar 6,898 mm.



Gambar 4.9 Grafik Rerata Hubungan Beban – Lendutan pada Titik C

Dari Grafik 4.9 dapat diketahui bahwa di titik C ketika pembebanan 3857 Kg, nilai lendutan maksimum rata-rata pada kuda-kuda beton dengan jarak sengkang 15 cm sebesar 7,653 mm dan pada kuda-kuda beton dengan jarak sengkang 10 cm sebesar 6,243 mm.



Gambar 4.10 Grafik Rerata Hubungan Beban – Lendutan di Tiga Titik

Dari Grafik 4.10 dapat diketahui bahwa ketika pembebanan 3857 Kg, nilai lendutan maksimum rata-rata pada kuda-kuda beton dengan jarak sengkang 15 cm

sebesar 7,481 mm dan pada kuda-kuda beton dengan jarak sengkang 10 cm sebesar 6,522 mm.

Dari grafik kuda-kuda beton komposit di atas menunjukkan hubungan antara beban – lendutan adalah linier dan kuda-kuda dengan jarak sengkang 10 cm memiliki nilai beban maksimum dan lendutan maksimum lebih besar daripada kuda-kuda dengan jarak sengkang 15 cm.

Dari pengujian laboratorium, beban maksimum pada rangka kuda-kuda ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4.4 Beban Maksimum Eksperimen

Variasi	Benda Uji	Beban maks (Kg)
Jarak sengkang 15 cm	1	4389
	2	4389
	3	3857
Jarak sengkang 10 cm	1	4389
	2	5320
	3	4389

Sumber : Hasil Penelitian

Untuk mengetahui perbedaan lendutan yang terjadi pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu antara jarak sengkang 10 cm dan 15 cm, dipakai pembebanan dengan beban maksimum yang terkecil yaitu sebesar 3857 kg. Dari pengujian laboratorium, beban dan lendutan pada rangka kuda-kuda ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4.5 Beban Batas dan Lendutan Maksimum

Variasi	Titik Buhul Amatan	Beban Batas (Kg)	Lendutan - Δ (mm)	Rata-rata (mm)
Jarak sengkang 15 cm	A	3857	7,51	7,481
	B		7,281	
	C		7,653	
Jarak sengkang 10 cm	A	3857	6,423	6,522
	B		6,898	
	C		6,243	

Sumber : Hasil Penelitian dan Perhitungan

4.6.2 Perhitungan Analisa Teori Beban dan Lendutan Rangka Kuda-kuda Beton Komposit dan Rangka Kuda-kuda Kayu

Suatu eksperimen diperlukan untuk membuktikan secara nyata dari teori yang ada dan digunakan untuk mengetahui sejauh mana perbedaan antara perilaku struktur yang secara kenyataan dan dalam teori. Maka perlu dilakukan analisa teori.

Dalam penelitian ini, analisa teori dipakai untuk menghitung beban maksimum yang dapat ditahan oleh struktur kuda-kuda beton komposit dengan menggunakan metode keseimbangan titik buhul, begitu juga untuk menghitung kuda-kuda kayu. Adapun perhitungan kayu berdasarkan Tata Cara Perencanaan Struktur Kayu Untuk Bangunan Gedung SNI 2002.

Beban maksimum teori yang diperoleh dari perhitungan tersebut kemudian digunakan untuk menghitung lendutan maksimum yang terjadi pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dan kuda-kuda kayu meranti dengan menggunakan metode unit load. Berikut hasil perhitungannya ditampilkan pada table 4.6.

Tabel 4.6 Beban Batas dan Lendutan Maksimum Teoritis

Rangka Kuda-kuda	Titik Buhul	Beban Batas Akibat Beban Luar Total (Kg)	Lendutan - Δ (mm)	Rata-rata (mm)
Beton Komposit	A	2184,913	0,330	0,345
	B		0,376	
	C		0,330	
Kayu	A	4594,83	1,478	1,544
	B		1,677	
	C		1,478	

Sumber : Hasil Penelitian dan Perhitungan

4.6.3 Perbandingan Analisa Teoritis dan Hasil Eksperimen

Perbandingan analisa teoritis dengan hasil eksperimen digunakan untuk mengetahui sejauh mana perbedaan antara perilaku struktur yang secara kenyataan dan dalam teori.

Dalam penelitian ini yang dibandingkan adalah nilai beban dan lendutan antara kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dengan kuda-kuda kayu meranti. Untuk memperoleh nilai beban dan lendutan lendutan, masing-masing variasi dilakukan analisa dan hitungan pada tiga titik. Data ini kemudian diolah dan ditampilkan dalam tabel berikut ini :

Tabel 4.7 Perbandingan Eksperimen dan Teoritis

Rangka Kuda-kuda	Titik Buhul	Beban Batas Akibat Beban Luar Total (Kg)	Lendutan - Δ (mm)	Rata-rata (mm)
Beton Komposit Teori	A	2184,913	0,330	0,345
	B		0,376	
	C		0,330	
Beton Komposit Eksperimen Senggang 15 cm	A	3857	7,51	7,481
	B		7,281	
	C		7,653	
Beton Komposit Eksperimen Senggang 10 cm	A	3857	6,423	6,522
	B		6,898	
	C		6,243	
Kayu Teori	A	4594,83	1,478	1,544
	B		1,677	
	C		1,478	

Sumber : Hasil Penelitian dan Perhitungan

4.7 Pembahasan

4.7.1 Perbandingan Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Jarak Senggang 10 cm dengan Jarak Senggang 15 cm

Senggang pada kuda-kuda beton komposit berfungsi untuk mengurangi bahaya pecah (*splitting*) beton yang dapat mempengaruhi daktilitas kuda-kuda beton komposit tersebut. Senggang didistribusikan melintang secara merata di seluruh penampang kuda-kuda beton komposit untuk mengikat tulangan utama atau memanjang.

Dalam penelitian ini, kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dibedakan menjadi dua variasi, kuda-kuda komposit dengan jarak sengkang 10 cm dan kuda-kuda komposit dengan jarak sengkang 15 cm. Penempatan sengkang yang relatif rapat dapat memperbaiki sifat beton, karena dapat memberikan pengekangan yang lebih baik dan meningkatkan kapasitas kuda-kuda beton komposit untuk menahan beban yang dipikul. Dengan meningkatnya beban, membuat kuda-kuda beton komposit memiliki lendutan yang besar sebelum keruntuhan. Oleh karena itu, semakin rapat jarak sengkang, maka semakin kecil terjadinya tekuk dan lendutan pada kuda-kuda beton komposit yang akan mengakibatkan keruntuhan.

4.7.2 Perbandingan Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu dengan Kuda-kuda Kayu Meranti

Kuda-kuda merupakan sistem rangka sederhana dimana sistem struktur yang diperoleh dengan menyambungkan batang-batang lurus satu sama lain lewat sambungan yang bersifat sendi, yang lazim dikenal sebagai titik buhul. Gaya luar dapat diatur hingga bekerja tepat pada titik buhul. Karena batang-batang umumnya akan memikul gaya aksial berupa gaya tarik, atau gaya tekan, ataupun tekan dan tarik secara bergantian (gaya bertukar), maka struktur rangka sederhana sering terbuat dari bahan baja / logam, kayu, yang memiliki sifat ketahanan yang hampir setara terhadap tarik dan tekan.

Dalam penelitian ini, kuda-kuda yang di analisa adalah kuda-kuda komposit dengan tulangan bambu dan kuda-kuda kayu. Baik kuda-kuda komposit tulangan bambu dan kuda-kuda kayu mendapatkan perlakuan dan respons beban yang sama.

Respons beban pada kuda-kuda beton komposit dan kuda-kuda kayu merupakan beban maksimum yang mampu ditahan oleh elemen struktur tersebut. Beban-beban yang bekerja pada kuda-kuda tersebut menyebabkan adanya lendutan pada elemen struktur kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dan kuda-kuda kayu. Lendutan pada struktur rangka batang seperti kuda-kuda merupakan deformasi total elemen-elemen batang pada titik pertemuan atau titik buhulnya akibat adanya gaya-gaya aksial dalam elemen-elemen batang tersebut.

Keuntungan dari material beton yang komposit adalah tidak adanya perlemahan kekuatan akibat adanya sambungan, sehingga lendutan yang terjadi akan semakin kecil. Adapun kuda-kuda kayu kekuatannya akan berkurang akibat adanya perlemahan pada sambungan di setiap titik buhulnya.

4.7.3 Model Keruntuhan

Model keruntuhan yang terjadi dapat dilihat dari pola retaknya. Dari semua benda uji memiliki pola retak yang hampir sama dengan pola retak awal retak tegak lurus terhadap sumbu balok. Ada perbedaan retak awal yang terjadi pada struktur kuda-kuda pada semua benda uji, berikut tabel data yang didapat dalam penelitian.

Tabel 4.8 Retak Awal Kuda-kuda Beton Komposit

Variasi		Beban (Kg)	Lebar Retak (mm)
Jarak sengkang 15 cm	1	1995	0,2
	2	1330	0,2
	3	1330	0,2
Jarak sengkang 10 cm	1	1330	0,2
	2	1995	0,14
	3	1995	0,14

Sumber : Hasil Penelitian

Dengan penambahan beban yang diberikan pada struktur maka retak yang muncul ada pada sekitar perletakan dan daerah tarik struktur dengan pola garis miring. Pada saat beban maksimum, keruntuhan ada pada salah satu titik perletakan dimana daerah tersebut paling lemah karena adanya pengaruh gaya tekan yang bekerja bersamaan dengan beton tidak mampu menahan tekan lagi.

4.7.4 Perbedaan Lendutan dari hasil Penelitian terhadap Teori

Perbedaan lendutan antara hasil penelitian dengan teori dikarenakan beberapa sebab, diantaranya :

- Pada kondisi penelitian terjadi retakan kuda-kuda saat pembebanan sehingga menambah besar lendutan yang terjadi, sedangkan pada analisis struktur rangka batang dengan Metode Unit Load tidak terjadi retakan karena benda uji diasumsikan hanya mengalami lendutan tanpa mengalami retakan.
- Modulus Elastisitas (E) yang terjadi pada kondisi penelitian berbeda dengan Modulus Elastisitas yang dipakai pada perhitungan teoritis. Karena Modulus Elastisitas (E) pada kondisi penelitian merupakan Modulus Elastisitas (E) beton komposit dengan tulangan bambu. Sedangkan Modulus Elastisitas yang dipakai dalam perhitungan rangka batang dengan metode Unit Load adalah Modulus Elastisitas (E) beton silinder yang padat dan belum ada tulangan bambu.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Agar tidak mengalami keruntuhan, suatu struktur haruslah memiliki kemampuan untuk menahan beban dari luar. Beban luar yang mampu ditahan oleh kuda-kuda beton komposit tulangan bambu inilah yang menimbulkan lendutan pada masing-masing batang kuda-kuda. Besarnya lendutan dan hubungan antara beban dan lendutan pada kuda-kuda beton komposit dapat dilihat pada grafik hubungan P- Δ .

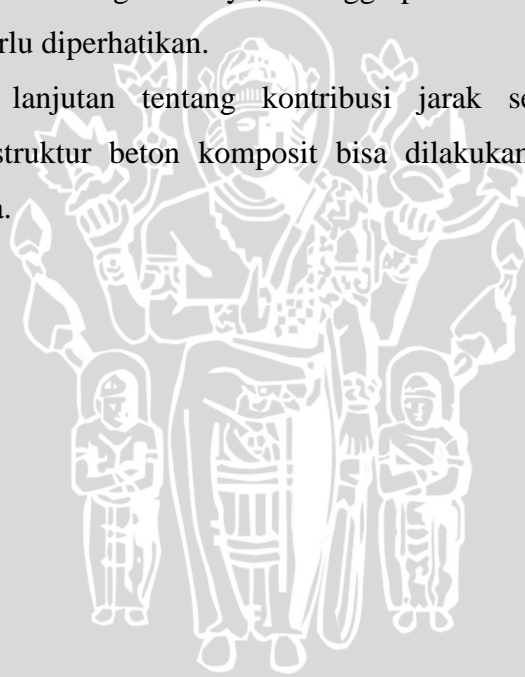
Dari penelitian dan pengolahan data dapat disimpulkan bahwa :

1. Terdapat perbedaan nilai respons beban pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu jarak sengkang 10 cm dengan jarak sengkang 15 cm. Kuda-kuda beton komposit dengan jarak sengkang 10 cm mampu menahan beban maksimum hingga 5320 kg, sedangkan kuda-kuda beton komposit dengan jarak sengkang 15 cm hanya mampu menahan beban maksimum sebesar 4389 kg.
2. Batang tekan kuda-kuda komposit tulangan bambu lebih kuat dibandingkan dengan kuda-kuda kayu meranti. Sedangkan pada batang tariknya, kuda-kuda komposit tulangan bambu tidak cukup kuat dibandingkan dengan kuda-kuda kayu meranti. Beban maksimum yang mampu ditahan oleh kuda-kuda beton komposit 7877,754 kg untuk batang tekan dan 2184,913 kg untuk batang tariknya. Sedangkan kuda-kuda kayu mampu menahan beban maksimum 5180,065 kg untuk batang tekan dan 4594,83 kg untuk batang tarik.
3. Terdapat perbedaan lendutan pada kuda-kuda komposit tulangan bambu antara perhitungan teoritis dengan pengujian eksperimental. Pada perhitungan teoritis nilai lendutan rata-rata sebesar 0,345 mm dengan beban batas sebesar 2184,913 kg. Sedangkan pada pengujian eksperimental lendutan rata-rata sebesar 6,522 mm untuk jarak sengkang 10 cm dan 7,481 mm untuk jarak sengkang 15 cm dengan beban batas yang terkecil sebesar 3857 kg.

5.2 Saran

Adapun saran yang bisa disampaikan antara lain :

1. Sambungan pada setiap titik buhul adalah daerah rawan terjadi keruntuhan pada tulangan (putus), sehingga perkuatan pada titik buhul tersebut perlu diperhatikan.
2. Agar diperoleh hasil penelitian yang lebih jelas, disarankan jarak sengkang yang dipakai lebih lebar.
3. Untuk pekerjaan struktur, kuda-kuda komposit tulangan bambu dengan jarak sengkang yang lebih lebar bisa menjadi pilihan dikarenakan lebih murah dan efisien.
4. Batang tarik kuda-kuda komposit tulangan bambu jauh lebih lemah dibandingkan batang tekannya, sehingga perkuatan pada batang tarik tersebut perlu diperhatikan.
5. Pengujian lanjutan tentang kontribusi jarak sengkang terhadap kekuatan struktur beton komposit bisa dilakukan untuk penelitian selanjutnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Wibowo, Ari ST, MT & Setyowati, Edhi Wahjuni Ir, MT. 2003. *Buku Diklat Teknologi Bahan*.
- Nurlina, Siti Ir, MT. 2008. *Buku Ajar Struktur Kayu*. Puspantoro, Ign. Benny Ir, MSc. 1996. *Konstruksi Bangunan Gedung Tidak Bertingkat*. Edisi Revisi. Yogyakarta : Penerbitan Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Hariandja, Binsar Ir, M.Eng, Ph.D. 1996. *Mekanika Teknik : Statika Dalam Analisis Struktur Berbentuk Rangka*. Jakarta : Erlangga.
- Dewi, Sri Murni Prof, Dr, Ir, MS. 2008. *Mekanika Struktur Komposit*. Malang : Bargie Media.
- Frick, Heinz. 2004. *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*. Semarang : Kanisius & Soegijapranata University Press.
- Wahyudi, L & Rahim, Syahril A. 1999. *Struktur Beton Bertulang, Standar Baru SNI T-15-1991-03*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Schodek, Daniel L. 1995. *Struktur*. Terjemahan Ir. Bambang Suryoatmono, M.Sc. Bandung: PT Eresco.
- Nawy, Edward G. 1998. *Beton Bertulang, Suatu Pendekatan Dasar*. Terjemahan Ir. Bambang Suryoatmono, M.Sc. Bandung: PT Erika Aditama.
- Dipohusodo, Istimawan. 1999. *Struktur Beton Bertulang, Berdasarkan SK SNI T 15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum RI*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- SNI 03-1729-2000. *Tata Cara Perencanaan Struktur Kayu Untuk Bangunan Gedung*. Departemen Pekerjaan Umum.



LAMPIRAN

Lampiran 1

Data lendutan pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu
komposisi 1 : 4, jarak sengkang 15 cm, model rangka A

No.	Beban (kg)	Lendutan (mm)												
		Titik A			Titik B			Titik C			Rerata			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	Titik A	Titik B	Titik C	Total
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	133	0.4	0.4	0.46	0.418	0.439	0.381	0.35	0.51	0.35	0.420	0.413	0.403	0.412
2	266	0.68	0.5	0.55	0.545	0.58	0.554	0.45	0.59	0.46	0.577	0.560	0.500	0.545
3	399	0.75	0.57	0.65	0.646	0.7	0.716	0.6	0.69	0.55	0.657	0.687	0.613	0.652
4	532	0.82	0.65	0.72	0.865	0.79	0.951	0.75	0.77	0.69	0.730	0.869	0.737	0.778
5	665	0.9	0.72	0.79	0.901	0.872	1.127	0.83	0.84	0.74	0.803	0.967	0.803	0.858
6	798	0.96	0.89	0.87	1.032	0.965	1.37	0.99	0.9	0.8	0.907	1.122	0.897	0.975
7	931	1.02	0.95	0.95	1.171	1.041	1.476	1.05	0.96	0.99	0.973	1.229	1.000	1.068
8	1064	1.1	1.01	1.02	1.314	1.115	1.585	1.15	1.11	1.13	1.043	1.338	1.130	1.170
9	1197	1.46	1.1	1.1	1.452	1.214	1.685	1.2	1.2	1.19	1.220	1.450	1.197	1.289
10	1330	1.73	1.18	1.2	1.501	1.486	1.793	1.37	1.31	1.26	1.370	1.593	1.313	1.426
11	1463	1.8	1.59	1.81	1.745	1.639	2.446	1.44	1.46	1.5	1.733	1.943	1.467	1.714
12	1596	1.9	1.69	2.15	1.808	1.85	2.717	1.54	1.56	1.69	1.913	2.125	1.597	1.878
13	1729	2.15	1.86	2.39	1.938	1.946	2.9	1.69	1.68	1.85	2.133	2.261	1.740	2.045
14	1862	2.22	1.95	2.64	2.083	2.074	3.133	1.75	1.79	2.1	2.270	2.430	1.880	2.193
15	1995	2.44	2.14	2.9	2.269	2.195	3.373	1.98	1.9	2.3	2.493	2.612	2.060	2.389
16	2128	2.73	2.79	3.76	2.791	2.928	4.174	2.47	2.33	2.82	3.093	3.298	2.540	2.977
17	2261	2.85	3.13	3.97	2.875	3.473	4.461	2.57	3.09	3.14	3.317	3.603	2.933	3.284

18	2394	2.97	3.4	4.1	2.974	3.804	4.621	2.69	3.52	3.46	3.490	3.800	3.223	3.504
19	2527	3.12	3.6	4.45	3.084	4.058	4.783	2.8	3.75	3.55	3.723	3.975	3.367	3.688
20	2660	3.45	3.87	4.84	3.281	4.682	5.189	3.29	4	3.86	4.053	4.384	3.717	4.051
21	2793	4.09	4.25	5.2	3.689	5.61	5.587	3.68	5.05	4.36	4.513	4.962	4.363	4.613
22	2926	4.23	4.56	5.38	3.8	5.894	5.777	3.8	5.25	4.52	4.723	5.157	4.523	4.801
23	3059	4.78	4.88	5.78	4.172	6.152	6.442	4.37	5.55	5.49	5.147	5.589	5.137	5.291
24	3192	5.01	5.14	5.95	4.36	6.371	6.689	4.55	6.7	5.7	5.367	5.807	5.650	5.608
25	3325	5.22	5.54	6.13	4.608	6.596	6.797	4.85	6.93	6.15	5.630	6.000	5.977	5.869
26	3458	6.03	6.35	6.92	5.299	7.214	7.38	5.5	7.85	6.68	6.433	6.631	6.677	6.580
27	3591	6.24	6.72	7.69	5.447	7.435	7.522	5.76	8.09	7.18	6.883	6.801	7.010	6.898
28	3724	6.49	7.1	8.06	5.773	7.662	7.767	6.03	8.32	7.7	7.217	7.067	7.350	7.211
29	3857	6.67	7.39	8.47	5.966	7.91	7.966	6.26	8.55	8.15	7.510	7.281	7.653	7.481
30	3990	7.05	7.88		6.281	8.139		6.45	8.78					
31	4123	7.42	8.52		7.011	8.538		7.3	9.15					
32	4256	7.8	9.13		7.356	8.749		7.6	9.36					
33	4389	8.18	9.75		7.788	9.453		8	9.78					

Lampiran 2

Data lendutan pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu
komposisi 1 : 4, jarak sengkang 10 cm, model rangka A

No	Beban (Kg)	Lendutan (mm)												
		Titik A			Titik B			Titik C			Rerata			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	Titik A	Titik B	Titik C	Total
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	133	0.180	0.310	0.200	0.230	0.261	0.179	0.130	0.170	0.140	0.230	0.223	0.147	0.200
2	166	0.210	0.420	0.490	0.380	0.363	0.365	0.230	0.200	0.380	0.373	0.369	0.270	0.338
3	399	0.340	0.500	0.635	0.450	0.435	0.543	0.320	0.340	0.660	0.492	0.476	0.440	0.469
4	532	0.520	0.650	0.756	0.518	0.520	0.760	0.410	0.480	0.760	0.642	0.599	0.550	0.597
5	665	0.670	0.670	0.800	0.806	0.538	0.889	0.480	0.515	0.850	0.713	0.744	0.615	0.691
6	798	0.870	0.780	0.930	1.026	0.570	1.013	0.570	0.620	0.880	0.860	0.870	0.690	0.807
7	931	1.080	0.850	1.050	1.240	0.627	1.148	0.740	0.690	0.970	0.993	1.005	0.800	0.933
8	1064	1.290	0.930	1.150	1.487	0.690	1.293	1.000	0.765	1.040	1.123	1.157	0.935	1.072
9	1197	1.510	1.010	1.220	1.745	0.763	1.367	1.080	0.840	1.260	1.247	1.292	1.060	1.199
10	1330	1.720	1.120	1.350	1.965	0.832	1.495	1.330	0.910	1.490	1.397	1.431	1.243	1.357
11	1463	1.970	1.220	1.420	2.194	0.954	1.582	1.450	1.020	1.650	1.537	1.577	1.373	1.496
12	1596	2.090	1.260	1.500	2.380	1.001	1.684	1.550	1.080	1.980	1.617	1.688	1.537	1.614
13	1729	2.310	1.370	1.630	2.598	1.110	1.809	1.730	1.240	2.080	1.770	1.839	1.683	1.764
14	1862	2.450	1.570	1.850	2.750	1.346	1.968	1.850	1.490	2.240	1.957	2.021	1.860	1.946
15	1995	2.640	1.700	2.010	2.964	1.499	2.243	2.030	1.700	2.410	2.117	2.235	2.047	2.133
16	2128	2.890	1.900	2.380	3.248	1.499	2.642	2.250	2.020	2.620	2.390	2.463	2.297	2.383
17	2261	3.180	2.100	2.600	3.601	1.761	2.809	2.590	2.160	2.800	2.627	2.724	2.517	2.622

18	2394	3.350	2.210	2.920	3.761	1.931	3.070	2.610	2.310	3.050	2.827	2.921	2.657	2.801
19	2527	3.570	2.850	3.190	3.940	2.091	3.286	2.890	2.570	3.150	3.203	3.106	2.870	3.060
20	2660	3.760	3.040	3.350	4.148	2.467	3.424	3.050	2.720	3.320	3.383	3.346	3.030	3.253
21	2793	4.180	3.650	3.610	4.543	2.621	3.723	3.550	3.220	3.500	3.813	3.629	3.423	3.622
22	2926	4.360	3.900	3.750	4.713	3.124	3.875	3.650	3.420	3.870	4.003	3.904	3.647	3.851
23	3059	4.570	4.200	3.900	4.907	3.333	4.042	3.730	3.590	4.430	4.223	4.094	3.917	4.078
24	3192	4.810	4.950	4.050	5.158	3.976	4.260	4.050	3.920	5.050	4.603	4.465	4.340	4.469
25	3325	5.160	5.100	5.100	6.320	4.166	4.545	4.670	4.250	5.550	5.120	5.010	4.823	4.985
26	3458	5.890	5.400	5.450	7.807	4.381	5.781	5.250	4.520	5.980	5.580	5.990	5.250	5.607
27	3591	6.900	5.550	5.720	8.271	4.518	6.284	6.150	4.650	6.200	6.057	6.358	5.667	6.027
28	3724	7.050	5.680	6.000	8.467	4.648	6.707	6.400	4.780	6.760	6.243	6.607	5.980	6.277
29	3857	7.210	5.820	6.240	8.704	4.784	7.206	6.900	4.920	6.910	6.423	6.898	6.243	6.522
30	3990	7.370	6.010	6.950	9.047	4.957	7.865	7.300	5.100	7.120	6.777	7.290	6.507	6.858
31	4123	7.580	6.480	7.100	9.512	5.338	8.210	7.900	5.500	7.560	7.053	7.687	6.987	7.242
32	4256	7.710	6.640	7.700	9.796	5.476	8.870	8.500	5.680	8.240	7.350	8.047	7.473	7.624
33	4389	8.400	6.900	8.100	10.100	5.701	9.230	10.300	5.900	9.150	7.800	8.344	8.450	8.198
34	4522		7.250			5.976			6.180					
35	4655		7.500			6.174			6.420					
36	4788		7.600			6.836			6.830					
37	4921		7.950			7.158			7.040					
38	5054		8.440			7.460			7.200					
39	5187		8.500			8.023			8.240					
40	5320		9.600			9.450			8.900					

Lampiran 3

PERHITUNGAN UJI F DAN ANOVA

Benda Uji	P Maksimum (Kg)	
	Senggang 15 cm	Senggang 10 cm
1	4389,00	4389,00
2	4389,00	5320,00
3	3857,00	4389,00
Mean	4211,67	4699,33

$$k = 2 ; n = 3$$

$$\bar{X}_I = \frac{4389+4389+3857}{3} = 4211,67$$

$$\bar{X}_{II} = \frac{4389+5320+4389}{3} = 4699,33$$

$$\bar{X} = \frac{4211,67+4699,33}{2} = 4455,5 \text{ (over all mean)}$$

$$H_0 : \mu I = \mu II$$

$$H_1 : \mu I \neq \mu II$$

$$a = 0,05$$

$$k - 1 = 2 - 1 = 1$$

$$k(n - 1) = 2(3 - 1) = 4$$

$$F_{\text{tabel}} = 7,71$$

$$F_{\text{hitung}}$$

$$\begin{aligned} JKT &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x})^2 \\ &= (4389 - 4455,5)^2 + (4389 - 4455,5)^2 + (3857 - 4455,5)^2 + (4389 - 4455,5)^2 \\ &\quad + (5320 - 4455,5)^2 + (4389 - 4455,5)^2 \\ &= 1123251,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} JKG &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \\ &= (4389 - 4211,67)^2 + (4389 - 4211,67)^2 + (3857 - 4211,67)^2 + (4389 - \\ &\quad 4699,33)^2 + (5320 - 4699,33)^2 + (4389 - 4699,33)^2 \\ &= 766523,3 \end{aligned}$$

$$JKA = JKT - JKG$$

$$= 1123251,5 - 766523,3$$

$$= 356728,2$$

$$KTA = \frac{JKA}{(k-1)}$$

$$= \frac{356728,2}{(2-1)} = 356728,2$$

$$KTG = \frac{JKG}{k(n-1)}$$

$$= \frac{766523,3}{2(3-1)} = 191630,825$$

$$F_{hitung} = \frac{KTA}{KTG}$$

$$= \frac{356728,2}{191630,825} = 1,8615$$

$$F_{hitung} = 1,8615 < F_{tabel} = 7,71$$

Karena $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka disimpulkan:

P maks pada kuda-kuda beton jarak sengkang 15 cm dan P maks pada kuda-kuda jarak sengkang 10 cm tidak berbeda secara signifikan.

Benda Uji	Lendutan Maksimum (mm)	
	Sengkang 15 cm	Sengkang 10 cm
1	6.298667	7.604667
2	5.1	5.174667
3	8.195333	6.785333
Mean	6.531333	6.521556

$$k = 2 ; n = 3$$

$$\bar{X}_I = \frac{6,298667 + 5,1 + 8,19533}{3} = 6,531333$$

$$\bar{X}_{II} = \frac{7,604667 + 5,174667 + 6,785333}{3} = 6,521556$$

$$\bar{X} = \frac{7,06 + 9,25}{2} = 6,5264445 \text{ (over all mean)}$$

$$H_0 : \mu I = \mu II$$

$$H_1 : \mu I \neq \mu II$$

$$a = 0,05$$

$$k - 1 = 2 - 1 = 1$$

$$k(n - 1) = 2(3 - 1) = 4$$

$$F_{\text{tabel}} = 7,71$$

F_{hitung}

$$\begin{aligned} JKT &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x})^2 \\ &= (6,298667 - 6,5264445)^2 + (5,1 - 6,5264445)^2 + (8,195333 - 6,5264445)^2 + \\ &\quad (7,604667 - 6,5264445)^2 + (5,174667 - 6,5264445)^2 + (6,785333 - \\ &\quad 6,5264445)^2 \\ &= 7,928705 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} JKG &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \\ &= (6,298667 - 6,531333)^2 + (5,1 - 6,531333)^2 + (8,195333 - 6,531333)^2 + \\ &\quad (7,604667 - 6,521556)^2 + (5,174667 - 6,521556)^2 + (6,785333 - 6,521556)^2 \\ &= 7,928561 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} JKA &= JKT - JKG \\ &= 7,928705 - 7,928561 \\ &= 0,000143404 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} KTA &= \frac{JKA}{(k-1)} \\ &= \frac{0,000143404}{(2-1)} = 0,000143404 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} KTG &= \frac{JKG}{k(n-1)} \\ &= \frac{7,928561}{2(3-1)} = 1,98214025 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{hitung}} &= \frac{KTA}{KTG} \\ &= \frac{0,000143404}{1,98214025} = 0,00007235 \end{aligned}$$

$$F_{\text{hitung}} = 0,00007235 < F_{\text{tabel}} = 7,71$$

Karena $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$ maka disimpulkan:

Lendutan maks pada kuda-kuda beton jarak sengkang 15 cm dan lendutan maks pada kuda-kuda jarak sengkang 10 cm tidak berbeda secara signifikan.

Lampiran 4**PERHITUNGAN GAYA-GAYA RANGKA BATANG****➤ Data Teknis Material**

Kuat tekan beton	= $f'_c = 18,27 \text{ MPa}$
Kuat tarik beton	= $f'_{cr} = 0,57\sqrt{f'_c} = 2,436375 \text{ MPa}$
Elastisitas beton	= $E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 20089,41 \text{ MPa}$
Kuat Tarik Bambu	= $f_{y_{bambu}} = 149,67 \text{ MPa}$
Kuat tekan bambu	= $35,1 \text{ MPa}$
Kode Mutu kayu	= E8
Kelas Mutu	= B
Dimensi Kayu	= 6/12
Alat sambung	= Baut dan sambungan gigi
Berat jenis Kayu	= $0,54 \text{ t/m}^3$
Elastisitas kayu	= 8000 MPa
Kuat tekan sejajar serat	= $F_c = 24 \text{ MPa}$
Kuat tarik sejar serat	= $F_t = 12 \text{ MPa}$
Faktor waktu	= $\lambda = 0,8$
Faktor tahanan tekan	= $\phi_c = 0,9$
Faktor tahanan tarik	= $\phi_t = 0,8$

➤ Beban P Max Yang Mampu Ditahan Batang**• Beton**

Batang Tekan

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &= 0,8 \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot A_c \\
 &= 0,8 \cdot 0,85 \cdot 18,27 \cdot 6400 \\
 &= 79511,04 \text{ N} \\
 &= 7951,104 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Batang Tarik

$$P_{\max} = 0,8 [0,85 f'_{cr}(A_c - A_{\text{bambu}}) + (A_{\text{bambu}} \cdot f_{y_{\text{bambu}}})]$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,8 [0,85 \cdot 2,436375 \cdot (6400 - 100) + (100 \cdot 149,67)] \\
 &= 22411,0305 \text{ N} \\
 &= 2241,10305 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

• Kayu

Batang tekan tunggal:

$$A = 6 \cdot 12 = 72 \text{ cm}^2 = 7200 \text{ mm}^2$$

$$A_n = 72/1,2 = 60 \text{ cm}^2 = 6000 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 864 \text{ cm}^4 \quad i_x = \sqrt{\frac{864}{72}} = 3,464 \text{ cm}$$

$$I_y = 216 \text{ cm}^4 \quad i_y = \sqrt{\frac{216}{72}} = 1,732 \text{ cm}$$

Sehingga i_{\min} adalah $i_y = 1,732 \text{ cm}$

Gaya tekan P_u

$$l = 78,1 \text{ cm}$$

$$l_e = K_e \cdot l = 2 \cdot 78,1 = 156,2 \text{ cm (sendi-roll)}$$

$$F_c' = F_c = 24 \text{ MPa}$$

$$P' = C_p \cdot A \cdot F_c' = C_p \cdot P'_0$$

$$C_p = \frac{1 + \alpha_c}{2c} - \sqrt{\left(\frac{1 + \alpha_c}{2c}\right)^2 - \frac{\alpha_c}{c}}$$

$$\alpha_c = \frac{\phi_s P_e}{\lambda \phi_c P'_0}$$

$$P_e = \frac{\pi^2 E'_{05} I}{(K_e l)^2} = \frac{\pi^2 E'_{05} A}{\left(K_e \frac{l}{r}\right)^2}$$

$$P_0 = 7200 \cdot 24 = 172800 \text{ N}$$

$$P_e = \frac{\pi^2 8000 \cdot 2160000}{(156,2)^2} = 69900,68 \text{ N}$$

$$\alpha_c = \frac{0,85 \cdot 69900,68}{0,8 \cdot 0,9 \cdot 172800} = 0,4776$$

$$C_p = \frac{1+0,4776}{2 \cdot 0,8} - \sqrt{\left(\frac{1+0,4776}{2 \cdot 0,8}\right)^2 - \frac{0,4776}{0,8}} = 0,4177$$

$$P' = 0,4177 \cdot 172800 = 72184,104 \text{ N}$$

$$P_u = \lambda \cdot \phi_c \cdot P' = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 72184,104 = 51972,55 \text{ N}$$

$$= 5197,255 \text{ Kg}$$

Gaya tarik P_u

$$F_t' = F_t = 12 \text{ MPa}$$

$$T' = F_t' \cdot A_n = 12 \cdot 6000 = 72000 \text{ N}$$

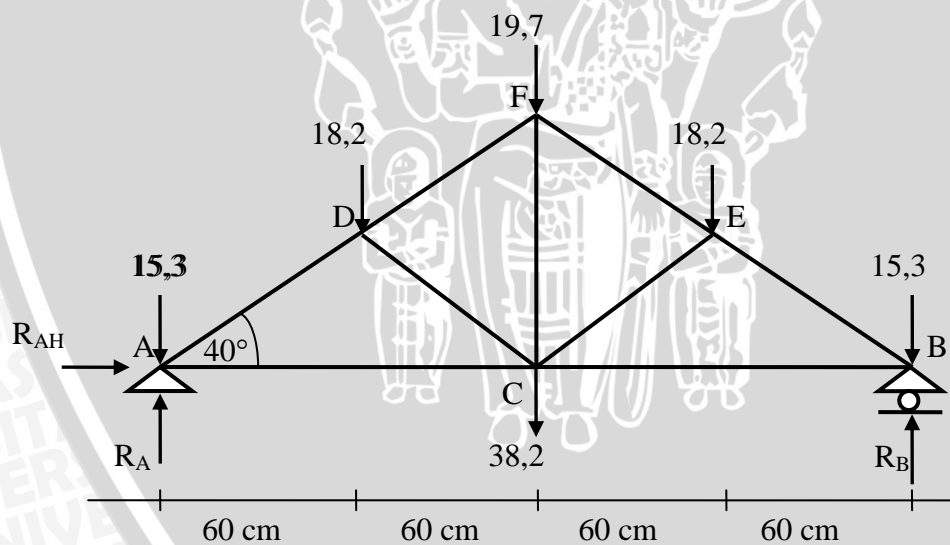
$$T_u = \lambda \cdot \phi_t \cdot T' = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 72000 = 46080 \text{ N} = 4608 \text{ kg}$$

➤ **Gaya-Gaya Batang**

• **Beton Komposit Tulangan Bambu**

Akibat berat sendiri:

Beban mati akibat berat sendiri diasumsikan sebagai beban terpusat yang bekerja pada titik buhul struktur.



Pemeriksaan ketentuan statika:

$$n = 2j - 3$$

$$9 = 2 \cdot 6 - 3 = 9 \rightarrow \text{Merupakan statis tertentu}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-R_B \cdot 240 + 15,3 \cdot 240 + 18,2 \cdot 180 + 19,7 \cdot 120 + 38,2 \cdot 120 + 18,2 \cdot 60 = 0$$



$$R_B = 62,45 \text{ kg}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_{AV} \cdot 240 - 15,3 \cdot 240 - 18,2 \cdot 180 - 19,7 \cdot 120 - 38,2 \cdot 120 - 18,2 \cdot 60 = 0$$

$$R_{AV} = 62,45 \text{ kg}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$R_{AH} = 0$$

Kontrol

$$\Sigma V = 0$$

$$15,3 \cdot 2 + 18,2 \cdot 2 + 19,7 + 38,25 = R_{AH} + R_B$$

$$124,9 = 124,9 \rightarrow \text{oke}$$

Perhitungan gaya batang dengan metode keseimbangan titik buhul.

Titik buhul A

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow P_{AD} (\sin 40^\circ) + R_{AV} - 15,3 = 0$$

$$P_{AD} = -73,35 \text{ kg (tekan)}$$

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow P_{AD} (\cos 40^\circ) + P_{AC} = 0$$

$$P_{AC} = 73,35 \cdot (\cos 40^\circ) = +56,19 \text{ kg (tarik)}$$

Titik buhul D

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow -P_{AD} (\sin 40^\circ) - P_{DC} (\sin 40^\circ) + P_{DF} (\sin 40^\circ) - 18,2 = 0$$

$$47,15 - 0,642P_{DC} + 0,642 P_{DF} - 18,2 = 0$$

$$P_{DF} = (-18,2 + 47,15 - 0,642P_{DC})/0,642$$

$$P_{DF} = (-28,35 + 73,35 + P_{DC})$$

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow -P_{DA} (\cos 40^\circ) + P_{DC} (\cos 40^\circ) + P_{DF} (\cos 40^\circ) = 0$$

$$53,45 + 0,766P_{DC} + 0,766 P_{DF} = 0$$

$$53,45 + 0,766P_{DC} + 0,766 (-28,35 + 73,35 - P_{DC}) = 0$$

$$53,45 + 0,766P_{DC} - 21,72 + 56,18 + 0,766P_{DC} = 0$$

$$P_{DC} = -14,16 \text{ kg (tekan)}$$

$$P_{DF} = -59,19 \text{ kg (tekan)}$$

Titik buhul F

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow P_{DF} (\cos 40^\circ) - P_{FE} (\cos 40^\circ) = 0$$

$$P_{FE} = -59,19 \text{ kg (tekan)}$$

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow -P_{DF} (\sin 40^\circ) - P_{FE} (\sin 40^\circ) - P_{CF} - 19,7 = 0$$

$$P_{CF} = +56,4 \text{ kg (tarik)}$$

Beban Luar (P) Total Yang Mampu Ditahan Kuda-kuda Komposit Tulangan

Bambu

Gaya batang maksimum akibat beban luar P adalah:

1. Gaya tekan maksimum terjadi pada batang AD besarnya adalah:

$$\begin{aligned} P_{AD \text{ TOT}} &= P_{\text{max}} - 73,35 \\ &= 7951,104 - 73,35 \\ &= 7877,754 \text{ kg} \end{aligned}$$

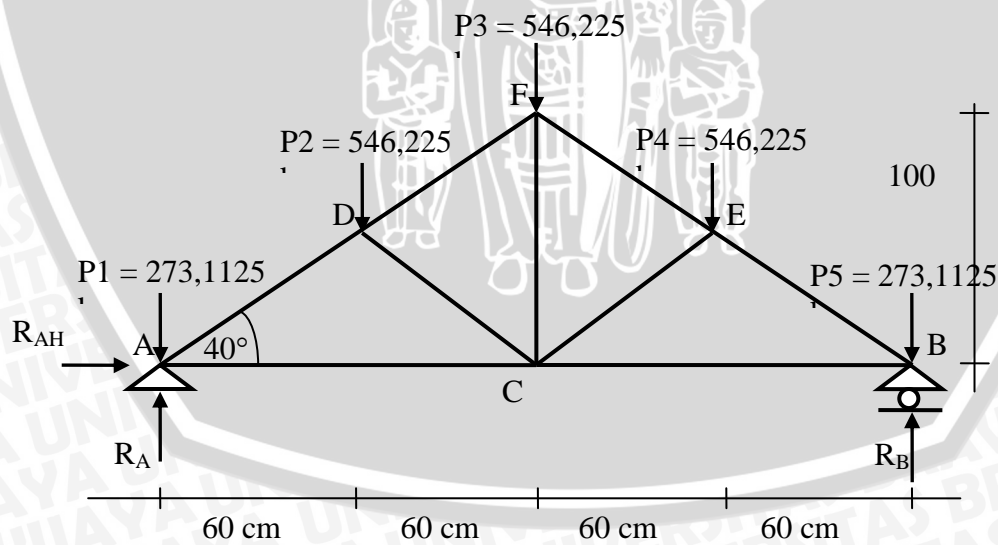
2. Gaya tarik maksimum terjadi pada batang AC besarnya adalah:

$$\begin{aligned} P_{AC \text{ TOT}} &= P_{\text{max}} - 56,19 \\ &= 2241,103 - 56,19 \\ &= 2184,913 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sehingga beban P total yang mampu ditahan oleh struktur adalah:

P_{total} diambil yang terkecil yaitu **2184,913 kg**

Akibat beban luar, $P_{\text{total}} = 2184,9 \text{ kg}$:



$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow -R_B \cdot 240 + P_2 \cdot 60 + P_3 \cdot 120 + P_4 \cdot 180 + P_5 \cdot 240 = 0$$

$$R_B = 1092,45 \text{ kg}$$

$$\Sigma M_B = 0 \rightarrow R_{AV} \cdot 240 - P_1 \cdot 240 - P_2 \cdot 180 - P_3 \cdot 120 - P_4 \cdot 60 = 0$$



$$R_{AV} = 1092,45 \text{ kg}$$

$$\Sigma H = 0 \rightarrow R_{AH} = 0$$

Kontrol

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = R_{AH} + R_B$$

$$2184,9 \text{ kg} = 2184,9 \text{ kg} \rightarrow \text{oke}$$

Perhitungan gaya batang dengan metode keseimbangan titik buhul.

Titik buhul A

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow P_{AD} (\sin 40^\circ) + R_{AV} - P_1 = 0$$

$$P_{AD} (\sin 40^\circ) + 1092,45 - 273,1125 = 0$$

$$P_{AD} = -1274,66 \text{ kg (tekan)}$$

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow P_{AD} (\cos 40^\circ) + P_{AC} = 0$$

$$P_{AC} = +976,45 \text{ kg (tarik)}$$

Titik buhul D

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow -P_{DA} (\sin 40^\circ) - P_{DC} (\sin 40^\circ) + P_{DF} (\sin 40^\circ) - 546,225 = 0$$

$$819,3375 - 0,642P_{DC} + 0,642 P_{DF} - 546,225 = 0$$

$$P_{DF} = (-273,1125 + 0,642P_{DC})/0,642$$

$$P_{DF} = (-424,89 + P_{DC})$$

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow -P_{DA} (\cos 40^\circ) + P_{DC} (\cos 40^\circ) + P_{DF} (\cos 40^\circ) = 0$$

$$976,45 + 0,766P_{DC} + 0,766 P_{DF} = 0$$

$$976,45 + 0,766P_{DC} + 0,766 (-424,89 + P_{DC}) = 0$$

$$976,45 + 0,766P_{DC} - 325,48 + 0,766P_{DC} = 0$$

$$P_{DC} = -424,89 \text{ kg (tekan)}$$

$$P_{DF} = -849,78 \text{ kg (tekan)}$$

Titik buhul F

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow -P_{FD} (\cos 40^\circ) + P_{FE} (\cos 40^\circ) = 0$$

$$P_{FE} = -849,78 \text{ kg (tekan)}$$

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow -P_{FD} (\sin 40^\circ) - P_{FE} (\sin 40^\circ) - P_{CF} - 546,225 = 0$$

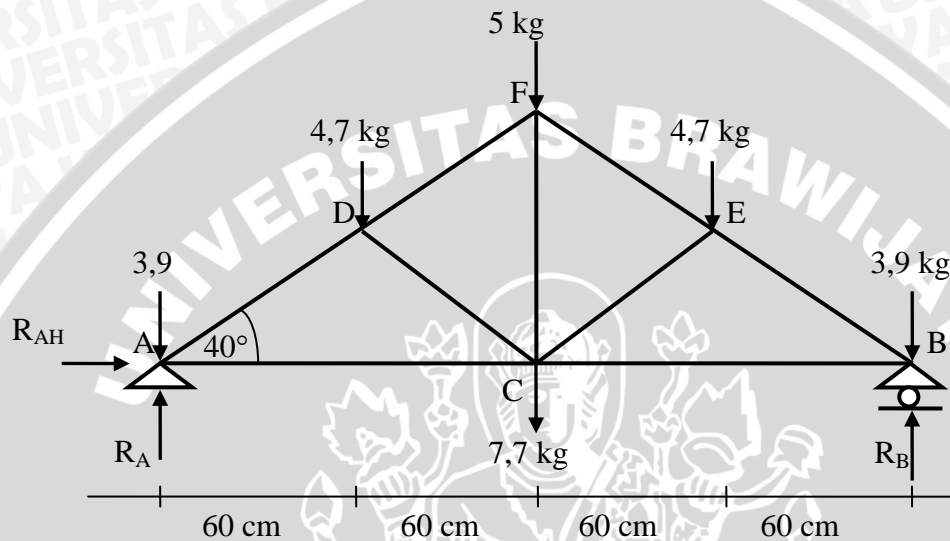
$$P_{CF} = +546,225 \text{ kg (tarik)}$$



- **Kuda-kuda Kayu**

Akibat berat sendiri:

Beban mati akibat berat sendiri diasumsikan sebagai beban terpusat yang bekerja pada titik buhul struktur.



$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow -R_B \cdot 240 + 3,9 \cdot 240 + 4,7 \cdot 180 + 5 \cdot 120 + 7,7 \cdot 120 + 4,7 \cdot 60 = 0$$

$$R_B = 14,95 \text{ kg}$$

$$\Sigma M_B = 0 \rightarrow R_{AV} \cdot 240 - 3,9 \cdot 240 - 4,7 \cdot 180 - 5 \cdot 120 - 7,7 \cdot 120 - 4,7 \cdot 60 = 0$$

$$R_{AV} = 14,95 \text{ kg}$$

$$\Sigma H = 0 \rightarrow R_{AH} = 0$$

Kontrol

$$\Sigma V = 0 \rightarrow 3,9 \cdot 2 + 4,7 \cdot 2 + 5 + 7,7 = R_{AV} + R_B$$

$$29,9 = 29,9 \rightarrow \text{oke}$$

Perhitungan gaya batang dengan metode keseimbangan titik buhul.

Titik buhul A

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow P_{AD} (\sin 40^\circ) + R_{AV} - 3,9 = 0$$

$$P_{AD} = -17,19 \text{ kg (tekan)}$$

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow P_{AD} (\cos 40^\circ) + P_{AC} = 0$$

$$P_{AC} = 17,19 \cdot (\cos 40^\circ) = +13,17 \text{ kg (tarik)}$$

Titik buhul D

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow -P_{AD} (\sin 40^\circ) - P_{DC} (\sin 40^\circ) + P_{DF} (\sin 40^\circ) - 4,7 = 0$$

$$11,05 - 0,642P_{DC} + 0,642 P_{DF} - 4,7 = 0$$

$$P_{DF} = (4,7 - 11,05 + 0,642P_{DC})/0,642$$

$$P_{DF} = (-9,89 + P_{DC})$$

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow -P_{DA} (\cos 40^\circ) + P_{DC} (\cos 40^\circ) + P_{DF} (\cos 40^\circ) = 0$$

$$13,17 + 0,766P_{DC} + 0,766 P_{DF} = 0$$

$$13,17 + 0,766P_{DC} + 0,766 (-9,89 + P_{DC}) = 0$$

$$13,17 + 0,766P_{DC} - 7,58 + 0,766P_{DC} = 0$$

$$P_{DC} = -3,65 \text{ kg (tekan)}$$

$$P_{DF} = -13,54 \text{ kg (tekan)}$$

Titik buhul F

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow P_{DF} (\cos 40^\circ) - P_{FE} (\cos 40^\circ) = 0$$

$$P_{FE} = -13,54 \text{ kg (tekan)}$$

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow -P_{DF} (\sin 40^\circ) - P_{FE} (\sin 40^\circ) - P_{CF} - 5 = 0$$

$$P_{CF} = +12,4 \text{ kg (tarik)}$$

Beban Luar (P) Total Yang Mampu Ditahan Kuda-kuda Kayu

Gaya batang maksimum akibat beban luar P adalah:

1. Gaya tekan maksimum terjadi pada batang AD besarnya adalah:

$$\begin{aligned} P_{AD \text{ TOT}} &= P_{\max} - 17,19 \\ &= 5197,255 - 17,19 \\ &= 5180,065 \text{ kg} \end{aligned}$$

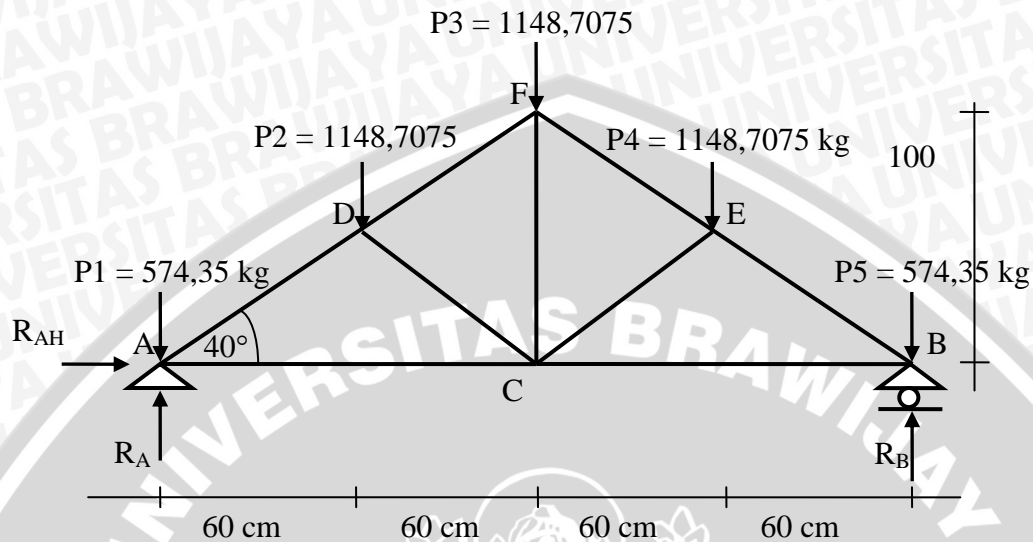
2. Gaya tarik maksimum terjadi pada batang AC besarnya adalah:

$$\begin{aligned} P_{AC \text{ TOT}} &= P_{\max} - 13,17 \\ &= 4608 - 13,17 \\ &= 4594,83 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sehingga beban P total yang mampu ditahan oleh struktur rangka batang kayu adalah:

P_{\max} diambil yang terkecil yaitu **4594,83 kg**

Akibat beban luar, $P_{total} = 4594,83 \text{ kg}$:



$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow -R_B \cdot 240 + P_2 \cdot 60 + P_3 \cdot 120 + P_4 \cdot 180 + P_5 \cdot 240 = 0$$

$$R_B = 2297,415 \text{ kg}$$

$$\Sigma M_B = 0 \rightarrow R_{AV} \cdot 240 - P_1 \cdot 240 - P_2 \cdot 180 - P_3 \cdot 120 - P_4 \cdot 60 = 0$$

$$R_{AV} = 2297,415 \text{ kg}$$

$$\Sigma H = 0 \rightarrow R_{AH} = 0$$

Kontrol

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = R_{AH} + R_B$$

$$4594,83 \text{ kg} = 4594,83 \text{ kg} \rightarrow \text{oke}$$

Perhitungan gaya batang dengan metode keseimbangan titik buhul.

Titik buhul A

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow P_{AD} (\sin 40^\circ) + R_{AV} - 574,35 = 0$$

$$P_{AD} (\sin 40^\circ) + 2297,415 - 574,35 = 0$$

$$P_{AD} = -2680,61 \text{ kg (tekan)}$$

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow P_{AD} (\cos 40^\circ) + P_{AC} = 0$$

$$P_{AC} = +2053,46 \text{ kg (tarik)}$$

Titik buhul D

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow -P_{DA} (\sin 40^\circ) - P_{DC} (\sin 40^\circ) + P_{DF} (\sin 40^\circ) - P_2 = 0$$

$$1723,06 - 0,642P_{DC} + 0,642 P_{DF} - 1148,7075 = 0$$

$$P_{DF} = (-574,3525 + 0,642P_{DC})/0,642$$

$$P_{DF} = (-893,53 + P_{DC})$$

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow -P_{DA} (\cos 40^\circ) + P_{DC} (\cos 40^\circ) + P_{DF} (\cos 40^\circ) = 0$$

$$2053,46 + 0,766P_{DC} + 0,766 P_{DF} = 0$$

$$2053,46 + 0,766P_{DC} + 0,766 (-893,53 + P_{DC}) = 0$$

$$2053,46 + 0,766P_{DC} - 684,49 + 0,766P_{DC} = 0$$

$$P_{DC} = -893,53 \text{ kg (tekan)}$$

$$P_{DF} = -1787,07 \text{ kg (tekan)}$$

Titik buhul F

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow -P_{FD} (\cos 40^\circ) + P_{FE} (\cos 40^\circ) = 0$$

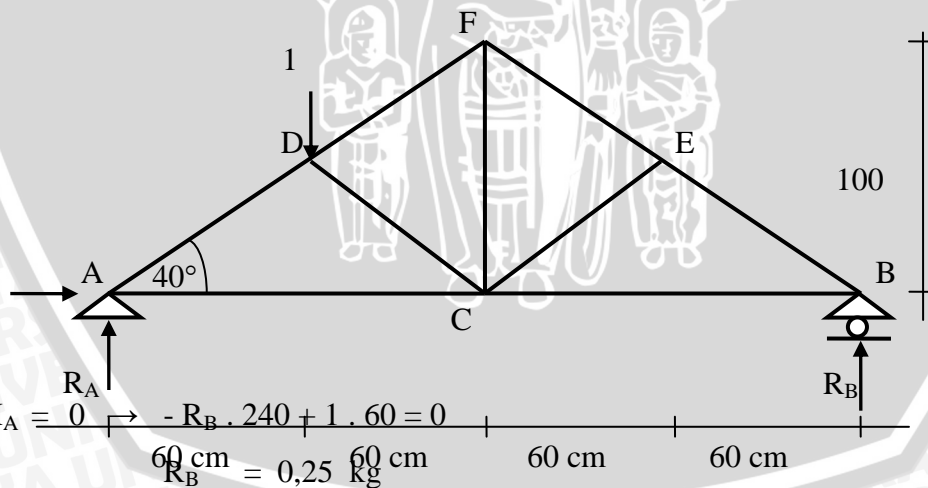
$$P_{FE} = -1787,07 \text{ kg (tekan)}$$

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow -P_{FD} (\sin 40^\circ) - P_{FE} (\sin 40^\circ) - P_{CF} - 1148,7075 = 0$$

$$P_{CF} = +1148,7075 \text{ kg (tarik)}$$

• Rangka Batang Beton Komposit dan Kayu

Akibat Beban 1 Satuan Gaya (1Kg) vertikal di Titik D :



$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow -R_B \cdot 240 + 1 \cdot 60 = 0$$

$$R_B = 0,25 \text{ kg}$$

$$\Sigma M_B = 0 \rightarrow R_{AV} \cdot 240 - 1 \cdot 180 = 0$$

$$R_{AV} = 0,75 \text{ kg}$$

$$\Sigma H = 0 \rightarrow R_{AH} = 0$$

Kontrol

$$\Sigma V = 0 \rightarrow 1 = R_{AV} + R_B$$



$$1 = 1 \rightarrow \text{oke}$$

Perhitungan gaya batang dengan metode keseimbangan titik buhul.

Titik buhul A

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow P_{AD} (\sin 40^\circ) + R_{AV} = 0$$

$$P_{AD} (\sin 40^\circ) + 0,75 = 0$$

$$P_{AD} = -1,167 \text{ kg (tekan)}$$

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow P_{AD} (\cos 40^\circ) + P_{AC} = 0$$

$$P_{AC} = +0,8938 \text{ kg (tarik)}$$

Titik buhul D

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow -P_{DA} (\sin 40^\circ) - P_{DC} (\sin 40^\circ) + P_{DF} (\sin 40^\circ) - 1 = 0$$

$$0,75 - 0,642P_{DC} + 0,642 P_{DF} - 1 = 0$$

$$P_{DF} = (0,25 + 0,642P_{DC})/0,642$$

$$P_{DF} = (0,389 + P_{DC})$$

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow -P_{DA} (\cos 40^\circ) + P_{DC} (\cos 40^\circ) + P_{DF} (\cos 40^\circ) = 0$$

$$0,8938 + 0,766P_{DC} + 0,766 P_{DF} = 0$$

$$0,8938 + 0,766P_{DC} + 0,766 (0,389 + P_{DC}) = 0$$

$$0,8938 + 0,766P_{DC} + 0,298 + 0,766P_{DC} = 0$$

$$P_{DC} = -0,778 \text{ kg (tekan)}$$

$$P_{DF} = -0,3889 \text{ kg (tekan)}$$

Titik buhul F

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow -P_{FD} (\cos 40^\circ) + P_{FE} (\cos 40^\circ) = 0$$

$$P_{FE} = -0,3889 \text{ kg (tekan)}$$

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow -P_{FD} (\sin 40^\circ) - P_{FE} (\sin 40^\circ) - P_{CF} = 0$$

$$P_{CF} = 0,5 \text{ kg (tarik)}$$

Titik Buhul E

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow -P_{EB} (\sin 40^\circ) - P_{EC} (\sin 40^\circ) + P_{EF} (\sin 40^\circ) = 0$$

$$-0,642P_{EB} - 0,642 P_{EC} - 0,25 = 0$$

$$P_{EB} = (-0,25 - 0,642P_{EC})/0,642$$

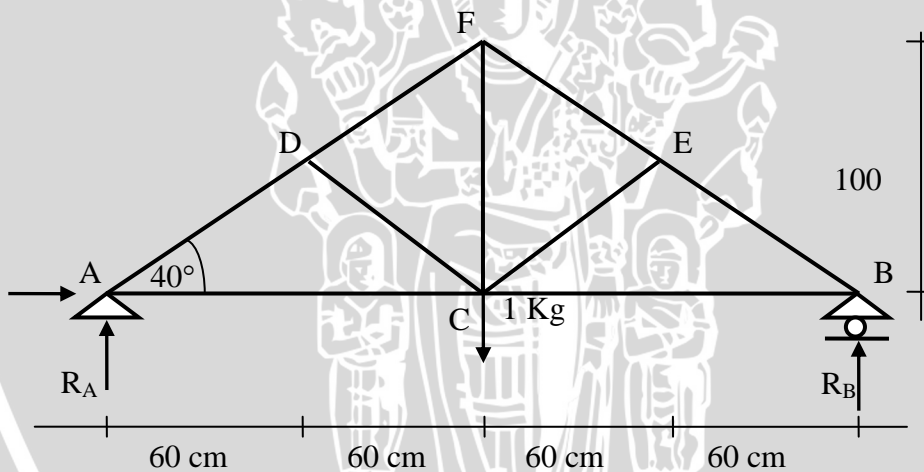
$$P_{EB} = (-0,389 - P_{EC})$$

$$\begin{aligned}\Sigma P_x &= 0 \rightarrow P_{EB} (\cos 40^\circ) - P_{EC} (\cos 40^\circ) - P_{EF} (\cos 40^\circ) = 0 \\ &0,766 P_{EB} - 0,766 P_{EC} + 0,298 = 0 \\ &0,766 (-0,389 - P_{EC}) - 0,766 P_{EC} + 0,298 = 0 \\ &-0,298 - 0,766 P_{EC} - 0,766 P_{EC} + 0,298 = 0 \\ &P_{EC} = 0 \text{ kg (tekan)} \\ &P_{EB} = -0,389 \text{ kg (tekan)}\end{aligned}$$

Titik buhul B

$$\begin{aligned}\Sigma P_y &= 0 \rightarrow P_{BE} (\sin 40^\circ) + R_{BV} = 0 \\ &P_{BE} (\sin 40^\circ) + 0,25 = 0 \\ &P_{BE} = -0,389 \text{ kg (tekan)} \\ \Sigma P_x &= 0 \rightarrow -P_{BE} (\cos 40^\circ) - P_{BC} = 0 \\ &P_{BC} = +0,298 \text{ kg (tarik)}\end{aligned}$$

Akibat Beban 1 Satuan Gaya (1Kg) vertikal di Titik C :



$$\begin{aligned}\Sigma M_A &= 0 \rightarrow -R_B \cdot 240 + 1 \cdot 120 = 0 \\ &R_B = 0,5 \text{ kg} \\ \Sigma M_B &= 0 \rightarrow R_{AV} \cdot 240 - 1 \cdot 120 = 0 \\ &R_{AV} = 0,5 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\Sigma H = 0 \rightarrow R_{AH} = 0$$

Kontrol

$$\begin{aligned}\Sigma V &= 0 \rightarrow 1 = R_{AV} + R_B \\ &1 = 1 \rightarrow \text{oke}\end{aligned}$$

Perhitungan gaya batang dengan metode keseimbangan titik buhul.

Titik buhul A

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow P_{AD} (\sin 40^\circ) + R_{AV} = 0$$

$$P_{AD} (\sin 40^\circ) + 0,5 = 0$$

$$P_{AD} = - 0,778 \text{ kg (tekan)}$$

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow P_{AD} (\cos 40^\circ) + P_{AC} = 0$$

$$P_{AC} = +0,596 \text{ kg (tarik)}$$

Titik buhul D

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow - P_{DA} (\sin 40^\circ) - P_{DC} (\sin 40^\circ) + P_{DF} (\sin 40^\circ) = 0$$

$$0,5 - 0,642P_{DC} + 0,642 P_{DF} = 0$$

$$P_{DF} = (-0,5 + 0,642P_{DC})/0,642$$

$$P_{DF} = (-0,778 + P_{DC})$$

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow - P_{DA} (\cos 40^\circ) + P_{DC} (\cos 40^\circ) + P_{DF} (\cos 40^\circ) = 0$$

$$0,596 + 0,766P_{DC} + 0,766 P_{DF} = 0$$

$$0,596 + 0,766P_{DC} + 0,766 (-0,778 + P_{DC}) = 0$$

$$0,596 + 0,766P_{DC} - 0,596 + 0,766P_{DC} = 0$$

$$P_{DC} = 0 \text{ kg}$$

$$P_{DF} = -0,778 \text{ kg (tekan)}$$

Titik buhul F

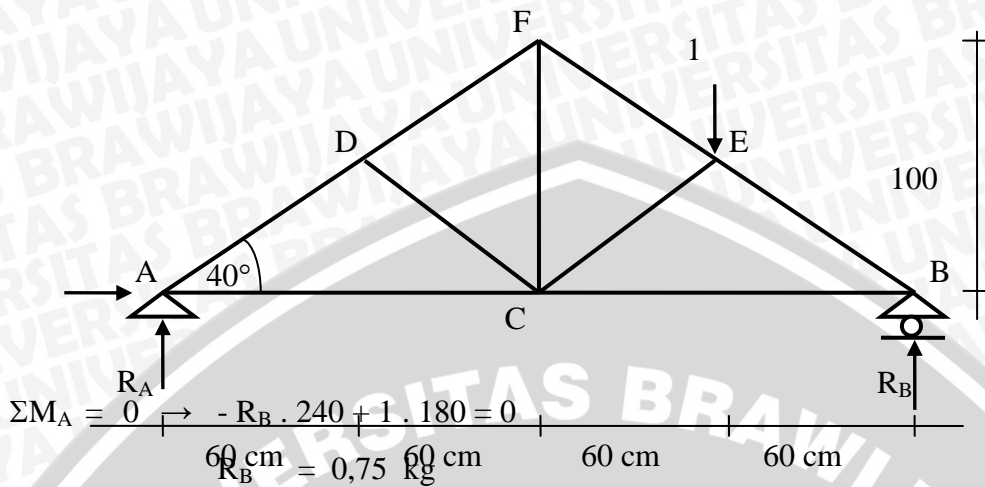
$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow - P_{FD} (\cos 40^\circ) + P_{FE} (\cos 40^\circ) = 0$$

$$P_{FE} = -0,778 \text{ kg (tekan)}$$

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow - P_{FD} (\sin 40^\circ) - P_{FE} (\sin 40^\circ) - P_{CF} = 0$$

$$P_{CF} = 1 \text{ kg (tarik)}$$

Akibat Beban 1 Satuan Gaya (1Kg) vertikal di Titik E :



$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow -R_B \cdot 240 + 1 \cdot 180 = 0$$

$$R_B = 0,75 \text{ kg}$$

$$\Sigma M_B = 0 \rightarrow R_{AV} \cdot 240 - 1 \cdot 60 = 0$$

$$R_{AV} = 0,25 \text{ kg}$$

$$\Sigma H = 0 \rightarrow R_{AH} = 0$$

Kontrol

$$\Sigma V = 0 \rightarrow 1 = R_{AV} + R_B$$

$$1 = 1 \rightarrow \text{oke}$$

Perhitungan gaya batang dengan metode keseimbangan titik buhul.

Titik buhul A

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow P_{AD} (\sin 40^\circ) + R_{AV} = 0$$

$$P_{AD} (\sin 40^\circ) + 0,25 = 0$$

$$P_{AD} = -0,389 \text{ kg (tekan)}$$

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow P_{AD} (\cos 40^\circ) + P_{AC} = 0$$

$$P_{AC} = +0,298 \text{ kg (tarik)}$$

Titik buhul D

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow -P_{DA} (\sin 40^\circ) - P_{DC} (\sin 40^\circ) + P_{DF} (\sin 40^\circ) = 0$$

$$0,25 - 0,642P_{DC} + 0,642 P_{DF} = 0$$

$$P_{DF} = (-0,25 + 0,642P_{DC})/0,642$$

$$P_{DF} = (-0,389 + P_{DC})$$

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow -P_{DA} (\cos 40^\circ) + P_{DC} (\cos 40^\circ) + P_{DF} (\cos 40^\circ) = 0$$

$$0,298 + 0,766P_{DC} + 0,766 P_{DF} = 0$$

$$0,298 + 0,766P_{DC} + 0,766(-0,389 + P_{DC}) = 0$$

$$0,298 + 0,766P_{DC} - 0,298 + 0,766P_{DC} = 0$$

$$P_{DC} = 0 \text{ kg}$$

$$P_{DF} = -0,389 \text{ kg (tekan)}$$

Titik buhul F

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow -P_{FD} (\cos 40^\circ) + P_{FE} (\cos 40^\circ) = 0$$

$$P_{FE} = -0,389 \text{ kg (tekan)}$$

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow -P_{FD} (\sin 40^\circ) - P_{FE} (\sin 40^\circ) - P_{CF} = 0$$

$$P_{CF} = 0,5 \text{ kg (tarik)}$$

Titik Buhul E

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow -P_{EB} (\sin 40^\circ) - P_{EC} (\sin 40^\circ) + P_{EF} (\sin 40^\circ) - 1 = 0$$

$$-0,642P_{EB} - 0,642 P_{EC} - 0,25 - 1 = 0$$

$$P_{EB} = (-1,25 - 0,642P_{EC})/0,642$$

$$P_{EB} = (-1,947 - P_{EC})$$

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow P_{EB} (\cos 40^\circ) - P_{EC} (\cos 40^\circ) - P_{EF} (\cos 40^\circ) = 0$$

$$0,766 P_{EB} - 0,766P_{EC} + 0,298 = 0$$

$$0,766 (-1,947 - P_{EC}) - 0,766P_{EC} + 0,298 = 0$$

$$-1,491 - 0,766P_{EC} - 0,766P_{EC} + 0,298 = 0$$

$$P_{EC} = -0,779 \text{ kg (tekan)}$$

$$P_{EB} = -1,167 \text{ kg (tekan)}$$

Titik buhul B

$$\Sigma P_y = 0 \rightarrow P_{BE} (\sin 40^\circ) + R_{BV} = 0$$

$$P_{BE} (\sin 40^\circ) + 0,75 = 0$$

$$P_{BE} = -1,167 \text{ kg (tekan)}$$

$$\Sigma P_x = 0 \rightarrow -P_{BE} (\cos 40^\circ) - P_{BC} = 0$$

$$P_{BC} = +0,8939 \text{ kg (tarik)}$$

Lampiran 5

➤ Perhitungan Lendutan Dengan Metode Unit Load

Lendutan Kuda-kuda Beton di Titik D

A = 6400 mm²

E = 20089,41 Mpa

Batang	S (Kg)	L (mm)	$\Delta L = S.L/A.E$ (mm)	S'V (Kg)	$\delta = S'V.\Delta L$ (mm)
AC	1032.640	1200	0.096379137	0.894	0.086162949
CB	1032.640	1200	0.096379137	0.298	0.028720983
AD	-1348.010	783.24	-0.082118464	-1.167	0.095832247
DF	-908.970	783.24	-0.055372898	-0.389	0.02153452
FE	-908.970	783.24	-0.055372898	-0.389	0.02153452
EB	-1348.010	783.24	-0.082118464	-0.389	0.031935871
CD	-439.050	783.24	-0.026746175	-0.778	0.020808524
CE	-439.050	783.24	-0.026746175	0.000	0
CF	602.625	1000	0.046870543	0.500	0.023435272
TOTAL					0.329964885

Lendutan Kuda-kuda Beton di Titik C

A = 6400 mm²

E = 20089,41 Mpa

Batang	S (Kg)	L (mm)	$\Delta L = S.L/A.E$ (mm)	S'V (Kg)	$\delta = S'V.\Delta L$ (mm)
AC	1032.640	1200	0.096379137	0.596	0.057441966
CB	1032.640	1200	0.096379137	0.596	0.057441966
AD	-1348.010	783.24	-0.082118464	-0.778	0.063888165
DF	-908.970	783.24	-0.055372898	-0.778	0.043080115
FE	-908.970	783.24	-0.055372898	-0.778	0.043080115
EB	-1348.010	783.24	-0.082118464	-0.778	0.063888165
CD	-439.050	783.24	-0.026746175	0.000	0
CE	-439.050	783.24	-0.026746175	0.000	0
CF	602.625	1000	0.046870543	1.000	0.046870543
TOTAL					0.375691034

Lendutan Kuda-kuda Beton di Titik E

A = 6400 mm²

E = 20089,41 Mpa

Batang	S (Kg)	L (mm)	$\Delta L = S.L/A.E$ (mm)	S'V (Kg)	$\delta = S'V.\Delta L$ (mm)
AC	1032.640	1200	0.096379137	0.298	0.028720983
CB	1032.640	1200	0.096379137	0.894	0.086162949
AD	-1348.010	783.24	-0.082118464	-0.389	0.031935871
DF	-908.970	783.24	-0.055372898	-0.389	0.02153452
FE	-908.970	783.24	-0.055372898	-0.389	0.02153452
EB	-1348.010	783.24	-0.082118464	-1.167	0.095832247
CD	-439.050	783.24	-0.026746175	0.000	0
CE	-439.050	783.24	-0.026746175	-0.778	0.020808524
CF	602.625	1000	0.046870543	0.500	0.023435272
				TOTAL	0.329964885

Lendutan Kuda-kuda Kayu di Titik D

A = 7200 mm²

E = 8000 Mpa

Batang	S (Kg)	L (mm)	$\Delta L = S.L/A.E$ (mm)	S'V (Kg)	$\delta = S'V.\Delta L$ (mm)
AC	2077.240	1200	0.432758333	0.894	0.38688595
CB	2077.240	1200	0.432758333	0.298	0.128961983
AD	-2711.650	783.24	-0.368727907	-1.167	0.430305468
DF	-1812.120	783.24	-0.246410568	-0.389	0.09582907
FE	-1812.120	783.24	-0.246410568	-0.389	0.09582907
EB	-2711.650	783.24	-0.368727907	-0.389	0.143398283
CD	-899.520	783.24	-0.12231598	-0.778	0.095161832
CE	-899.520	783.24	-0.12231598	0.000	0
CF	1172.508	1000	0.20356033	0.500	0.101780165
				TOTAL	1.478151821

Lendutan Kuda-kuda Kayu di Titik C

A = 7200 mm²

E = 8000 Mpa

Batang	S (Kg)	L (mm)	$\Delta L = S.L/A.E$ (mm)	S'V (Kg)	$\delta = S'V.\Delta L$ (mm)
AC	2077.240	1200	0.432758333	0.596	0.257923967
CB	2077.240	1200	0.432758333	0.596	0.257923967
AD	-2711.650	783.24	-0.368727907	-0.778	0.286870312
DF	-1812.120	783.24	-0.246410568	-0.778	0.191707422
FE	-1812.120	783.24	-0.246410568	-0.778	0.191707422
EB	-2711.650	783.24	-0.368727907	-0.778	0.286870312
CD	-899.520	783.24	-0.12231598	0.000	0
CE	-899.520	783.24	-0.12231598	0.000	0
CF	1172.508	1000	0.20356033	1.000	0.20356033
				TOTAL	1.67656373

Lendutan Kuda-kuda Kayu di Titik E

A = 7200 mm²

E = 8000 Mpa

Batang	S (Kg)	L (mm)	$\Delta L = S.L/A.E$ (mm)	S'V (Kg)	$\delta = S'V.\Delta L$ (mm)
AC	2077.240	1200	0.432758333	0.298	0.128961983
CB	2077.240	1200	0.432758333	0.894	0.38688595
AD	-2711.650	783.24	-0.368727907	-0.389	0.143398283
DF	-1812.120	783.24	-0.246410568	-0.389	0.09582907
FE	-1812.120	783.24	-0.246410568	-0.389	0.09582907
EB	-2711.650	783.24	-0.368727907	-1.167	0.430305468
CD	-899.520	783.24	-0.12231598	0.000	0
CE	-899.520	783.24	-0.12231598	-0.778	0.095161832
CF	1172.508	1000	0.20356033	0.500	0.101780165
				TOTAL	1.478151821

Lampiran 6

➤ Dokumentasi Penelitian



Uji tekan beton silinder



Uji pembebanan dan lendutan pada kuda-kuda beton komposit



Retak yang terjadi pada batang tarik



Keruntuhan pada kuda-kuda beton komposit