

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Bahan

Dalam penelitian ini, pengujian utama adalah pengaruh sambungan pada kuda-kuda beton tulangan bambu, dimana sambungan yang digunakan menjadi dua macam, yaitu sambungan pelat-baut dan sambungan grouting. Sebelum melakukan pengujian utama, diperlukan pengujian awal, untuk melengkapi data hasil pengujian utama yaitu dilakukan pengujian bahan penyusun beton. Pengujian bahan tersebut meliputi, analisis agregat kasar maupun halus, perencanaan *Mix Design* dan uji tekan silinder beton.

4.1.1. Analisis Agregat Kasar

Penelitian ini menggunakan bahan agregat kasar yang berbeda dari beton normal pada umumnya, agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini merupakan pecahan batu bata, dimana batu bata yang dipecahkan oleh mesin penghancur batu. Selanjutnya batu-bata yang terkumpul terbagi berdasarkan ukuran gradasi yang diperlukan. Sehingga mendapat analisis agregat kasar batu bata dalam tabel 4.1.

Tabel 4.1 *Hasil Analisis Agregat Kasar Batu Bata*

Analisis	Nilai	Satuan
Modulus kehalusan		
Kadar air	1,6773	%
Berat jenis kering permukaan jenuh	1,827	
Penyerapan air	28,86	%
Berat isi (<i>Rodded</i>)	872,754	gr/cc
Berat isi (<i>Shoveled</i>)	811,508	gr/cc
Gradasi	Zona 3	

Dapat dilihat, berdasarkan data pada tabel 4.1 penyerapan yang terjadi pada agregat kasar batu bata memiliki nilai yang sangat besar yaitu 28 %, karena agregat batu bata sangat mudah dalam menyerap air.

4.1.2. Analisis Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini merupakan pasir hitam asal Lumajang, Jawa Timur. Pasir yang disimpan dalam karung dan tidak ada perlakuan secara khusus. Hasil analisis agregat halus tersedia pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Analisis Agregat Halus (Pasir)

Analisis	Nilai	Satuan
Modulus kehalusan		
Kadar air	0,424	%
Berat jenis kering permukaan jenuh	2,596	
Penyerapan air	0,624	%
Berat isi (<i>Rodded</i>)	1736,967	gr/cc
Berat isi (<i>Shoveled</i>)	1566,249	gr/cc
Gradasi	Zona 1	

4.1.3. Perencanaan Mix Design

Perencanaan *mix design* pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Beton dengan agregat kasar batu bata memiliki tingkat absorpsi air sangat tinggi sehingga cenderung menghasilkan kuat tekan yang rendah. Hasil perencanaan *mix design* agregat batu bata dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Hasil Mix Design Beton Agregat Batu Bata

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI
1	Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%)	Ditetapkan	22,5 Mpa
2	Deviasi standar	Diketahui	-
3	Nilai Tambah (Margin)	(K=1,64) 1,64*(2)	12 Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1) + (3)	34,5 Mpa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	Normal (Tipe I)
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu Bata
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Pasir
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2, Grafik 1/2	0,52
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0,6
9	Slump	Ditetapkan	60-180 mm
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	20 mm
11	Kadar Air Bebas	TABEL 6	205 kg/m ³
12	Jumlah semen	(11) : (7)	394.231 kg/m ³
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	325 kg/m ³
15	FAS yg disesuaikan	-	-
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6	Zona 1
17	Persen agregat halus	Grafik 13 - 15	54 %
18	Berat Jenis Relatif Agregat (SSD)	Diketahui	2,544 kg/m ³

19	Berat isi beton	Grafik 16		2312,5	kg/m ³
20	Kadar agregat gabungan	(19) - (11) - (12)		1713,269	kg/m ³
21	Kadar agregat halus	(17) * (20)		925,165	kg/m ³
22	Kadar agregat kasar	(20) - (21)		788,104	kg/m ³
	Banyaknya Bahan (Teoritis)	Semen (kg)	Air (kg/lt)	Ag. Halus (kg)	Ag. Kasar (kg)
	Tiap m ³ dg ketelitian 5kg (Teoritis)	394,23	205	925,165	788,104
	Tiap campuran uji 0,03082 m ³	12,15	6,32	28,51	24,29
	Tiap m ³ dg ketelitian 5kg (Aktual)	394,23	421,11	923,316	573,844
	Tiap campuran uji 0,03082 m ³	12,1502	12,9786	28,4566	17,6859
	Proporsi (Teoritis) (1/3)	1	0,52	2,35	2,00
	Proporsi (Aktual)	1	1,07	2,34	1,46

Dalam perencanaan *mix design* beton agregat batu bata, perlu diperhatikan bahwa nilai FAS (faktor air semen) diperbesar untuk mengatasi tingkat penyerapan air dari agregat kasar yang cukup tinggi Berdasarkan tabel 4.3 hasil perencanaan *mix design* beton agregat batu bata dapat diketahui bahwa untuk membuat setengah bagian kuda-kuda dengan volume 0,03082 m³ dibutuhkan 12,15 kg semen, 12,98 kg air, 28,46 kg agregat halus (pasir), dan 17,69 kg agregat kasar batu bata.

4.1.4. Tulangan Bambu

Pemeriksaan tegangan leleh rata-rata bambu dilakukan dengan pengujian bambu. Dari pengujian sebelumnya didapat nilai tegangan tarik rata-rata bambu sebesar 149,67 MPa (Ummiati, 2009), regangan rata-rata bambu sebesar 0,003 dan modulus elastisitas rata-rata bambu sebesar 9000 MPa (Janssen, 1991).

4.1.5. Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Sebelum membuat benda uji utama yaitu benda uji kuda-kuda beton tulangan bambu, diperlukan pengujian kuat tekan silinder beton dengan bahan atau *mix design* yang sesuai dengan perencanaan. Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan beton yang akan digunakan untuk benda uji utama. Uji kuat tekan silinder beton pada penelitian ini dilakukan setelah beton berumur 7 hari. Berdasarkan tabel 4.4, karena silinder diuji saat umur beton 7 hari maka perlu dikoreksi sesuai umur kuat tekan rencana yaitu pada umur 28 hari. Benda uji silinder dibuat sebanyak 3 buah silinder. Karakteristik silinder dapat dilihat pada tabel 4.5, sedangkan untuk hasil uji silinder dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.4 *Tabel Koreksi Umur Beton*

No	Umur Beton Hari	Perbandingan Kuat Tekan
1	3	0,40
2	7	0,65
3	14	0,88
4	21	0,95
5	28	1,00
6	90	1,20
7	365	1,35

Sumber: PBI (1971 Halaman 34)

Tabel 4.5 *Karakteristik Benda Uji Silinder Beton*

No	Nama	Nilai	Satuan
1	Dimensi Silinder Beton	15 x 30	cm
2	Luas Penampang (A)	17678,57	mm ²
3	Volume Benda Uji (V)	0,005	m ³
4	Umur Beton	7	Hari
5	Koreksi Umur Beton	0,65	

Tabel 4.6 *Hasil Uji Kuat Tekan Silinder Beton*

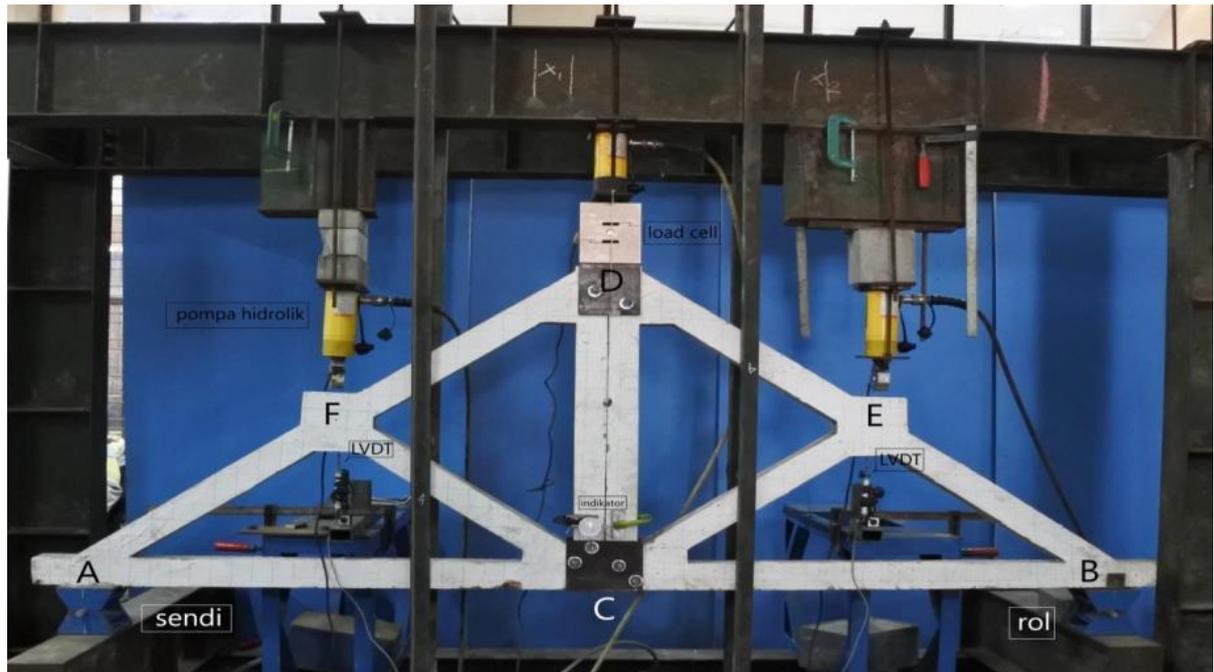
Benda Uji	Berat	Berat Isi	Berat Isi Rata-Rata	P max	Kuat Tekan 7 hari	Kuat Tekan 28 hari	Kuat Tekan Rata-Rata
	kg	kg/m ³	kg/m ³	kN	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
1	10,45	1970,211		144	8,145	12,532	
2	10,50	1979,638	1967,069	103	5,826	8,963	10,791
3	10,35	1951,358		125	7,071	10,878	

Dari hasil pengujian kuat tekan silinder di tabel 4.6, ketiga benda uji silinder memiliki hasil tekan yang rendah, hal ini dikarenakan penyerapan air yang terjadi pada agregat kasar batu-bata yang digunakan dan dapat dilihat terdapat selisih yang besar antara hasil uji silinder yang telah dilakukan dengan nilai kuat tekan yang direncanakan. Penyebab lainnya dari hasil uji tekan silinder pada penelitian ini juga dikarenakan umur silinder beton saat diuji. Pada penelitian ini uji silinder beton dilakukan setelah 7 hari dari pengecoran, dan diperlukan 1 hari untuk membiarkan silinder beton kering. Setelah dikonversi kedalam 28 hari setelah pengujian nilai uji tekan yang didapat masih rendah jika dibandingkan dengan nilai kuat tekan yang direncanakan.

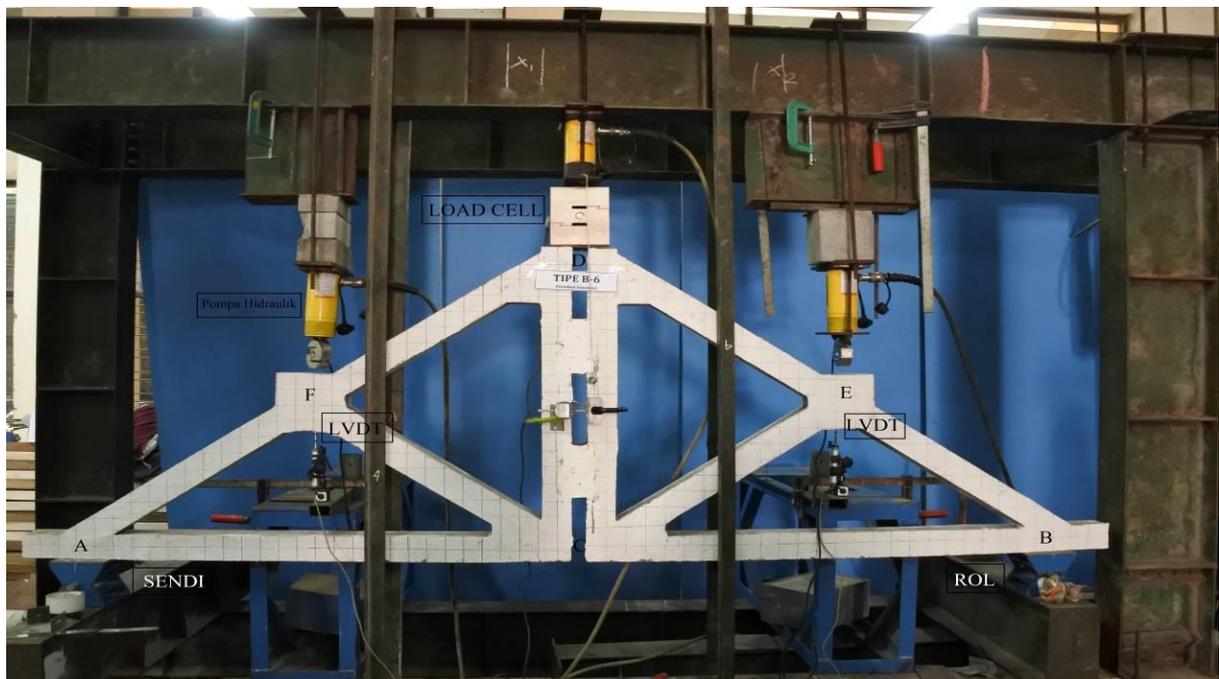
4.2. Pengujian Pembebanan Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu

Pengujian kuat tekan kuda-kuda ini dilakukan setelah umur kuda-kuda beton tulangan bambu mencapai umur 28 hari dan telah melalui proses perawatan (*curing*). Proses *curing* dilakukan dengan cara menutupi benda uji kuda-kuda dengan karung goni yang dibasahi setiap hari hingga 14 hari setelah bekisting terlepas, Bekisting dilepas setelah 2 hari pengecoran. Hal ini dilakukan untuk memperlambat proses hidrasi beton sehingga mampu mencegah terjadinya retakan pada benda uji saat masa perawatan.

Sebelum melakukan pengujian, dilakukan pengukuran dimensi awal dan berat benda uji sebagai data awal. Pada pengujian ini digunakan pengujian vertikal secara simetris dan tidak simetris. Untuk pengujian vertikal simetris menggunakan dua beban bertambah (*incremental load*) pada titik E dan F, beserta dengan satu beban tetap di titik D sebesar 100 kg. Sementara untuk pengujian vertikal tidak simetris menggunakan satu beban bertambah pada titik F dan satu beban tetap pada titik D. Benda uji yang sudah mencapai usia 28 hari dipersiapkan untuk pengujian seperti pada skema pembebanan. Benda uji diletakkan pada frame uji dengan tumpuan sendi-rol. Untuk mengetahui deformasi yang terjadi, benda uji dilengkapi LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) di titik E dan di titik F pada posisi vertikal dan horizontal pada titik C. Pemasangan LVDT pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perpindahan (*deformasi*) benda uji setelah dilakukan pembebanan. Kuda-kuda yang telah siap diuji dapat dilihat pada gambar 4.1 dan gambar 4.2.



Gambar 4.1. Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut pada Frame Uji



Gambar 4.2 Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Grouting pada Frame Uji

Pengujian beban vertikal pada kuda-kuda beton komposit juga menghasilkan hubungan antar besar beban dan perpindahan yang terjadi. Pembebanan bertambah pada pengujian dilakukan bertahap per interval 50 kg sampai benda uji mengalami keruntuhan untuk memudahkan pencatatan data deformasi titik yang ditinjau. Titik yang ditinjau merupakan titik kritis dimana beban vertikal bekerja tepat di titik tersebut.

Benda uji diberi beban tetap (P_T) pada titik D sebesar 100 kg, dengan tujuan sebagai pengganti beban bubungan pada rangka atap dan sebagai *counter balance* atau penyeimbang agar benda uji tidak terguling. Beban bertambah (P_i) di titik E dan titik F terus diberikan pada benda uji dalam interval 50 kg hingga mencapai keruntuhan atau kondisi batas maksimum yang mampu ditahan benda uji. Pemasangan LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) di titik E dan titik F pada posisi vertikal (d_2) dan (d_1) untuk mengetahui besar perpindahan yang terjadi di titik tersebut. Selain di titik E, titik F juga ditinjau perpindahan yang terjadi melalui pembacaan indikiator di batang tengah secara horizontal (d_3) yang berada dekat dengan titik C.

Pada penelitian ini, pembebanan dibagi menjadi dua jenis pembebanan yaitu beban secara vertikal simetris dan vertikal tidak simetris. Dimana pembebanan vertikal simetris dilakukan dengan menggunakan tiga beban yaitu satu beban tetap (di titik D) dan dua beban bergerak (di titik E dan F), serta untuk pembebanan vertikal tidak simetris dilakukan hanya dengan menggunakan dua beban yaitu satu beban tetap (di titik D) dan satu beban bergerak (di titik F). Untuk pembacaan LVDT tetap dilakukan di tiga titik yaitu titik F dan E (secara vertikal) dan satu di dekat titik C (secara horizontal).

4.3. Hasil Pengujian Pembebanan Kuda-Kuda Beton Bertulangan Bambu

Hasil dari pengujian kuda-kuda beton tulangan bambu dengan agergat kasar batu bata dan menggunakan dua jenis sambungan meliputi pengukuran berat dari benda uji itu sendiri (kuda-kuda beton tulangan bambu), beban maksimum yang mampu ditahan sampai terjadi keruntuhan pada rangka kuda-kuda, dan penurunan aktual yang terjadi. Berdasarkan hasil aktual pengujian ini selanjutnya dilakukan beberapa analisis perbandingan untuk memperoleh beberapa hasil, antara lain perbandingan berat benda uji aktual dan teoritis dari kuda-kuda tulangan bambu yang menggunakan sambungan pelat-baut dan sambungan grouting, perbandingan beban maksimum aktual dan teoritis dari kuda-kuda rangka yang menggunakan sambungan pelat-baut dan sambungan grouting, perbandingan deformasi aktual dan teoritis, serta hubungan antara beban dan deformasi di titik tinjau pada setiap benda uji.

4.3.1. Berat per Volume Benda Uji Kuda-Kuda Beton Bertulang Bambu

Berat sendiri dari benda uji kuda-kuda beton tulangan bambu agregat batu-bata dengan variasi sambungan Pelat-Baut dan sambungan Grouting ditunjukkan dalam tabel 4.7. Selanjutnya dengan volume benda uji satu kuda-kuda tulangan bambu sebesar $0,06164 \text{ m}^3$ maka dapat diperoleh berat benda uji per satuan volume.

Berat rata-rata untuk benda uji tipe A (sambungan pelat-baut) adalah sebesar 134,9625 kg dan untuk tipe B (sambungan grouting) adalah sebesar 130,15 kg. Terdapat selisih berat sebesar 4,8125 kg antara 2 tipe benda uji yang ada di penelitian ini. Benda uji yang terberat adalah benda uji tipe A-3 yaitu sebesar 134,95 kg dan benda uji teringan adalah benda uji tipe B-3 yaitu sebesar 126,55 kg.

Tabel 4.7 Berat Per Volume Aktual Benda Uji Kuda – Kuda Beton Komposit

Benda Uji	No.	Jenis Pembebanan	Berat Benda Uji (kg)	Berat Rata-Rata (kg)	Volume Benda Uji (m ³)	Berat/Volume (kg/m ³)
Tipe A	5	Vertikal Simetris	133,50	134,963	0,06164	2189,528
	6	Vertikal Simetris	134,45			
	3	Vertikal Tidak Simetris	135,95			
	4	Vertikal Tidak Simetris	135,90			
Tipe B	5	Vertikal Simetris	133,10	130,15	0,06164	2111,454
	6	Vertikal Simetris	130			
	3	Vertikal Tidak Simetris	126,55			
	4	Vertikal Tidak Simetris	130,95			

Keterangan:

Tipe A : Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut

Tipe B : Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Grouting

4.3.2. Perbandingan Berat Benda Uji Aktual dan Teoritis

Dari hasil pengujian bahan uji silinder beton di dapatkan berat isi beton untuk benda uji rangka kuda-kuda beton bertulang bambu. Sesuai dengan SNI 03-2835-2000, volume benda uji dibuat dalam bentuk silinder beton berdimensi 0,005 m³, dari hasil tersebut dapat dihitung berat per volume dari masing-masing benda uji secara teoritis, sehingga diperoleh hasil perbandingan berat sendiri per volume benda uji secara aktual dan teoritis yang dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Berdasarkan hasil tabel 4.7 dapat dilihat bahwa terdapat selisih berat benda uji dari variasi sambungan secara teoritis dan hasil penimbangan yang dilakukan di laboratorium (aktual), selanjutnya dibandingkan dalam satuan berat per volume (0,06164 m³)

Tabel 4.8 Hasil Perbandingan Berat Per Volume Benda Uji Aktual dan Teoritis

Benda Uji	Berat Per Volume		KR
	Teoritis (kg/m ³)	Rata-Rata Aktual (kg/m ³)	%
Tipe A	2312,5	2189,528	5,318
Tipe B	2312,5	2111,454	8.694

Keterangan:

Tipe A : Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut Tipe

Tipe B : Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Grouting

Dari hasil perbandingan table 4.8 dapat dilihat bahwa perbedaan berat per volume dari masing-masing jenis sambungan tidak menunjukkan kesalahan relatif.

4.3.3. Beban Maksimum yang mampu Ditahan Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu

Pengujian benda uji kuda-kuda beton tulangan bambu secara vertikal simetris dan vertikal tidak simetris yang masing-masingnya menggunakan satu beban tetap sebesar 100 kg, dan beban bergerak dimana untuk pembebanan vertikal simetris menggunakan dua beban bergerak, dan untuk pembebanan vertikal tidak simetris hanya menggunakan satu beban bergerak. Penambahan beban bergerak terus dilakukan per interval beban 50 kg sampai benda uji tidak lagi mampu menahan beban yang terus ditambah atau melawan pembebanan yang dilakukan dengan kata lain benda uji sudah mengalami keruntuhan (*collapse*). Beban maksimum dari masing-masing tipe sambungan dan jenis pembebanan berbeda-beda, dan dapat dilihat tabel 4.9 adalah tabel hasil pengujian beban maksimum pada benda uji.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Beban Maksimum Pada Kuda-Kuda Beton Komposit

Benda Uji	Jenis Pembebanan	Beban Maksimum (kg)	Beban Maksimum Rata-rata (kg)
Tipe A	Vertikal Simetris	5	1100
		6	1300
	Vertikal Tidak Simetris	3	650
		4	1250
Tipe B	Vertikal Simetris	5	300
		6	200
	Vertikal Tidak Simetris	3	250
		4	300

Keterangan:

Tipe A: Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut

Tipe B: Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Grouting

Berdasarkan tabel 4.9 hasil pengujian beban pada benda uji kuda-kuda beton tulangan bambu, benda uji dengan jenis sambungan pelat-baut dan dibebankan secara vertikal tidak simetris memiliki beban maksimum terbesar yang bisa ditahan oleh benda uji dalam penelitian ini. Dari seluruh benda uji dalam penelitian ini hasil yang didapatkan sangat bervariasi dipengaruhi banyak faktor, mulai dari pekerjaan persiapan pengecoran, proses pembuatan benda uji, hingga ke proses pengujian. Sementara pada penelitian sebelumnya kuda-kuda beton tulangan bambu tanpa sambungan dapat menahan beban maksimum sebesar 6500 kg (*Tedy Wonolele, 2013*), hal ini membuktikan bahwa penambahan sambungan pada bentang kuda-kuda tulangan bambu mempengaruhi kekuatan dari kuda-kuda itu sendiri. Peneliti membandingkan hasil kuda-kuda yang disambung dengan kuda-kuda tanpa sambungan sangat jauh berbeda, namun penelitian kali ini difokuskan pada kuda-kuda yang disambung dengan pelat-baut dan sambungan grouting. Oleh karena itu, semakin banyak jumlah benda uji yang dibuat akan semakin kecil kemungkinan adanya hasil yang bervariasi. Untuk beban maksimum terendah terjadi pada benda uji dengan sambungan grouting yang dibebankan secara vertikal simetris.

4.3.4. Perbandingan Beban Maksimum Aktual dan Teoritis

Setelah didapat beban maksimum hasil pengujian, selanjutnya dilakukan analisis mengenai hasil tersebut dengan cara membandingkannya dengan beban maksimum teoritis hitungan. Hasil perbandingan beban maksimum aktual dan teoritis disajikan dalam Tabel 4.10.

Berdasarkan hasil perbandingan beban maksimum yang terjadi dapat dilihat bahwa benda uji tipe A dan tipe B tidaklah mencapai kondisi beban maksimum teoritis saat dilakukan pengujian. Saat benda uji tidak mencapai kondisi beban maksimum teoritis, benda uji telah mengalami keruntuhan terlebih dahulu, dimana keruntuhan yang dialami adalah keruntuhan beton di bagian batang tarik. Hal ini terjadi karena kapasitas tegangan tarik beton terhadap gaya tarik sangat lemah sehingga beton hancur terlebih dahulu, meskipun tulangan bambu belum mencapai tegangan tarik maksimum.

Tabel 4.10 Hasil Perbandingan Beban Maksimum Aktual dan Teoritis

Benda Uji	Jenis Pembebanan	Beban Maksimum		KR %
		Teoritis (kg)	Rata-Rata Aktual (kg)	
Tipe A	Vertikal Simetris	955,5	1200	20,375

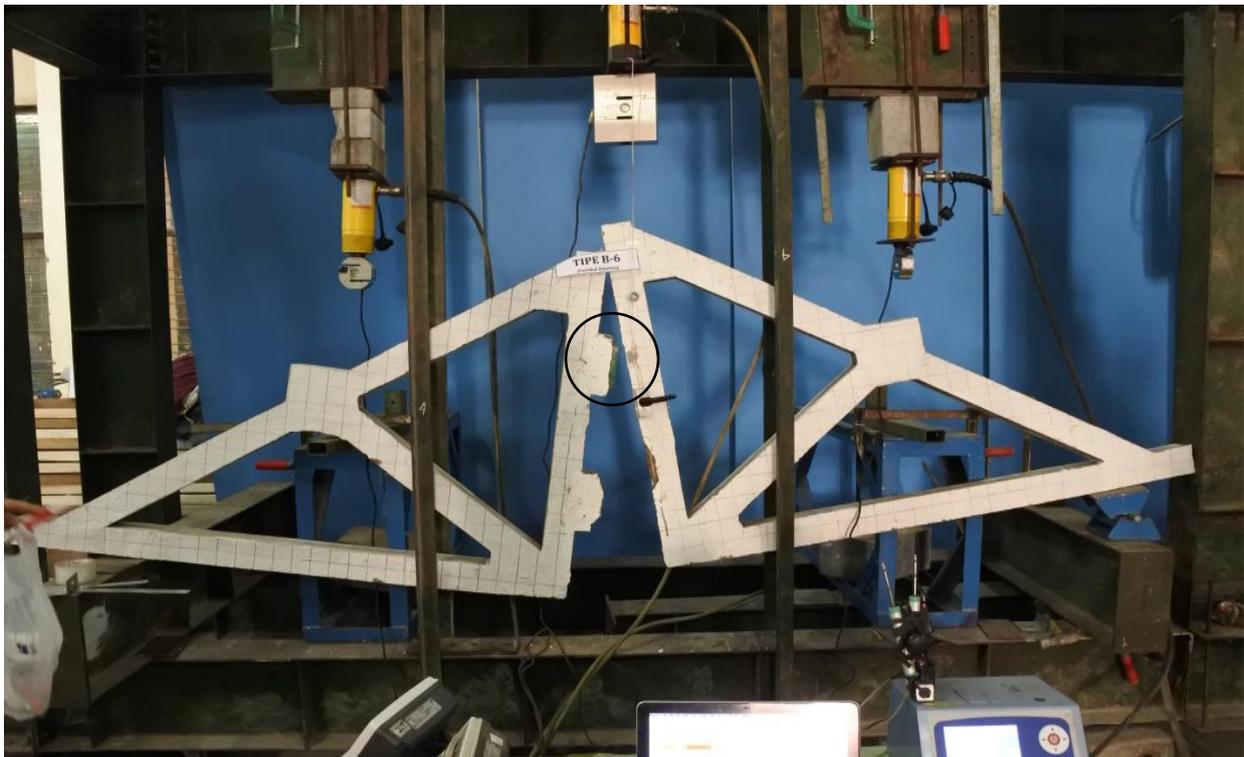
	Vertikal Tidak Simetris	1274,34	950	25,452
Tipe B	Vertikal Simetris	955,5	250	73,836
	Vertikal Tidak Simetris	1274,34	275	78,420

Keterangan:

Tipe A : Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut

Tipe B : Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Grouting

Dengan hasil perbandingan tersebut, terjadi selisih antara beban maksimum teoritis dan aktual pada semua tipe benda uji diatas 20 %. Selisih terbesar ditemukan pada benda uji tipe B pembebanan Vertikal tidak simetris yang dapat dilihat melalui hasil perhitungan kesalahan relatif (KR) hingga mencapai 78,42 %. Selisih perbedaan hasil aktual dan teoritis pada perhitungan beban maksimum terjadi akibat model keruntuhan yang tidak diprediksi sebelumnya, yaitu keruntuhan pada bagian sambungan. Keruntuhan pada sambungan ini terlihat melalui gambar 4.3 dengan kondisi salah satu bagian rangka kuda-kuda terpisah dari sambungan grouting, sedangkan tulangan bambu masih dalam kondisi belum hancur.



Gambar 4.3 Kondisi akhir Benda uji tipe B-6 Hasil Pengujian

Berdasarkan Gambar 4.3 kondisi benda uji B-6 yaitu sambungan grouting dengan pembebanan vertikal simetris, dapat dilihat bahwa keruntuhan yang terjadi karena sambungan grouting terlepas dari kuda-kuda saat pembebanan baru berjalan di interval 100 kg, dan tidak

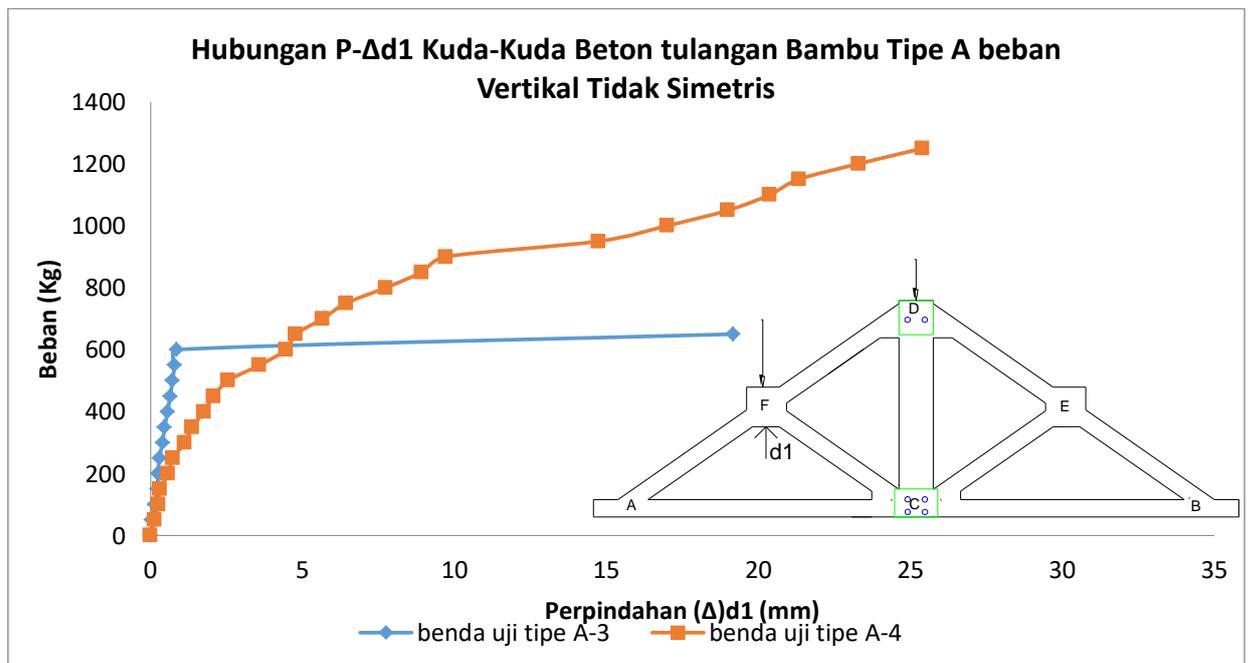
ada retak yang terjadi pada kuda-kuda tersebut. Hal ini mengartikan bahwa beton kuda-kuda belum mengalami keruntuhan, tetapi sambungan kurang kuat mengikat kedua bagian kuda-kuda.

4.3.5. Hubungan Beban dan Deformasi di Titik Tinjau

Selain untuk mengetahui beban maksimum yang terjadi pada benda uji kuda-kuda yang disambung dengan sambungan pelat-baut dan sambungan grouting, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui deformasi yang terjadi pada benda uji yang telah diuji. Selanjutnya data tersebut bisa di hubungkan dengan data beban maksimum. Hasil menunjukkan pada setiap penambahan beban menggunakan pompa hidraulik dengan interval beban setiap 50 kg terdapat perpindahan melalui bacaan LVDT pada titik tinjau yang sudah ditentukan. Seperti yang disebutkan, LVDT dipasang pada titik E, titik F secara vertikal dan titik C secara horizontal. Hubungan beban dan perpindahan (deformasi) yang terjadi pada pengujian ditunjukkan dalam bentuk P - Δ pada setiap benda uji.

4.3.5.1. Grafik Hubungan P - Δ di titik F vertikal (d1)

Pembebanan benda uji kuda-kuda beton tulangan bambu secara vertikal menyebabkan perpindahan titik *joint* ke arah bawah atau searah dengan pembebanan. Hubungan beban P dan perpindahan Δ di titik F secara vertikal (d1) untuk setiap benda uji pada tiap pengujian tersaji dalam bentuk gambar 4.4 sampai dengan gambar 4.7.

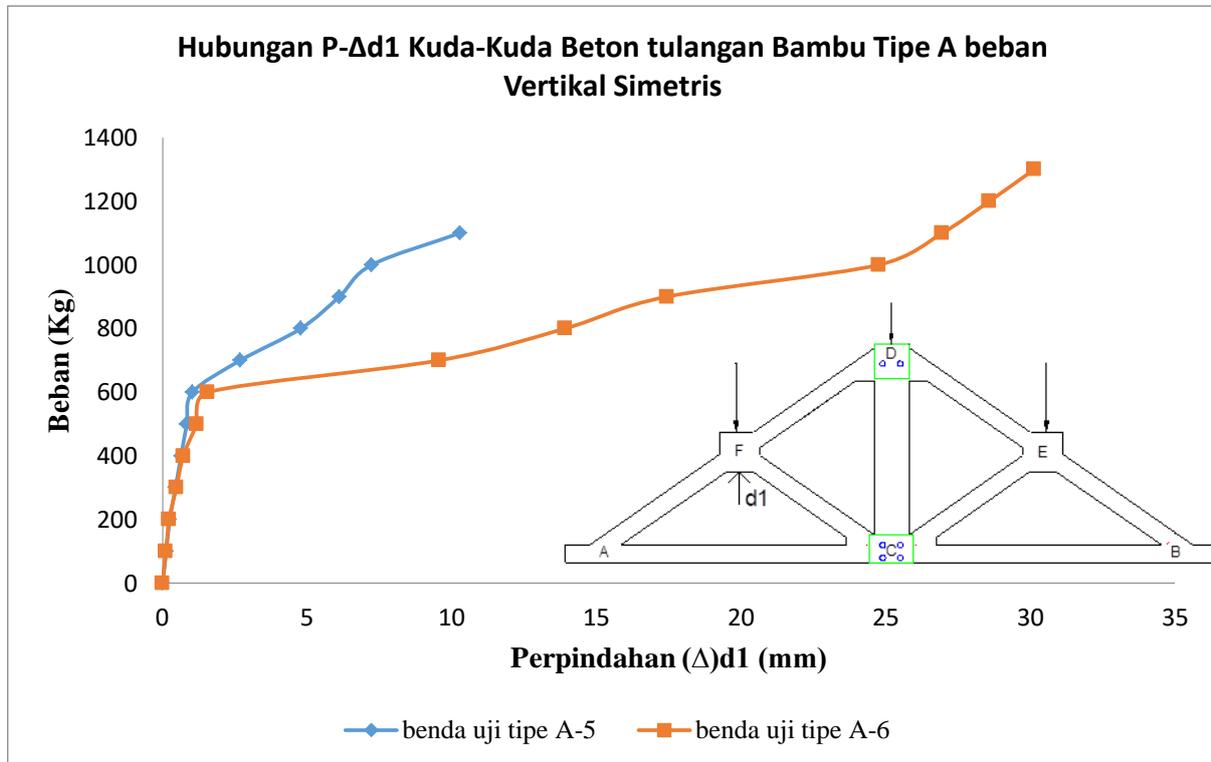


Gambar 4.4 Grafik Hubungan P- Δ d1 Benda Uji Tipe A beban Vertikal Tidak Simetris

Keterangan:

Tipe A : Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut

Melalui hubungan $P - \Delta d1$ pada benda uji tipe A-3 dan tipe A-4, pembebanan yang dilakukan adalah pembebanan secara vertikal tidak simetris dapat dilihat kondisi batas beban maksimum, juga dapat dilihat kondisi batas elastis benda uji. Batas kondisi elastis benda uji ditandai dengan batas garis linier pada grafik. Contoh seperti benda uji A-3 yang mencapai batas kondisi elastis pada beban 600 kg dan perpindahan yang terjadi adalah 0.86 mm.

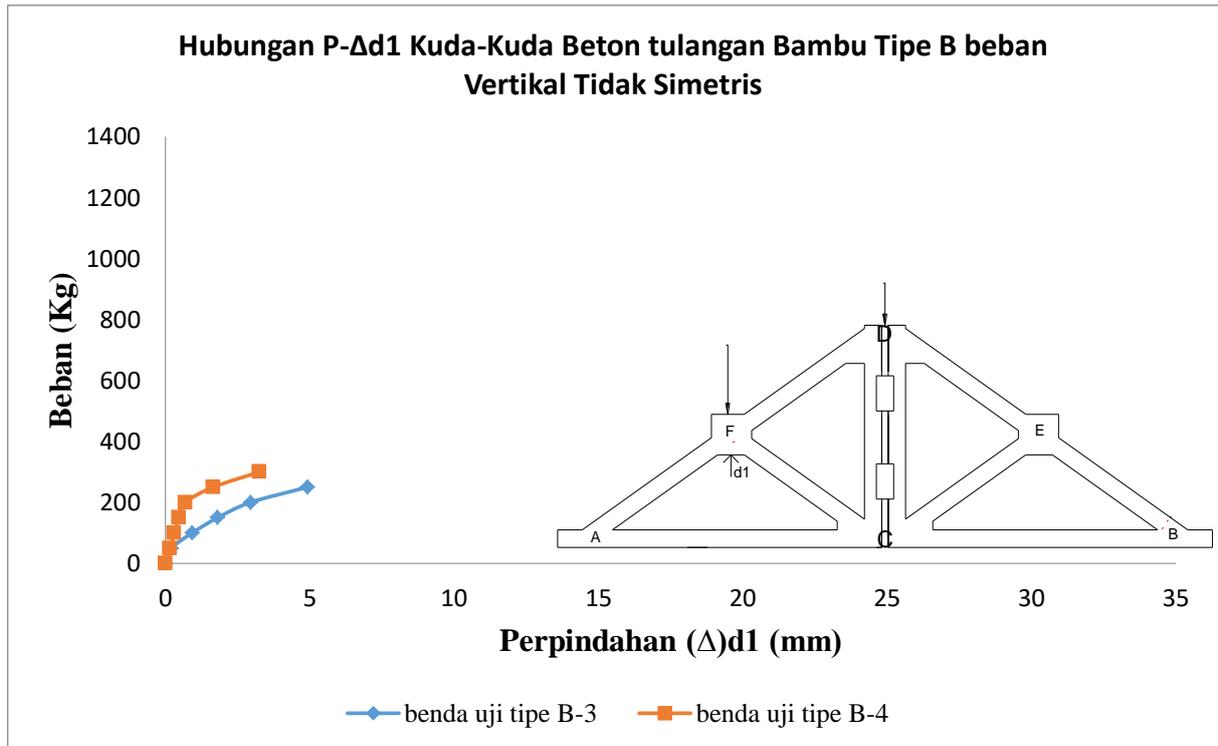


Gambar 4.5 Grafik Hubungan P- $\Delta d1$ Benda Uji tipe A beban Vertikal Simetris

Keterangan:

Tipe A: Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut

Benda uji tipe A-5 dan A-6 merupakan benda uji sambungan pelat-baut dengan pengujian beban vertikal simetris dan pada grafik terlihat bahwa benda uji tipe A-6 mengalami perpindahan yang paling besar yaitu hingga 30,16 mm sementara benda uji tipe A-5 saat mencapai fase keruntuhan hanya mengalami perpindahan sebesar 10,28 mm. Jika dilihat pada grafik gambar 4.5 beban maksimum yang mampu di tahan oleh benda uji tipe A-5 tidak menunjukkan selisih yang jauh dengan beban yang mampu di tahan oleh benda uji tipe A-6.

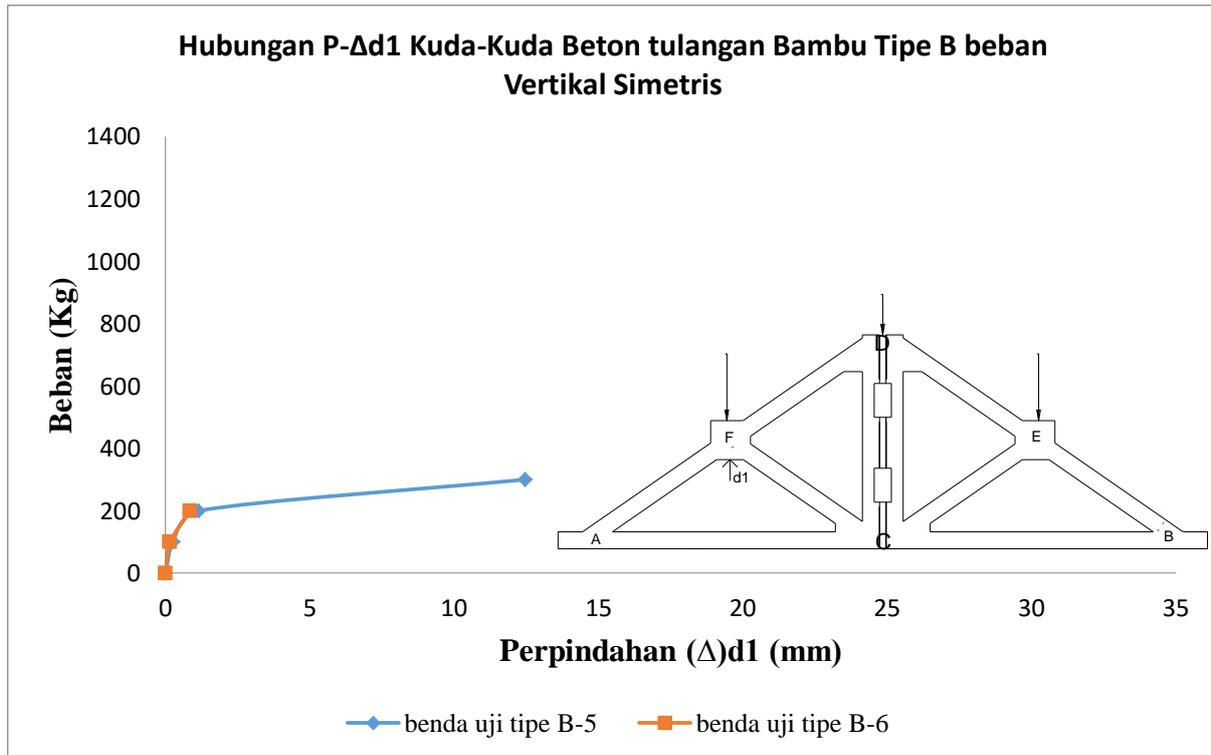


Gambar 4.6 Grafik Hubungan P- Δ d1 Benda Uji Tipe B beban Vertikal Tidak Simetris

Keterangan:

Tipe B: Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Grouting

Benda uji tipe B-3 dan B-4 merupakan benda uji sambungan grouting dengan pengujian beban vertikal tidak simetris. Berdasarkan grafik gambar 4.6 dapat dilihat bahwa beban maksimum yang mampu ditahan oleh rangka kuda-kuda beton tulangan bambu dengan sambungan grouting hanya sebesar 300 kg untuk benda uji B-3 dan 250 kg untuk benda uji B-4 sampai mencapai titik keruntuhannya. Walaupun beban maksimum B-3 lebih besar 50 kg dibanding B-4 namun perpindahan maksimum yang terjadi justru lebih besar benda uji B-4 yaitu sebesar 4.93 mm, dan untuk perpindahan maksimum benda uji B-3 adalah sebesar 3.26 mm.



Gambar 4.7 Grafik Hubungan P- Δ d1 Benda Uji Tipe B beban Vertikal Simetris

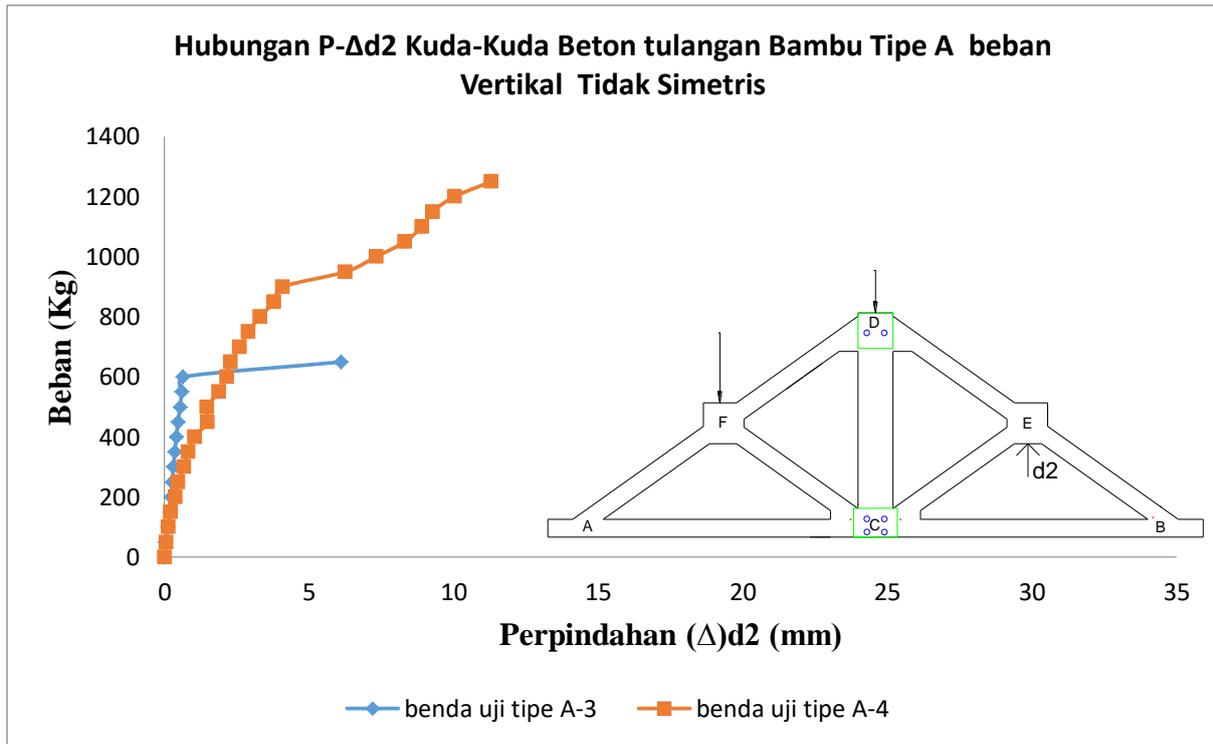
Keterangan:

Tipe B : Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Grouting

Benda uji tipe B-5 dan B-6 merupakan benda uji sambungan grouting dengan pembebanan vertikal simetris. Dalam pengujian kali ini terlihat bahwa beban maksimum yang mampu ditahan sangat kecil tidak sesuai dengan teoritis. Hal ini dikarenakan saat pengujian benda uji mengalami *collapse* yang sangat tidak terduga.

4.3.5.2. Grafik Hubungan P - Δ di titik E vertikal (d2)

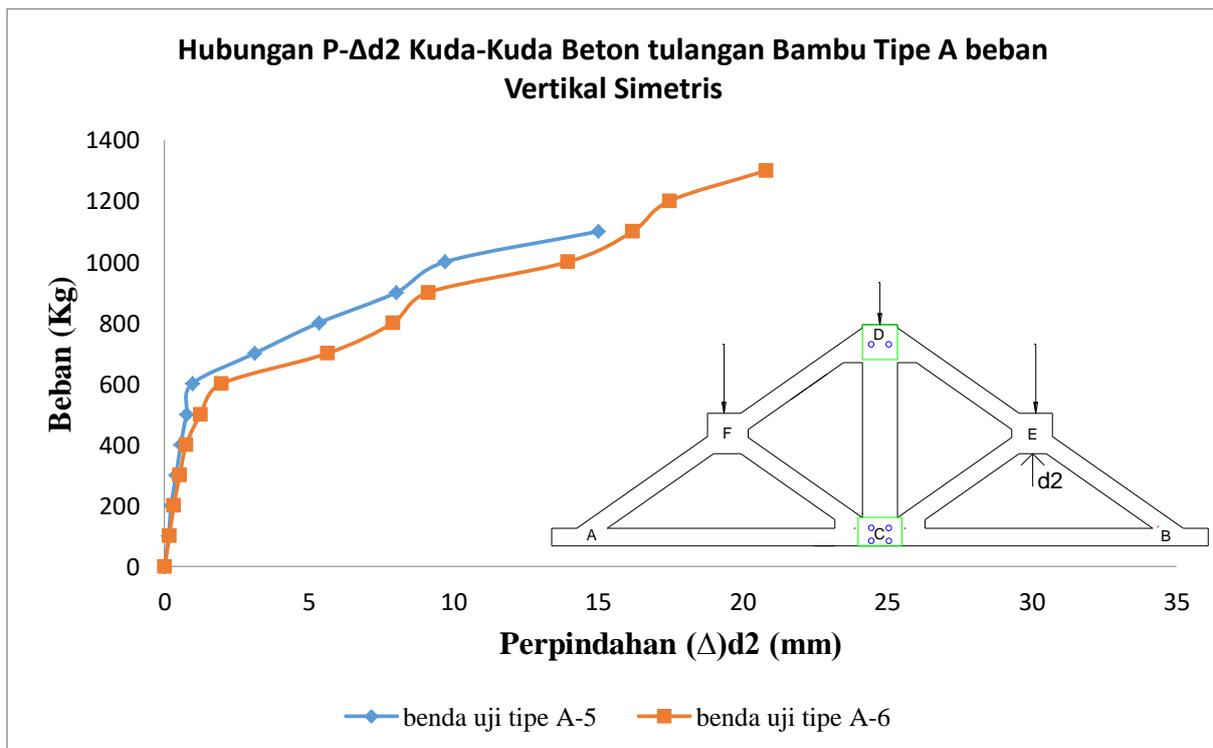
Perilaku kuda-kuda yang mengalami deformasi akibat beban luar dipengaruhi transfer gaya-gaya aksial pada setiap batang. Gaya-gaya batang ini kemudian menyebabkan terjadinya perpindahan posisi titik *joint*, baik dalam arah vertikal, horizontal, maupun keduanya sekaligus. Setelah mengetahui perpindahan vertikal di titik E, pembacaan LVDT juga menunjukkan adanya perpindahan di titik E secara vertikal. Hasil perpindahan tersebut dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 4.8 sampai dengan Gambar 4.11.



Gambar 4.8 Grafik Hubungan P- Δ d2 Benda Uji Tipe A beban Vertikal Tidak Simetris

Keterangan:

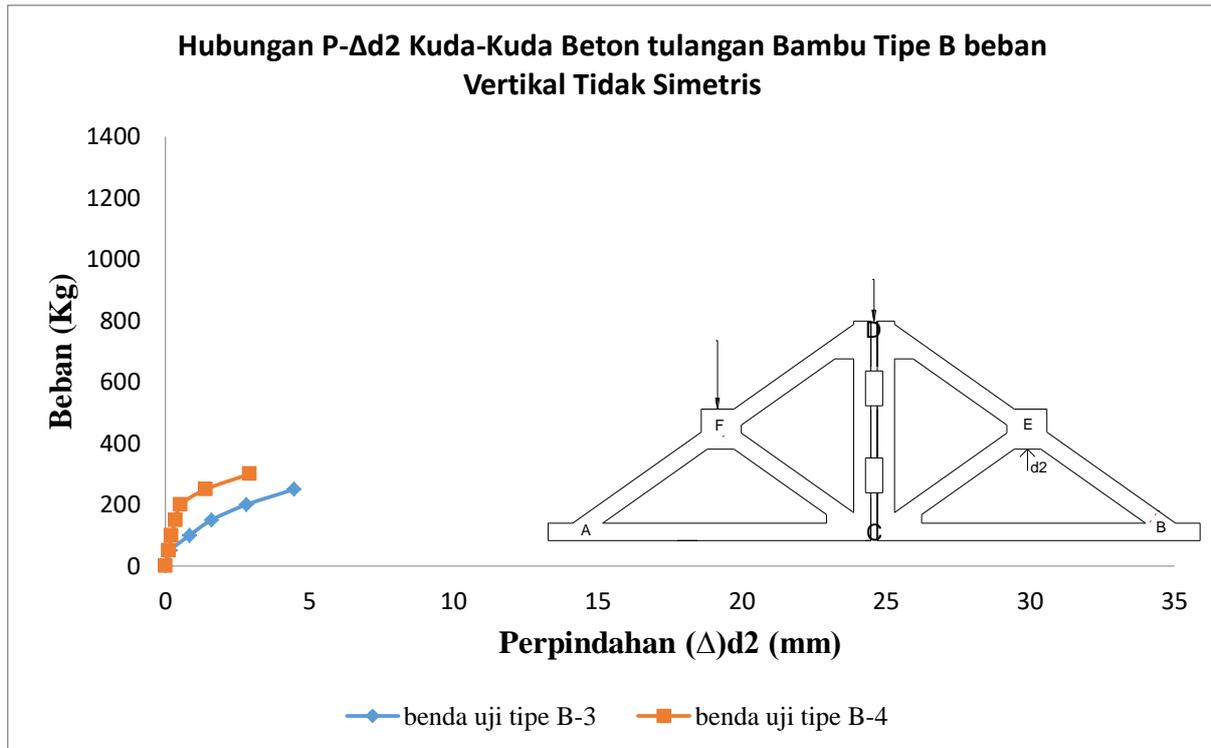
Tipe A: Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Pelat-baut



Gambar 4.9 Grafik Hubungan P- Δ d2 Benda Uji Tipe A beban Vertikal Simetris

Keterangan:

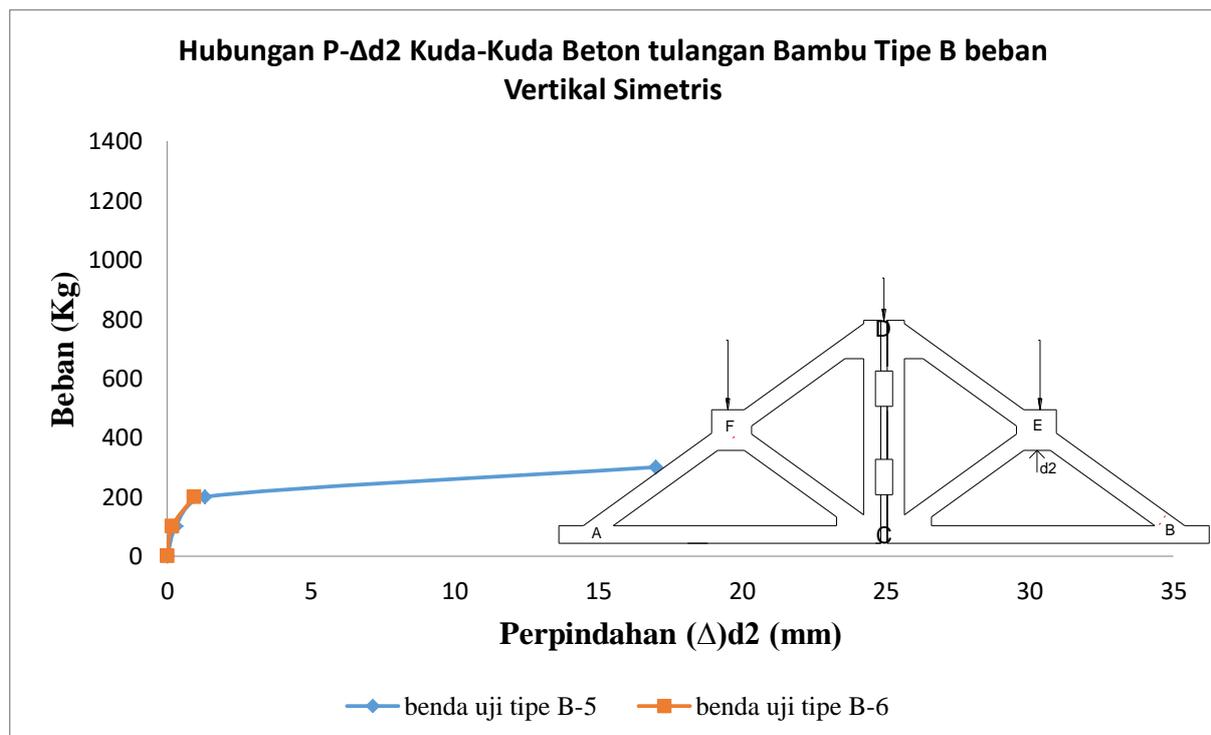
Tipe A: Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Pelat-baut



Gambar 4.10 Grafik Hubungan P- Δ d2 Benda Uji Tipe B beban Vertikal Tidak Simetris

Keterangan:

Tipe B : Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Grouting



Gambar 4.11 Grafik Hubungan P- Δ d2 Benda Uji Tipe B beban Vertikal Simetris

Keterangan:

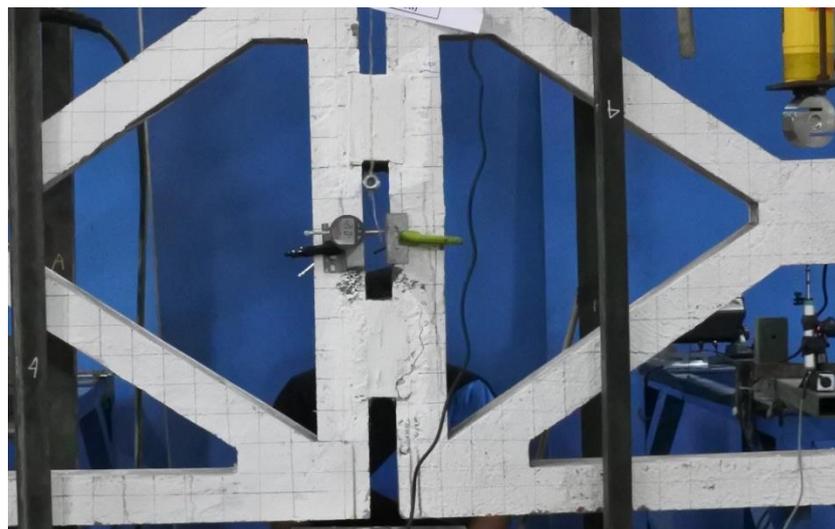
Tipe B : Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Grouting

4.3.5.3. Grafik Hubungan P - Δ di titik C horizontal (d3)

Berbeda dengan titik tinjau lainnya, pada grafik hubungan P - Δ berikut, titik tinjau yang berada di titik C dimana alat LVDT yang digunakan, adalah LVDT digital yang diletakkan secara horizontal yang terpasang seperti pada gambar 4.12 dan gambar 4.13. Perbedaan cara pemasangan di titik C (d3) dikarenakan peneliti ingin melihat respon yang diberikan oleh batang tengah kuda-kuda terhadap beban vertikal yang diberikan.



Gambar 4.12 Penempatan LVDT dititik C secara horizontal kuda-kuda tipe A



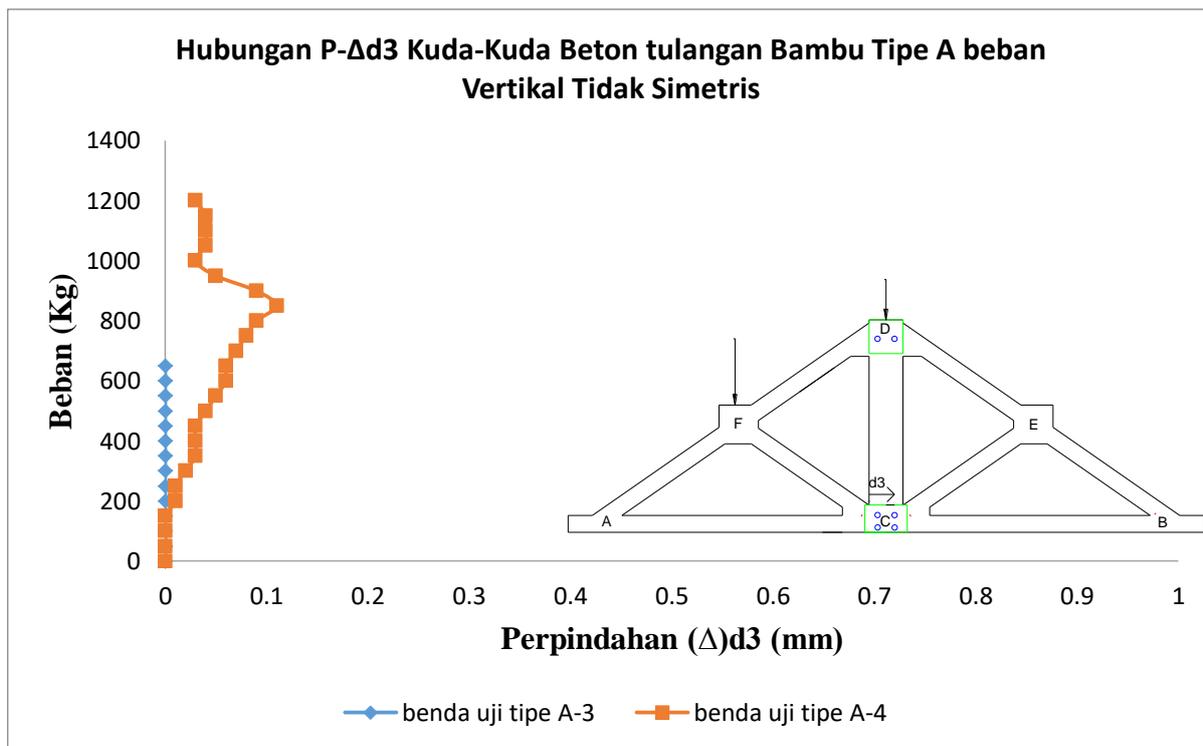
Gambar 4.13 Penempatan LVDT dititik C secara horizontal kuda-kuda tipe B

Keterangan:

Tipe A: Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut

Tipe B: Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Grouting

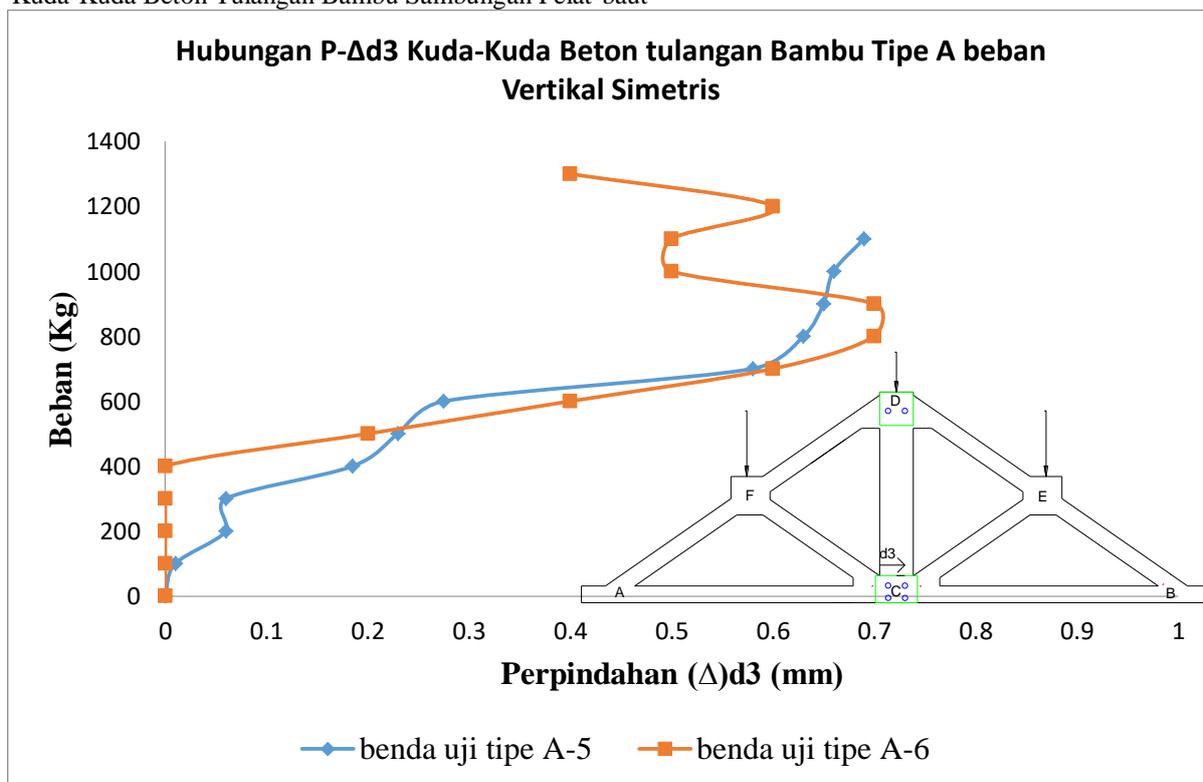
Hasil dari perpindahan batang tengah dari kuda-kuda dilihat dari nilai indikator yang keluar setelah dilakukan pembebanan. Dari nilai tersebut, dapat dibuat grafik hubungan antara beban dengan perpindahannya yang tersaji pada Gambar 4.14 sampai dengan Gambar 4.17.



Gambar 4.14 Grafik Hubungan P- Δ d3 Benda Uji Tipe A beban Vertikal Tidak Simetris

Keterangan: Tipe A

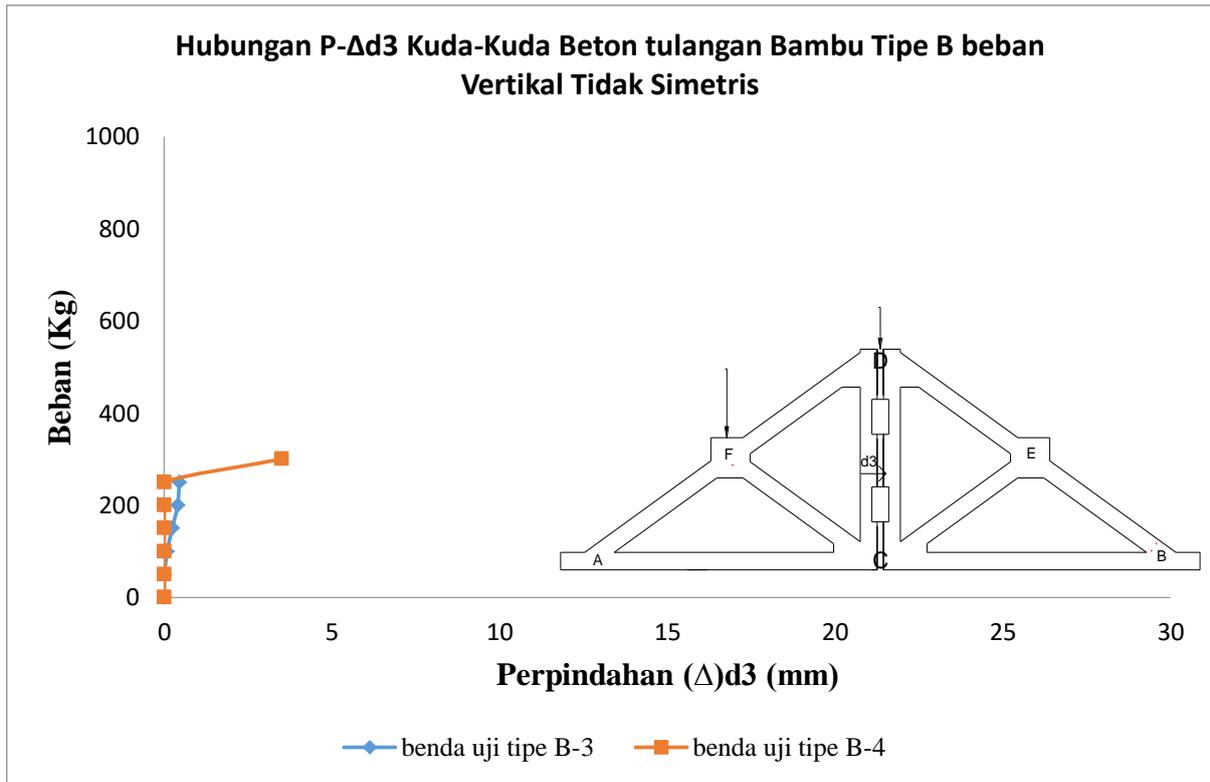
Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Pelat-baut



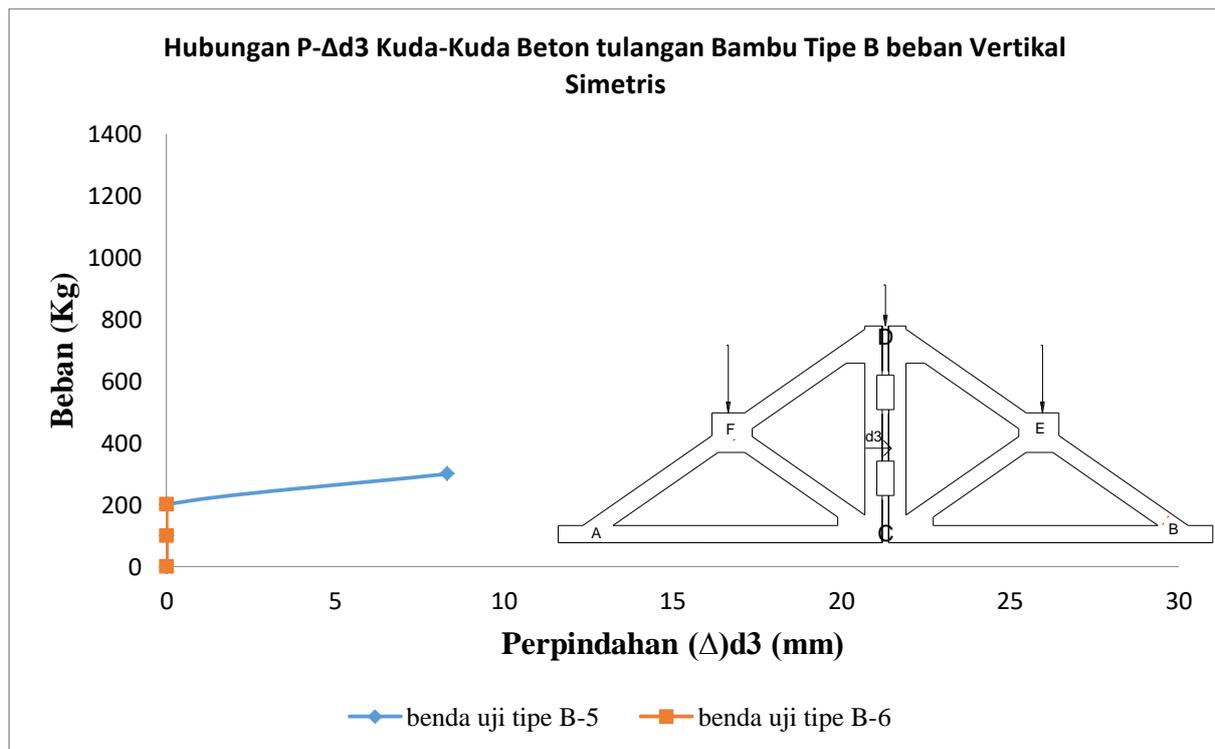
Gambar 4.15 Grafik Hubungan P- Δ d3 Benda Uji Tipe A beban Vertikal Simetris

Keterangan:

Tipe A: Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Pelat-baut



Gambar 4.16 Grafik Hubungan P- Δ d3 Benda Uji Tipe B beban Vertikal Tidak Simetris
 Keterangan:
 Tipe B: Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Grouting



Gambar 4.17 Grafik Hubungan P- Δ d3 Benda Uji Tipe B beban Vertikal Simetris
 Tipe B : Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Grouting

4.3.6. Deformasi Aktual yang terjadi akibat Pembebanan

Dari pengujian benda uji sambungan pelat-baut dan sambungan grouting secara vertikal simetris dan tidak simetris diperoleh besarnya perpindahan yang terjadi pada titik tinjau yaitu titik E, F dan C secara vertikal dan horizontal. Hasil perpindahan maksimum d1,d2, dan d3 saat pengujian dapat dilihat pada tabel 4.11.

Yang menjadi perhatian pada penelitian ini adalah perbandingan dari kinerja masing-masing sambungan pada benda uji yang termasuk adalah perpindahan maksimum dan elastis, karena dalam aplikasi sehari-hari elastisitas beton menjadi faktor untuk menentukan batas aman dan batas layan kerja struktur yang akan digunakan. Batas elastis benda uji saat pengujian dapat dilihat melalui grafik hubungan beban dan perpindahan ($P-\Delta$) yang diambil dalam kondisi beban P elastis sama agar deformasi elastis benda uji berdasarkan grafik hubungan beban dan perpindahan ($P-\Delta$) adalah saat beban P terendah dari seluruh benda uji dimana terjadinya pergeseran garis linier pertama dan saat retak pertama terjadi. Rekapitulasi deformasi saat benda uji mencapai beban elastis dapat dilihat dalam tabel 4.12.

Tabel 4.11 Hasil Perpindahan Maksimum Pengujian

Benda Uji	No. Benda Uji	Jenis Pembebanan	P Maks (kg)	Δ Maks			Rata-rata Δ Maks		
				d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)
Tipe A	5	Vertikal	550	10,28	15	0,69	20,21	17,91	0,7
	6	Simetris	650	30,13	20,81	0,7			
	3	Vertikal Tidak	650	19,17	6,11	0	22,29	8,7	0,06
	4	Simetris	1250	25,4	11,29	0,11			
Tipe B	5	Vertikal	150	12,48	17	8,31	6,67	8,97	4,16
	6	Simetris	100	0,86	0,93	0			
	3	Vertikal Tidak	250	4,93	3,37	0,45	4,1	3,15	1,98
	4	Simetris	300	3,26	2,93	3,5			

Tabel 4.12 Penentuan Nilai P Elastis Tinjauan

Benda Uji	No. Benda Uji	Jenis Pembebanan	P Elastis (kg)	P Elastis Rata-Rata (kg)	P Elastis Tinjauan (kg)
Tipe A	5	Vertikal Simetris	300	300	100
	6		300		
	3	Vertikal Tidak Simetris	600	750	
	4		900		
Tipe B	5	Vertikal Simetris	100	100	
	6		100		
	3	Vertikal Tidak Simetris	50	125	
	4		200		

Tabel 4.13 Hasil Perpindahan Saat Beban P Elastis

Benda Uji	No. Benda Uji	Jenis Pembebanan	P Elastis Tinjauan (kg)	Δ Elastis			Rata -Rata Δ Elastis		
				d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)
Tipe A	5	Vertikal Simetris	100	1,04	0,96	0,28	1,3	1,47	0,49
	6	Vertikal Simetris		1,56	1,97	0,7			
	3	Verikal Tidak Simetris		0,86	0,64	0	5,29	2,37	0,06
	4	Vertikal Tidak Simetris		9,71	4,09	0,11			
Tipe B	5	Vertikal Simetris		1,15	1,31	0	1,01	1,12	0
	6	Vertikal Simetris		0,86	0,93	0			
	3	Vertikal Tidak Simetris		0,15	0,11	0,45	0,42	0,32	0,23
	4	Vertikal Tidak Simetris		0,69	0,53	0			

Keterangan

Tipe A : Kuda-kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut

Tipe B : Kuda-kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Grouting

4.3.7. Perbandingan Deformasi Aktual dan Teoritis

Nilai perpindahan aktual saat batas beban elastis pada pengujian kemudian dianalisis dengan membandingkan nilainya terhadap hasil perhitungan teoritis. Nilai deformasi teoritis dihitung dengan cara metode *unit load*. Faktor-faktor yang mempengaruhi perhitungan deformasi teoritis dengan metode ini antara lain, kuat tekan beton, berat isi beton, elastisitas beton, luas penampang benda uji, dan beban P elastis. Semua faktor tersebut telah diperoleh melalui hasil pengujian dan analisis sebelumnya. Hasil perbandingan deformasi aktual dan teoritis disajikan dalam Tabel 4.14 sampai Tabel 4.16.

Tabel 4.14 Hasil Perbandingan Deformasi $\Delta d1$ Elastis Pengujian dan Teoritis

Benda Uji	Jenis Pembebanan	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi $\Delta d1$ Elastis	
			Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Tipe A	Vertikal Simetris	100	0,187	1,3
	Verikal Tidak Simetris		0,148	5,29
Tipe B	Vertikal Simetris		0,066	1,01
	Vertikal Tidak Simetris		0,059	0,42

Tabel 4.15 Hasil Perbandingan Deformasi Δd_2 Elastis Pengujian dan Teoritis

Benda Uji	Jenis Pembebanan	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi Δd_2 Elastis	
			Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Tipe A	Vertikal Simetris	100	0,184	1,47
	Verikal Tidak Simetris		0,135	2,37
Tipe B	Vertikal Simetris		0,055	1,12
	Vertikal Tidak Simetris		0,038	0,32

Tabel 4.16 Hasil Perbandingan Deformasi Δd_3 Elastis Pengujian dan Teoritis

Benda Uji	Jenis Pembebanan	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi Δd_3 Elastis	
			Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Tipe A	Vertikal Simetris	100	0,058	0,49
	Verikal Tidak Simetris		0,047	0,06
Tipe B	Vertikal Simetris		0,019	0
	Vertikal Tidak Simetris		0,009	0,23

Keterangan

Tipe A : Kuda-kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut

Tipe B : Kuda-kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Grouting

Dalam perbandingan deformasi teoritis dengan aktual terlihat perbedaan selisih dari keduanya yang jauh untuk setiap titik tinjau kecuali pada perbandingan di Tipe B dengan jenis pembebanan vertikal simetris, karena pada aktual hasil yang didapatkan tidak ada atau 0. Perbedaan nilai ini terjadi karena banyak faktor saat pengujian benda uji berlangsung dan tidak dapat diperhitungkan sebelumnya, sehingga butuh persiapan yang lebih baik lagi saat perencanaan benda uji. Pada saat pengujian, kondisi beton juga lebih lemah dibanding kondisi tulangan yang tidak lain menggunakan tulangan bambu, sehingga sangat mempengaruhi deformasi aktual yang terjadi selama pengujian. Selain faktor saat pengujian, faktor saat memperhitungkan deformasi teoritis juga perlu diperhatikan, rumus empiris modulus elastisitas yang digunakan pada penelitian ini merupakan persamaan untuk beton normal, sedangkan pada penelitian ini benda uji yang digunakan adalah benda uji dengan bahan beton ringan yang diakibatkan dari penggunaan agregat kasar batu bata sebagai pengganti agregat kasar kerikil.

4.4. Pembahasan

Pada pengujian kali ini, peneliti membuat benda uji berupa rangka Kuda-kuda beton tulangan bambu dengan agregat kasar batu bata yang pada penelitian sebelumnya (*Muhammad Hanif Insani, 2016*) sudah membahas tentang variasi agregat kasar pada rangka kuda-kuda beton tulangan bambu, dan didapat kesimpulan bahwa agregat kasar batu bata dapat menjadi alternatif pengganti agregat kasar batu kerikil dan menjadikan beton lebih ringan. Sehingga peneliti memilih agregat kasar batu bata untuk dijadikan bahan dalam pembuatan kuda-kuda beton tulangan bambu membuat. Kuda-kuda beton tulangan bambu dibuat menjadi dua bagian agar dapat disambungkan dengan menggunakan sambungan pelat-baut dan sambungan grouting yang diharapkan dapat mempermudah pengerjaan rangka atap.

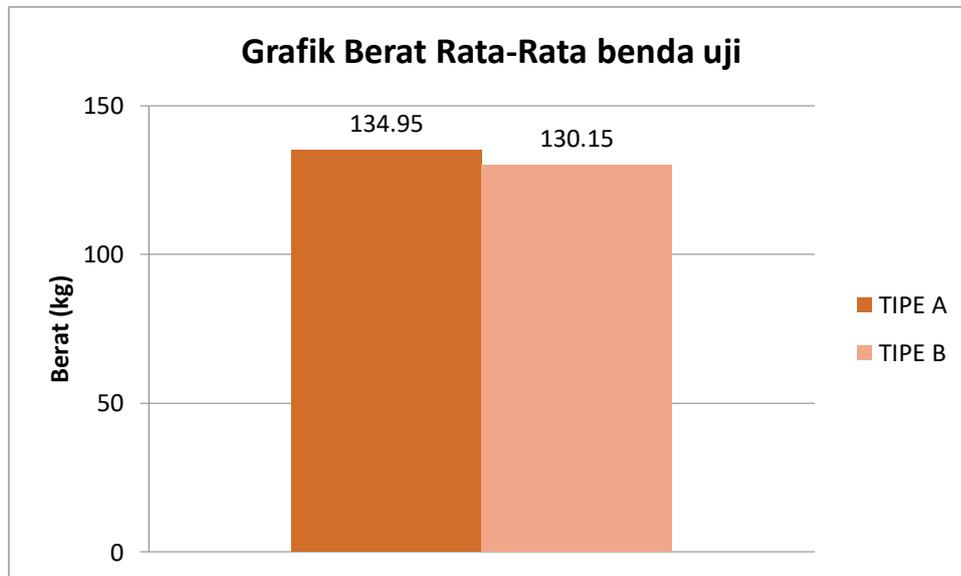
4.4.1. Pengaruh Variasi Sambungan pada Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu

Ada dua variasi sambungan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu sambungan yang menggunakan pelat-baut dan sambungan yang menggunakan cor grouting, setelah kedua segmen kuda-kuda disambung menggunakan kedua sambungan tersebut, pengujian dilakukan dengan membebani rangka kuda-kuda yang sudah disambung secara vertikal simetris dan vertikal tidak simetris, dimana vertikal simetris menggunakan satu beban tetap dan dua beban bergerak dan untuk vertikal tidak simetris hanya menggunakan satu beban bergerak disalah satu sisi kuda-kuda. Adapun pengaruh yang terjadi pada benda uji kuda-kuda beton bertulang pada penelitian kali ini berfokus pada beban maksimum yang mampu ditahan oleh kuda-kuda, pola retakan yang terjadi pada kuda-kuda dan perpindahan penurunan yang terjadi.

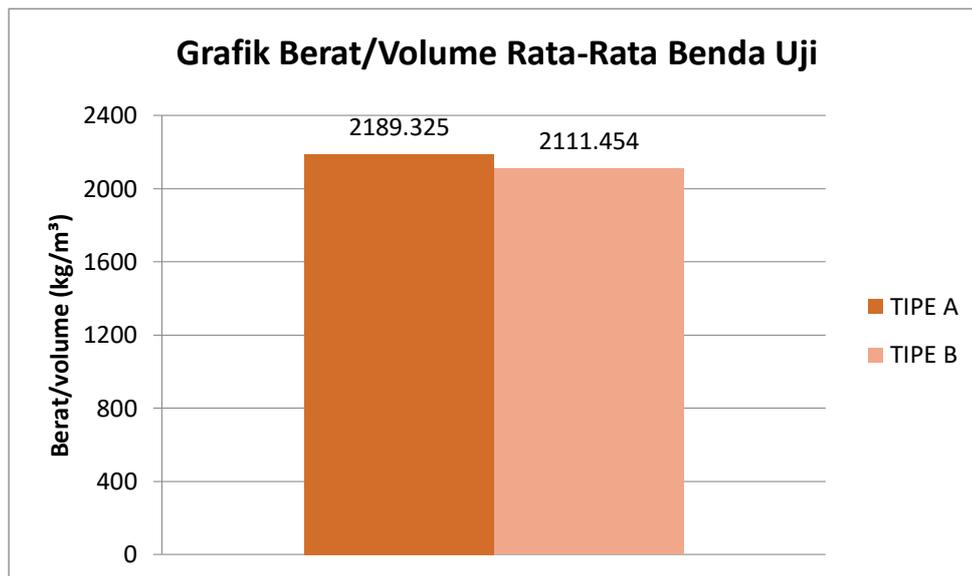
4.4.1.1. Pengaruh Variasi Sambungan terhadap Berat Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu

Perkembangan bahan pada dunia konstruksi sangat diperhatikan oleh pelaksana konstruksi, salah satunya adalah proses dalam pelaksanaan konstruksi dimana banyak pekerjaan yang harus diselesaikan dengan cepat dan tepat. Pekerjaan yang membutuhkan banyak tenaga dan tidak praktis akan menyebabkan berkurangnya efisiensi waktu dalam pengerjaan. Untuk mengurangi pekerjaan yang terlambat, maka perlu diperhatikan material atau bahan yang praktis digunakan dan praktis dalam pemasangannya saat di lapangan. Salah satu pekerjaan yang memerlukan tenaga dan waktu banyak adalah pemasangan rangka kuda-kuda atap, karena pemasangannya yang sulit terkadang pemasangan rangka kuda-kuda menyebabkan pekerjaan lainnya terganggu. Oleh sebab itu, pemasangan model kuda-kuda dengan sambungan akan mempermudah pemasangan karena pemasangan segmen kuda-kuda dapat dilakukan langsung di tempat yang seharusnya.

Dalam penelitian ini benda uji yang tidak lain adalah rangka kuda-kuda dengan agregat batu bata dan disambung menggunakan pelat-baut dan corgrouting, memiliki ragam berat yang berbeda-beda, ada benda uji yang mencapai berat 135,95 kg ada juga yang hanya 125,55 kg.



Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Berat rata-rata Benda Uji



Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Berat/Volume rata-rata Benda Uji

Keterangan

Tipe A : Kuda-kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut

Tipe B : Kuda-kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Grouting

Berdasarkan grafik gambar 4.19, berat benda uji merupakan berat benda uji aktual atau dilakukan penimbangan langsung di laboratorium terlihat bahwa benda uji tipe B memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan benda uji tipe A. Benda uji tipe A memiliki berat yang lebih besar dibanding dengan benda uji tipe B dikarenakan adanya bahan tambahan berupa pelat dan baut yang ada pada sambungan tipe A sehingga membuat benda uji tipe A memiliki berat yang lebih besar walaupun tidak terlalu jauh. Sehingga mempengaruhi pada berat per volume beton benda uji.

Meskipun benda uji tipe A memiliki berat yang lebih besar namun perlu diingat beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji tipe A lebih besar dibandingkan benda uji tipe B. Berat dan kekuatan kuda-kuda menjadi perhatian serius dalam perencanaan rangka atap, oleh karena itu diperlukan perencanaan yang matang dalam memilih jenis rangka kuda-kuda yang akan digunakan dalam suatu pekerjaan.

4.4.1.2. Pengaruh Variasi Sambungan terhadap Kekakuan Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu

Salah satu hasil dari penelitian ini dimana pengujian beban vertikal simetris dan tidak simetris terhadap kuda-kuda beton tulangan dengan agregat kasar batu bata adalah grafik hubungan beban dan perpindahan titik ($P - \Delta$). Pada setiap benda uji, ada tiga grafik hasil pengujian dengan tiga titik tinjau perpindahan berbeda yaitu grafik ($P - \Delta d1$) untuk perpindahan vertikal di titik F, ($P - \Delta d2$) untuk perpindahan vertikal di titik E, dan ($P - \Delta d3$) untuk perpindahan horizontal di titik C. Namun dari ketiga grafik tersebut hanya grafik hubungan beban dan perpindahan vertikal di titik E ($P - \Delta d2$) yang bisa digunakan untuk menentukan tingkat kekakuan benda uji.

Pemilihan grafik hubungan beban dan perpindahan vertikal di titik E ($P - \Delta d2$) untuk penentuan tingkat kekakuan didasari oleh letak titik tinjau dan posisi pemasangan LVDT di titik tersebut. LVDT yang dipasang horizontal di titik C atau hasil grafik ($P - \Delta d3$) kurang akurat untuk dijadikan acuan penentuan nilai kekakuan karena perpindahan arah horizontal sangat dipengaruhi oleh tumpuan rol di titik B (pengujian kuda-kuda tipe A) dan di titik A (pengujian kuda-kuda tipe B) yang mudah mengalami pergeseran baik akibat pengujian maupun akibat pengaruh di luar pengujian. Sedangkan grafik ($P - \Delta d1$) tidak bisa dijadikan acuan penentuan nilai kekakuan karena pada titik tinjau tersebut LVDT sempat mengalami perpindahan atau pengecilan nilai bacaan akibat jatuhnya benda uji yang sempat membuat LVDT di titik F menjadi sulit di kalibrasi sehingga angka yang terbaca di monitor berubah-ubah setiap di kalibrasi ulang

Hasil nilai kekakuan diperoleh dari hasil perbandingan kapasitas beban dan perpindahan yang terjadi pada saat beban tersebut. Dalam pengujian ini, nilai kekakuan ditentukan pada saat kondisi beban maksimum terkecil dari setiap benda uji dan perpindahan yang terjadi saat beban maksimum tersebut. Berdasarkan grafik hubungan beban dan perpindahan di titik E ($P - \Delta d_2$) diperoleh bahwa benda uji tipe B memiliki beban maksimum terkecil dengan nilai 100 kg, maka nilai beban tersebut selanjutnya dijadikan acuan untuk menentukan nilai kekakuan masing-masing benda uji yang dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Nilai Kekakuan Kuda-kuda Beton Tulangan Bambu

Benda Uji	No. Benda Uji	Jenis Pembebanan	P Tinjau (kg)	Δd_2 (mm)	Δd_2 Rata-Rata (mm)	Kekakuan $P/\Delta d_2$ Rata-Rata (kg/mm)
Tipe A	5	Vertikal Simetris	100	0,14	0,18	563,38
	6			0,32		
	3	Vertikal Tidak Simetris		0,12		
	4			0,13		
Tipe B	5	Vertikal Simetris		1,31	0,83	121,58
	6			0,93		
	3	Vertikal Tidak Simetris		0,84		
	4			0,21		

Keterangan

Tipe A : Kuda-kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut

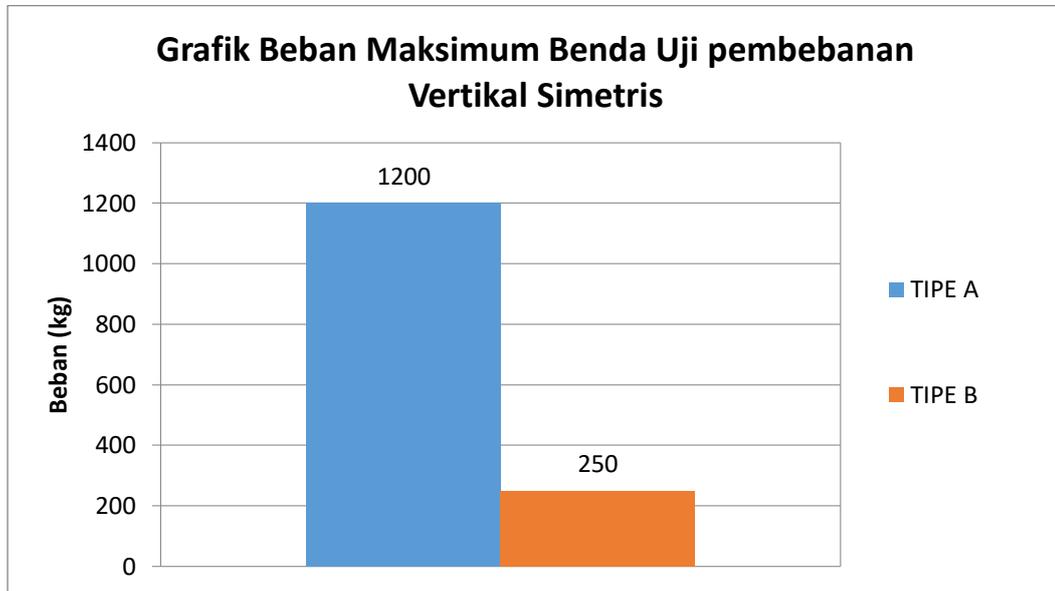
Tipe B : Kuda-kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Grouting

Berdasarkan hasil nilai kekakuan pada grafik gambar 4.17, benda uji kuda-kuda beton tulangan bambu agregat kasar batu bata dengan variasi sambungan kuda-kuda, diperoleh bahwa sambungan kuda-kuda tipe B memiliki nilai kekakuan yang lebih rendah di banding tipe A. Hal ini dikarenakan saat pengujian benda uji tipe B jenis pembebanan vertikal simetris, terjadi keruntuhan (*collapse*) saat beban baru mencapai 150 kg, sehingga perpindahan yang terjadi menjadi besar, kekakuan yang terjadi pun akhirnya menjadi sangat kecil. Dapat dilihat jika selisih kekakuan antara tipe A dengan tipe B, kuda-kuda tipe A memiliki tingkat kekakuan hampir 5x lebih besar dari tipe B.

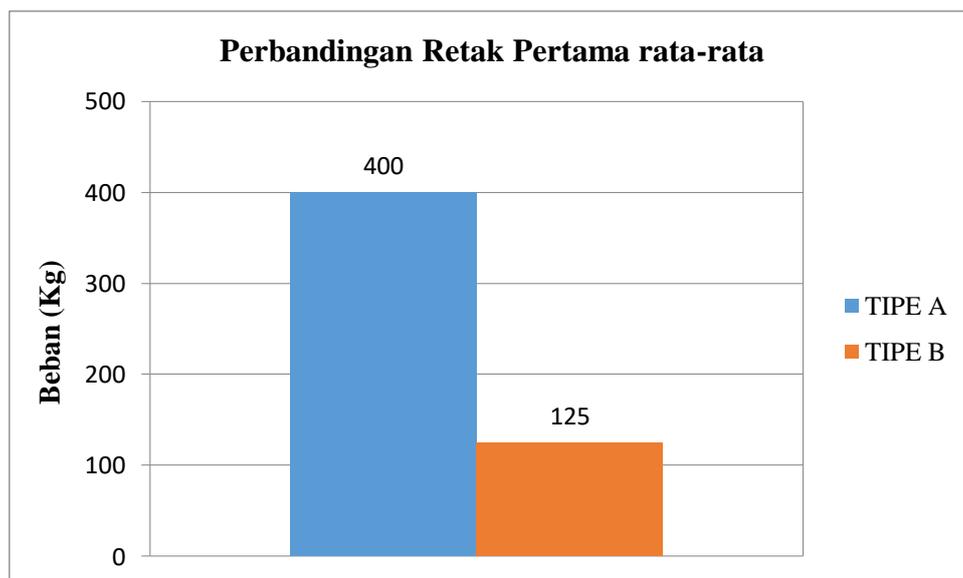
4.4.2. Pengaruh Variasi Sambungan terhadap Beban Maksimum yang mampu ditahan Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu

Hasil lainnya yang di dapat pada penelitian ini adalah besar beban maksimum dari masing-masing kuda-kuda yang telah disambung dengan sambungan pelat-baut dan sambungan grouting. Variasi dari sambungan memberikan kekuatan yang berbeda-beda dari

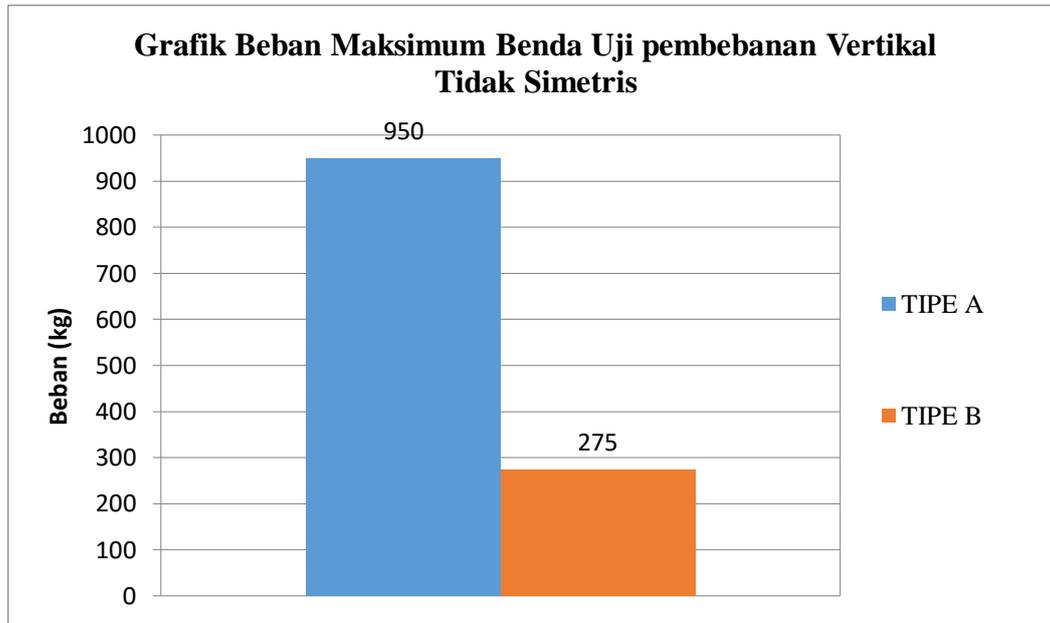
masing-masing kuda-kuda tulangan bambu. Dari tiap variasi sambungan pembebanan yang dilakukan dibagi menjadi dua jenis pembebanan yaitu pembebanan vertikal simetris dan vertikal tidak simetris. Beban maksimum rata-rata dari masing-masing kuda-kuda dengan dua jenis pembebanan dapat dilihat pada gambar grafik 4.20.



Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Beban Maksimum Rata-Rata Benda Uji Pembebanan Vertikal Simetris



Gambar 4.21 Grafik perbandingan retakan Pertama rata-rata



Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Beban Maksimum Rata-Rata Benda Uji Pembebanan Vertikal Tidak Simetris

Keterangan

Tipe A : Kuda-kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut

Tipe B : Kuda-kuda Beton Tulangan Bambu Sambungan Grouting

Dari hasil grafik gambar 4.20 dan gambar 4.22 terlihat bahwa benda uji dengan sambungan tipe A lebih kuat menahan beban dalam kedua jenis pembebanan, dengan nilai terbesar pada pembebanan vertikal simetris sebesar 600 kg dan pada pembebanan vertikal tidak simetris sebesar 950 kg. Untuk sambungan tipe B mempunyai beban maksimum yang lebih kecil dikarenakan faktor pada penyambungan benda uji yang menggunakan metode kurang tepat. Sehingga diperlukan penelitian lanjut untuk membuat metode yang digunakan dapat benar-benar digunakan pada kuda-kuda sambungan grouting.

4.4.3. Pola Retak yang terjadi pada Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu

Masing-masing kuda-kuda beton tulangan bambu yang sudah diuji mengalami keretakan yang diakibatkan dari beban yang diberikan, benda uji yang dibebankan sampai mengalami keruntuhan memberikan retak-retak yang berbeda pada beberapa titik kuda-kuda. Pada tipe A pola retak terjadi didekat sambungan dimana retakan berada di batang tarik, pada tipe B pola retak yang terjadi berada di sambungan itu sendiri. Kedua tipe sambungan mengalami pola retak yang berbeda itu juga dikarenakan jenis pembebanan pada masing-masing kuda-kuda dimana ada pembebanan vertikal simetris dan vertikal tidak simetris. Berikut beberapa gambar pola retak dari benda uji kuda-kuda beton tulangan bambu yang telah diuji di laboratorium pada gambar 4.23 sampai dengan gambar 4.26.



Gambar 4.23 Pola Retak pada Kuda-Kuda Tipe A Pembebanan Vertikal Tidak Simetris



Gambar 4.24 Pola Retak pada Kuda-Kuda Tipe A Pembebanan Vertikal Simetris

Dari gambar 4.23 dan 4.24 yang merupakan gambar pola retakan dari kuda-kuda tulangan bambu dengan sambungan pelat baut dilihat pola yang terjadi berada pada tempat yang sama. Retakan terjadi pada batang tarik dari kuda-kuda yang dikarenakan beban diberikan sehingga batang tarik menahan perpindahan yang terjadi sehingga terjadi retakan. Selain itu saat pembebanan telah selesai dilakukan, keruntuhan yang terjadi pada kuda-kuda berada pada betonm hal ini dikarenakan jika dilihat tulangan bambu yang digunakan pada kuda-kuda tidak terjadi kerusakan yang berarti.



Gambar 4.25 Pola Retak pada Kuda-Kuda Tipe B Pembebanan Vertikal Tidak Simetris



Gambar 4.26 Pola Retak pada Kuda-Kuda Tipe B Pembebanan Vertikal Simetris

Gambar 4.25 dan gambar 4.26 merupakan gambar pola retak dari kuda-kuda dengan sambungan grouting. Berbeda dengan pola retak yang terjadi pada sambungan pelat-baut, pola retak yang terjadi pada sambungan grouting lebih menunjukkan patahan yang terjadi pada sambungan itu sendiri, sehingga benda uji kuda-kuda mengalami keruntuhan (*collapse*) terlebih dahulu sebelum mencapai beban maksimum yang diperkirakan.



Gambar 4.27 Kondisi terakhir retakan pada kuda-kuda Tipe A



Gambar 4.28 Kondisi terakhir retakan pada kuda-kuda Tipe B