

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Bahan

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

4.1.1 Analisis Agregat Kasar

Penelitian ini menggunakan bahan agregat kasar berbeda dari beton normal lainnya, agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini merupakan pecahan limbah batu bata, limbah batu bata yang masih utuh dipecahkan menggunakan mesin penghancur batu, limbah batu bata didapatkan dari berbagai tempat seperti sisa reruntuhan gedung B Teknik Sipil Universitas Brawijaya, selanjutnya batu bata yang terkumpul di bagi berdasarkan ukuran gradasi yang diperlukan. Sehingga didapatkan analisis agregat kasar batu bata sebagai berikut.

Tabel 4.1
Hasil Analisis Agregat Kasar Batu Bata

Analisis	Nilai	Satuan
Modulus kehalusan		
Kadar air	1,6773	%
Berat jenis kering permukaan jenuh	2,482	
Penyerapan air	21,64	%
Berat isi (<i>Rodded</i>)	872,754	gr/cc
Berat isi (<i>Shoveled</i>)	811,508	gr/cc

Berdasarkan data yang ada diatas, penyerapan yang terjadi pada agregat kasar batu bata memiliki nilai yang sangat besar, dengan arti 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 analisi agregat halus adalah sebagai berikut.

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 mengalami tingkat absorpsi air yang sangat tinggi, sehingga cenderung mengalami perlemahan. Hasil perencanaan *mix design* agregat batu bata dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut.

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

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK		NILAI	
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/l ^t)	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 limbah batu bata perlu diperhatikan bahwa nilai FAS (faktor air semen) diberi nilai lebih, karena tingkat penyerapan air dari agregat tersebut cukup tinggi. Berdasarkan hasil tabel perencanaan *mix design* beton agregat batu bata di atas, dapat diketahui bahwa untuk membuat satu buah 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

Uji kuat tekan silinder beton 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	

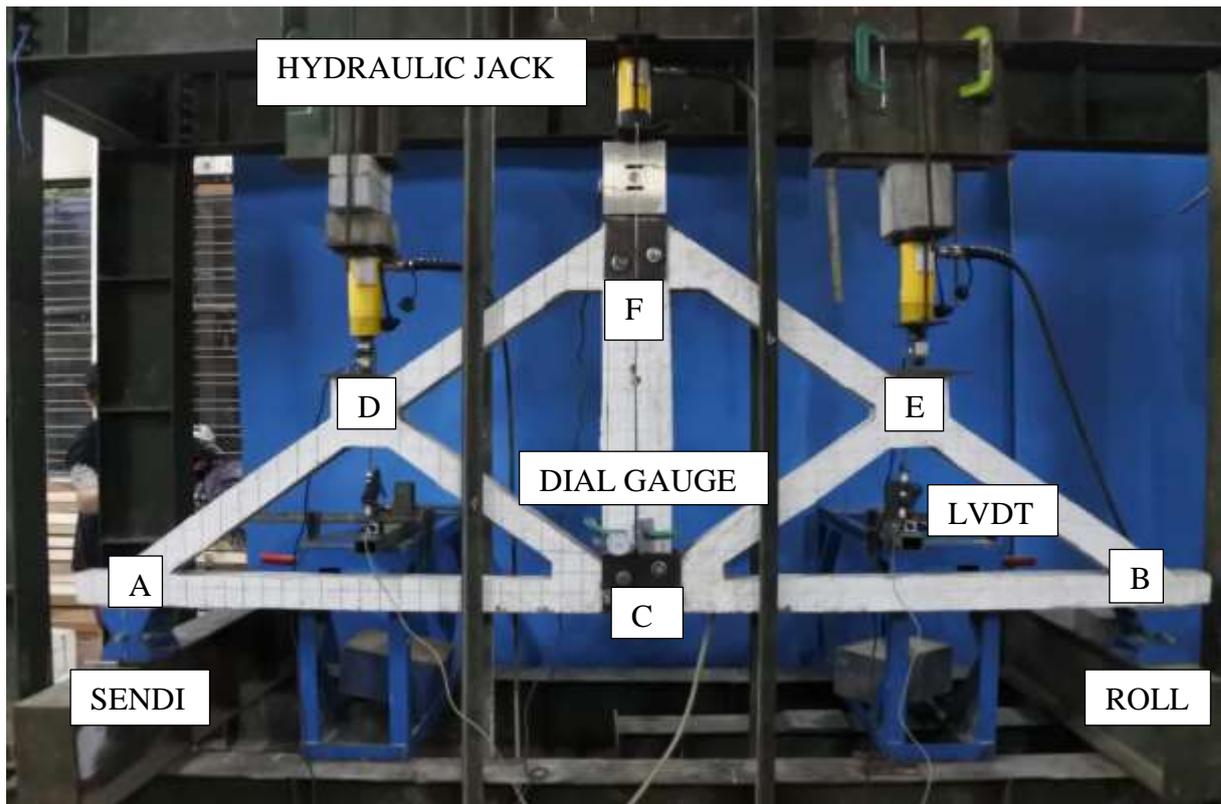
Tabel 4.6
Hasil Uji Kuat Tekan Silinder Beton

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/cm ²	kg/cm ²	kN	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
1	10,45	0,00197	0,001967	144	8,145	12,532	10,791
2	10,50	0,00198		103	5,826	8,963	
3	10,35	0,00195		125	7,071	10,878	

Dari hasil pengujian kuat tekan silinder diatas, terdapat selisih yang besar antara hasil uji silinder yang telah dilakukan dengan nilai kuat tekan yang direncanakan. Hal itu dapat terjadi dikarenakan umur silinder saat diuji dan juga bahan agregat yang digunakan pada penelitian ini merupakan limbah batu bata, dimana sesuai dengan analisis pengujian agregat kasar diatas agregat ini memiliki tingkat absorpsi air yang sangat tinggi. Sehingga memperlemah kekuatan beton secara keseluruhan **Pengujian Pembebanan Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu.**

Pengujian kuat tekan kuda-kuda ini dilakukan setelah umur kuda-kuda beton komposit 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, sampai sekitar 14 hari setelah bekisting dilepas. Hal ini dilakukan untuk memperlambat proses hidrasi beton sehingga mampu mencegah terjadinya retakan pada benda uji.

Sebelum melakukan pengujian, dilakukan pengukuran dimensi awal dan berat benda uji sebagai data awal. Karena pada pengujian ini menggunakan pengujian vertikal dengan 2 beban bertambah (*incremental load*) pada titik E dan D, beserta dengan 1 beban tetap di titik D sebesar 100 kg, 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 D dan di titik E pada posisi vertikal.



Gambar 4.1 Kuda-kuda beton tulangan bambu pada frame uji dengan beban vertikal simetris

Pengujian beban vertikal pada kuda-kuda beton komposit juga menghasilkan hubungan antara 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 F 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_1) dan (d_2) untuk mengetahui besar perpindahan yang terjadi di titik tersebut. Selain di titik D, titik E juga ditinjau perpindahan yang terjadi melalui pembacaan indicator (*dial gauge*) di batang tengah secara vertikal (d_3) yang berada dekat dengan titik C.

Benda uji diberi beban tetap (P_T) pada titik F 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_1) dan (d_2) untuk mengetahui besar perpindahan yang terjadi di titik tersebut. Selain di titik D, titik E juga ditinjau perpindahan yang terjadi melalui pembacaan indicator (*dial gauge*) di batang tengah secara vertikal (d_3) yang berada dekat dengan titik C.

Pada penelitian ini, pembebanan dibagi menjadi 2 jenis pembebanan yaitu beban secara vertikal simetris dan vertikal tidak simetris. Dimana pembebanan vertikal simetris dilakukan dengan menggunakan 3 beban yaitu 1 beban tetap (di titik F) dan 2 beban bergerak (di titik D dan E), serta untuk pembebanan vertikal tidak simetris dilakukan hanya dengan menggunakan 2 beban yaitu 1 beban tetap (di titik F) dan 1 beban bergerak (di titik D). Untuk pembacaan LVDT tetap dilakukan di 3 titik yaitu titik D dan E, dan 1 di dekat titik C.

4.2 Hasil Pengujian Pembebanan Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu

Hasil dari pengujian kuda-kuda beton tulangan bambu dengan agregat kasar batu bata dan menggunakan 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. Hasil pengujian di lapangan secara actual ini akan dibandingkan dengan perhitungan secara analisis.

4.2.1 Berat per Volume Benda Uji Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu

Berat sendiri dari benda uji kuda-kuda beton tulangan bambu agregat batu bata dengan sambungan pelat baut ditunjukkan dalam table 4.7. Selanjutnya dengan volume benda uji rangka kuda-kuda 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 134,963 kg. Benda uji yang terberat adalah benda uji tipe A-3 yaitu sebesar 135,95 kg dan benda uji teringan adalah benda uji tipe A-1 yaitu sebesar 133,50 kg.

Tabel 4.7

Berat Per Volume Aktual Benda Uji Kuda – Kuda Beton Komposit

No.	Jenis Pembebanan	Berat Benda Uji (kg)	Berat Rata-Rata (kg)	Volume Benda Uji (m^3)	Berat/Volume (kg/m^3)
1	Vertikal Simetris	133,50	134,963	0,06164	2189,528
2	Vertikal Simetris	134,45			
3	Vertikal Tidak Simetris	135,95			
4	Vertikal Tidak Simetris	135,90			

4.2.2 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 tulangan bambu. Sesuai dengan SNI 03-2835-2000, volume benda uji dibuat dalam bentuk silinder beton berdimensi $0,005 \text{ m}^3$, 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 dari tabel perbandingan tersebut, dapat dilihat bahwa terdapat selisih berat benda uji dari sambungan secara teoritis dan hasil penimbangan yang dilakukan di laboratorium (aktual), selanjutnya dibandingkan dalam satuan berat per volume ($0,06164 \text{ m}^3$).

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 P-B	1969,018	2189,528	11.199
----------	----------	----------	--------

Keterangan:

Tipe P-B : Kuda-kuda beton komposit tulangan bambu sambungan pelat-baut

Perbedaan berat teoritis dan actual benda uji tipe P-B terjadi karena adanya pengurangan berat cukup banyak seiring proses menguapnya air dari dalam beton hingga mencapai umur 28 hari. Penguapan yang dimaksud terjadi setelah benda uji tidak lagi ditutupi karung goni (*curing*), sehingga benda uji dapat terus menguap hingga benda uji saat akan diuji. Hal ini sangat bertolak belakang dengan kondisi berat benda uji silinder beton, dimana silinder beton diuji beratnya pada umur 7 hari hingga didapat nilai berat isi yang selanjutnya digunakan untuk menghitung berat benda uji kuda-kuda pada umur 28 hari. Akibat asumsi berat air yang juga diperhitungkan dalam berat teoritis benda uji tipe P-B, menjadikan berat isi teoritis jauh lebih berat dibandingkan kondisi actual benda uji tipe P-B.

4.2.3 Beban Maksimum yang Mampu Ditahan Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu

Pada pengujian beban vertikal pada penelitian ini terdapat tiga beban yang bekerja, namun hanya satu yang berfungsi sebagai beban tetap sebesar 100 kg, sedangkan dua lainnya sebagai beban bertambah hingga tercapai beban maksimum yang mampu ditahan benda uji. Penambahan beban terus dilakukan per interval beban 50 kg sampai benda uji telah runtuh (*collapse*). Beban maksimum yang mampu ditahan masing-masing tipe benda uji berbeda-beda, berikut adalah tabel hasil pengujian beban maksimum vertikal pada setiap benda uji.

Tabel 4.9

Hasil Pengujian Beban Maksimum Vertikal Pada Kuda-Kuda Beton

Tipe Benda Uji	No.	Jenis Pembebanan	Beban Maksimum (Kg)	Beban Maksimum Rata-rata (Kg)
A-5	1	Vertikal Simetris	550	600
A-6	2	Vertikal Simetris	650	
A-4	3	Vertikal Tidal Simetris	1250	950
A-3	4	Vertikal Tidak Simetris	650	

Berdasarkan hasil pengujian beban vertikal pada benda uji kuda-kuda beton komposit tulangan bambu, beban maksimum terbesar dihasilkan oleh jenis pembebanan vertikal tidak simetris nomer tiga dibandingkan benda uji tipe lain. Berdasarkan hasil pengujian beban vertical simetris diatas, kedua benda uji runtuh pada beban yang sama, yaitu pada

beban bertambah 600 kg. Dikarenakan pembebanan dilakukan pada 2 titik, maka bertambah total rata-rata yang dapat ditahan ialah 1200 kg.



Gambar 4.2 Foto benda uji a-5 vertikal simetris setelah *collapse*



Gambar 4.3 Foto benda uji a-3 vertikal tidak simetris setelah *collapse*

4.2.4 Perbandingan Beban Maksimum Aktual dan Teoritis

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

Tabel 4.10

Hasil Perbandingan Beban Maksimum Aktual dan Teoritis

No.	Tipe Benda Uji	Jenis Pembebanan	Beban Maksimum (kg)		KR (%)
			Teoritis	Rata" Aktual	
1	A-5	Vertikal Simetris	955,5	600	37,206
2	A-6				
3	A-4	Vertikal Tidak Simetris	1274,34	950	25.452
4	A-3				

Dengan hasil perbandingan tersebut, terjadi selisih yang besar antara beban maksimum teoritis dan actual. Selisih yang besar ini dapat dilihat melalui hasil perhitungan kesalahan relatif (KR) hingga mencapai 37.206 %. Penyebab perbedaan hasil yang cukup besar dikarenakan perhitungan teoritis tidak memperhitungkan kondisi bahan, tulangan, sengkang, kondisi beton, dan juga hanya menggunakan batang tegah monolit yang dianggap satu batang sedangkan actual ada 2 batang. Keruntuhan terjadi pada bagian batang beton dan bukan pada sambungan pelat baut.



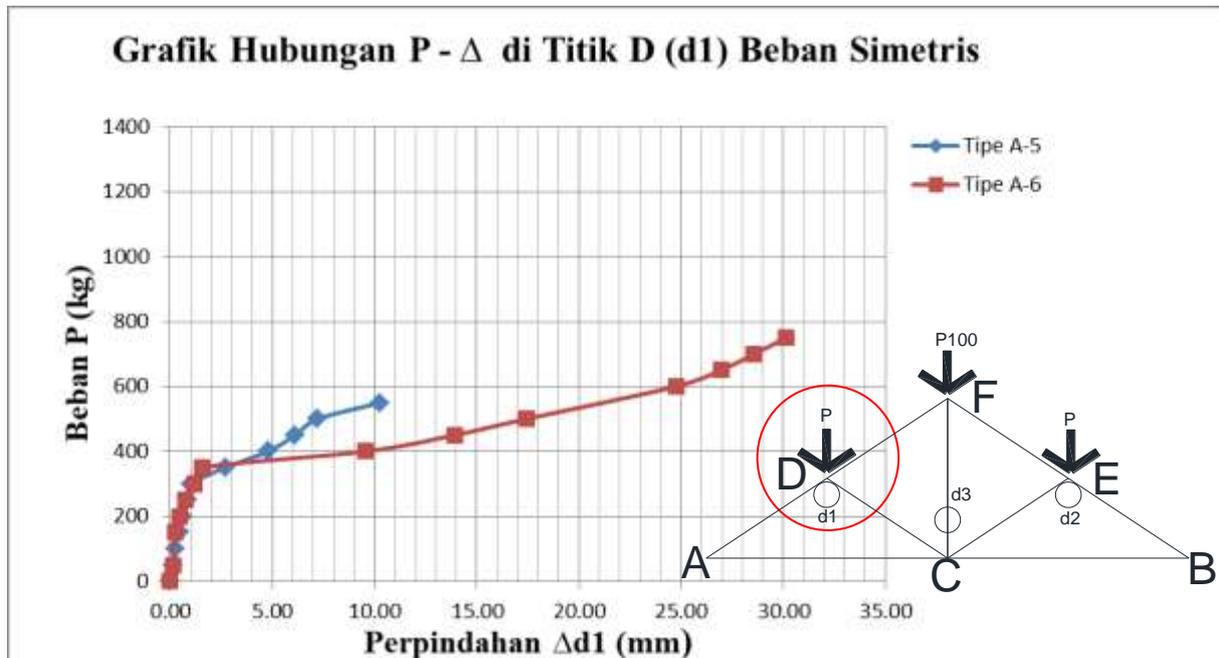
Gambar 4.4 Foto titik runtuh pada benda uji a-5 vertikal simetris setelah *collapse*

4.2.5 Hubungan Beban dan Deformasi di Titik Tinjau

Salah satu hasil pengujian beban vertikal pada kuda-kuda beton komposit merupakan data hubungan antara beban dan lendutan yang terjadi pada pengujian. Hasil menunjukkan pada setiap penambahan beban menggunakan pompa hidrolik dengan interval beban setiap 50 kg terdapat perpindahan melalui bacaan LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) pada titik *joint* kuda-kuda. Seperti disebut diatas, LVDT dipasang pada titik D dan E secara vertikal. Hubungan beban dan perpindahan (deformasi) yang terjadi pada pengujian ditunjukkan dalam bentuk grafik $P - \Delta$ pada setiap benda uji di titik tinjau.

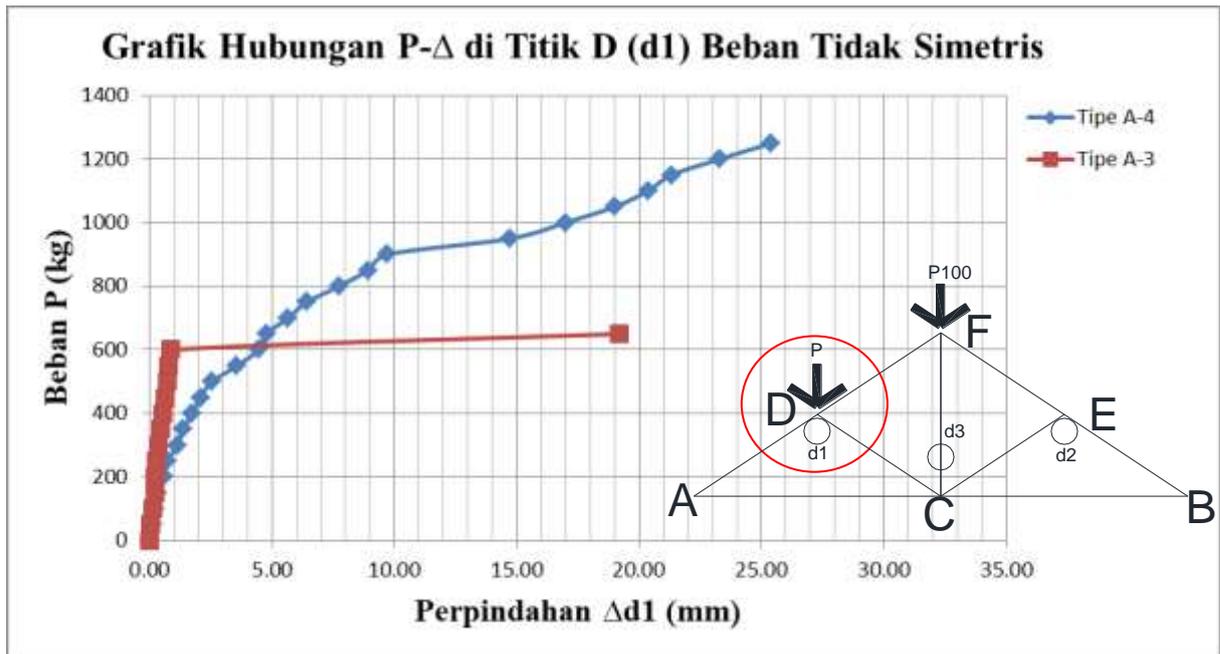
Grafik Hubungan P - Δd_1 Di Titik D Vertikal

Pembebanan vertikal pada benda uji kuda-kuda menyebabkan terjadinya perpindahan titik *joint* ke arah bawah atau searah pembebanan. Hubungan beban P dan perpindahan Δ di titik D vertikal simetris dan vertikal tidak simetris (d_1) untuk setiap benda uji pada pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Grafik hubungan p- Δd_1 vertikal simetris benda uji tipe A-5, A-6

Melalui hubungan P - Δd_1 pada pengujian beban vertikal simetris ini selain 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. Seperti dapat dilihat, benda uji tipe A-5 dan A-6 dengan beban simetris mencapai batas kondisi elastis pada beban 550 kg dan 750 kg.



Gambar 4.6 Grafik hubungan p- $\Delta d1$ vertikal tidak simetris benda uji tipe A-3, A-4

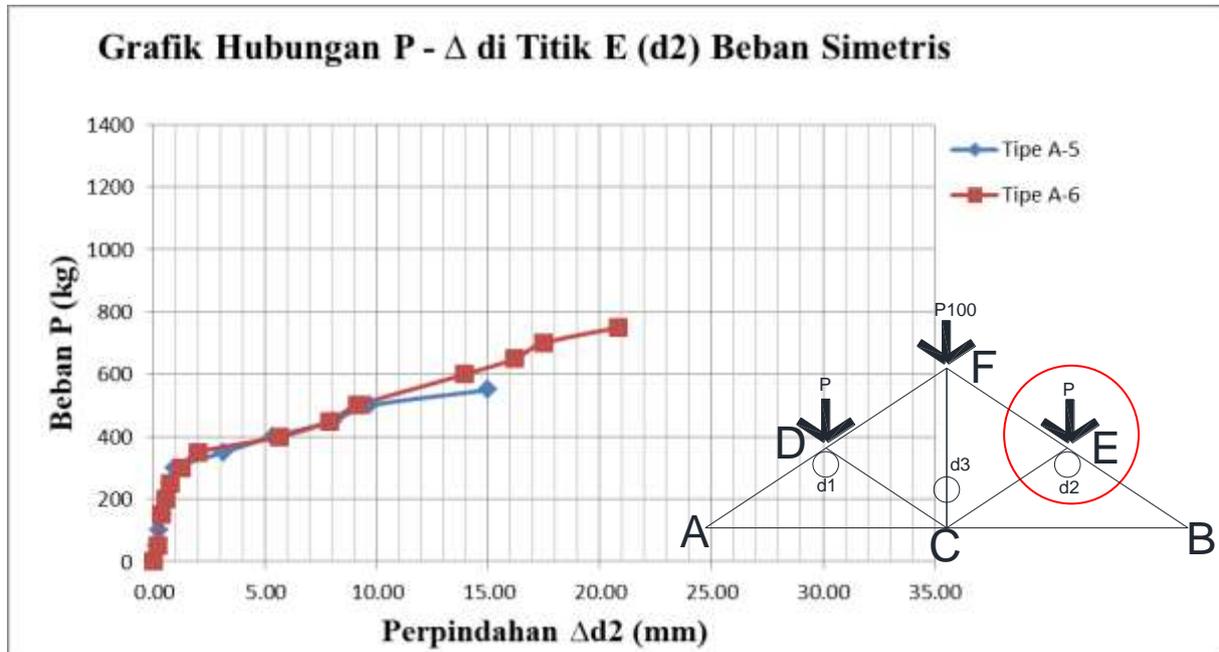
Sedangkan, untuk benda uji tipe A-4 dan A-3 dengan beban vertikal tidak simetris mencapai batas kondisi elastis pada beban 1250 kg dan 650 kg. Kondisi elastis beton sangat bergantung pada kapasitas elastisitas beton yang dipengaruhi oleh berat isi dan mutu beton.

Secara keseluruhan grafik hasil pengujian untuk titik D kondisi vertikal simetris dan vertikal tidak simetris menunjukkan bahwa benda uji tipe A-4 merupakan yang paling kaku, karena bisa dilihat melalui titik hancur beton cukup tinggi sedangkan deformasi yang relatif kecil dibandingkan benda uji tipe A-5.

Benda uji tipe A-5 mengalami deformasi maksimum terkecil dibanding benda uji tipe lain, yaitu hanya 10,28 mm, dan beban maksimum yang dicapai hanya sebesar 550 kg terkecil dibanding tipe lainnya.

Grafik Hubungan P - Δd_2 Di Titik E Vertikal

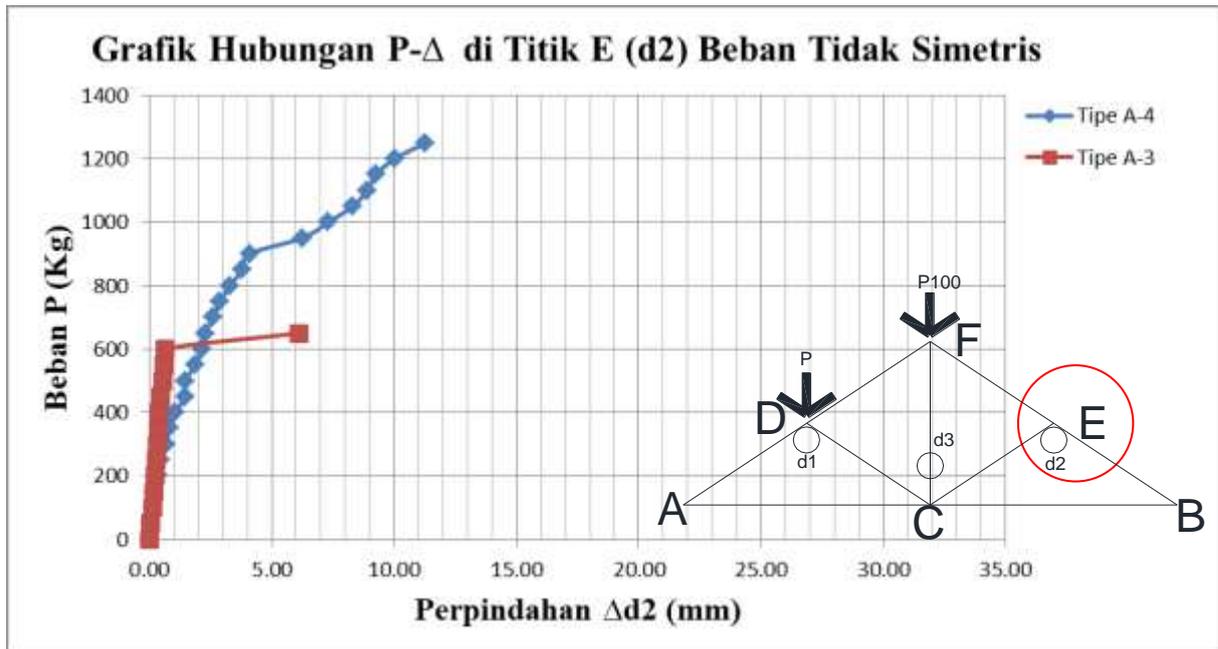
Pembebanan vertikal pada benda uji kuda-kuda menyebabkan terjadinya perpindahan titik *joint* ke arah bawah atau searah pembebanan. Hubungan beban P dan perpindahan Δ di titik E vertikal simetris (d_2) untuk setiap benda uji pada pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik hubungan p- Δd_2 vertikal simetris benda uji tipe A-5, A-6

Melalui hubungan P - Δd_2 pada pengujian beban vertikal simetris ini selain 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. Seperti dapat dilihat, benda uji tipe A-5 dan A-6 dengan beban simetris mencapai batas kondisi elastis pada beban 550 kg dan 750 kg. Kondisi elastis beton sangat bergantung pada kapasitas elastisitas beton yang dipengaruhi oleh berat isi dan mutu beton.

Hubungan beban P dan perpindahan Δ di titik E vertikal tidak simetris (d_2) untuk setiap benda uji pada pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik hubungan p - Δd_2 vertikal tidak simetris benda uji tipe A-3, A-4

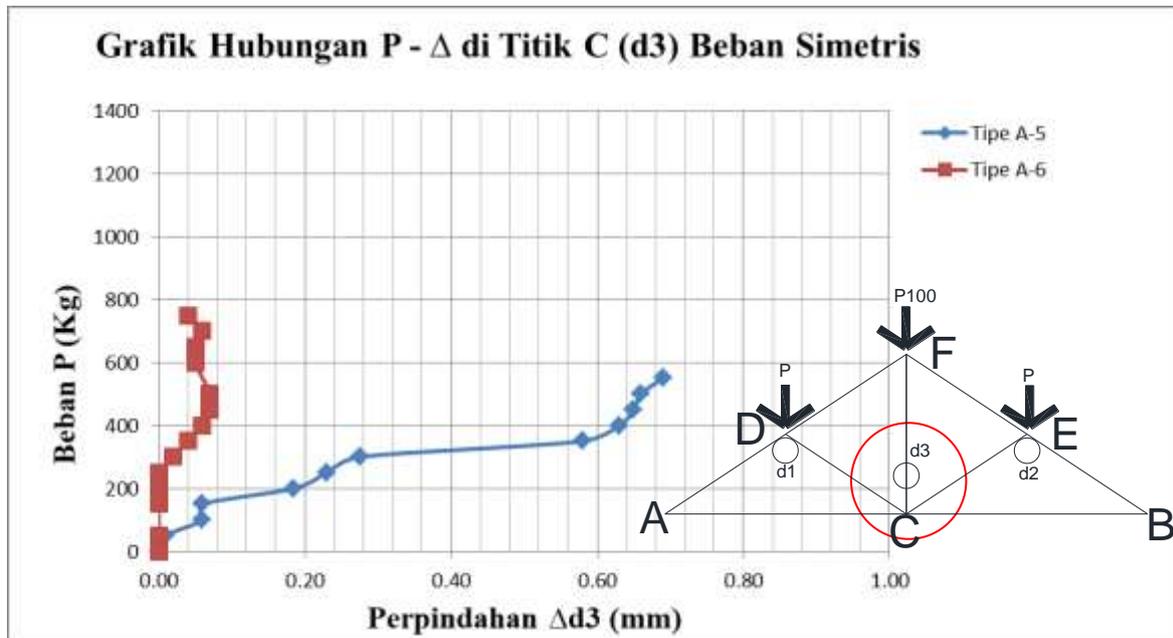
Melalui hubungan $P - \Delta d_2$ pada pengujian beban vertikal tidak simetris ini selain dapat dilihat kondisi batas beban maksimum, juga dapat dilihat kondisi batas elastis benda uji. Batas kondisi elastis benda uji ditandai dengan batas garis linier pada grafik. Seperti dapat dilihat, benda uji tipe A-3 dan A-4 dengan beban simetris mencapai batas kondisi elastis pada beban 650 kg dan 1250 kg.

Secara keseluruhan grafik hasil pengujian untuk titik E kondisi vertikal simetris dan vertikal tidak simetris menunjukkan bahwa benda uji tipe A-4 merupakan yang paling kaku, karena bisa dilihat melalui titik hancur beton cukup tinggi sedangkan deformasi yang relatif kecil dibandingkan benda uji tipe A-3.

Benda uji tipe A-3 mengalami deformasi maksimum terkecil dibanding benda uji tipe lain, yaitu hanya 6,11 mm, dan beban maksimum yang dicapai hanya sebesar 650 kg terkecil dibanding tipe lainnya.

Grafik Hubungan P - Δ Di Titik C Vertikal

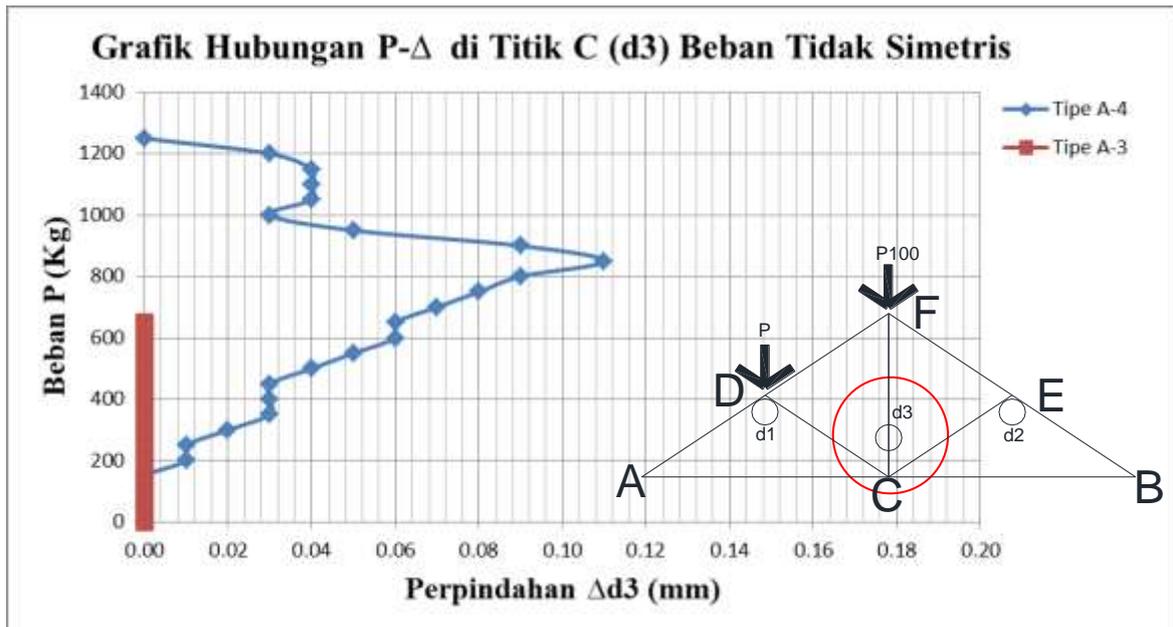
Pembebanan vertikal pada benda uji kuda-kuda menyebabkan terjadinya perpindahan titik *joint* ke arah bawah atau searah pembebanan. Hubungan beban P dan perpindahan Δ di titik C vertikal simetris (d3) untuk setiap benda uji pada pengujian ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik hubungan p- Δ d3 vertikal simetris benda uji tipe A-5, A-6

Melalui hubungan P - Δ d3 pada pengujian beban vertikal simetris ini selain 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. Seperti dapat dilihat, benda uji tipe A-5 dan A-6 dengan beban simetris mencapai batas kondisi elastis pada beban 550 kg dan 750 kg. Kondisi elastis beton sangat bergantung pada kapasitas elastisitas beton yang dipengaruhi oleh berat isi dan mutu beton.

Hubungan beban P dan perpindahan Δ di titik C vertikal tidak simetris (d3) untuk setiap benda uji pada pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik hubungan $p-\Delta_{d3}$ vertikal tidak simetris benda uji tipe A-3, A-4

Melalui hubungan $P - \Delta_{d3}$ pada pengujian beban vertikal tidak simetris ini selain 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. Seperti dapat dilihat, benda uji tipe A-3 dan A-4 dengan beban simetris mencapai batas kondisi elastis pada beban 650 kg dan 1250 kg.

Dari grafik hasil pengujian untuk titik C kondisi vertikal simetris dan vertikal tidak simetris menunjukkan bahwa, benda uji tipe A-4 merupakan yang paling kaku yang dapat dilihat melalui titik hancur beton tinggi sedangkan deformasi yang relatif kecil ialah benda uji tipe A-3.

Benda uji tipe A-3 mengalami deformasi maksimum terkecil dibanding benda uji tipe lain, yaitu hanya 0 mm, dan beban maksimum yang dicapai hanya sebesar 650 kg terkecil dibanding tipe lainnya.

4.2.6 Deformasi Aktual yang terjadi akibat Pembebanan

Dari pengujian beban vertikal pada benda uji kuda-kuda beton komposit diperoleh besarnya deformasi yang terjadi di titik D, E, C. hasil perpindahan maksimum d_1 , d_2 , dan d_3 saat pengujian beban vertikal dapat dilihat pada table 4.11.

Fokus yang menjadi perhatian pada pengujian kuda-kuda beton komposit tulangan bambu ini adalah perpindahan maksimum dan elastis, karena dalam aplikasi sehari-hari elastisitas beton menjadi faktor untuk menentukan batas aman dan batas layan kerja struktur yang 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 actual semua tipe benda uji dapat dibandingkan. Adapun syarat penentuan P elastis benda uji berdasarkan grafik hubungan beban dan perpindahan ($P - \Delta$) adalah saat beban P terendah dan saat retak pertama terjadi. Rekapitulasi deformasi terjadi saat benda uji mencapai beban elastis disajikan dalam table 4.12 berikut.

Tabel 4.11
Hasil Perpindahan Maksimum Pengujian Pelat Baut

Benda Uji	No. Benda Uji	P Maks (kg)	Δ Maks			Rata -rata Δ Maks		
			d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)
Vertikal Simetris	6	650	30.13	20.81	0.04	20.205	17.905	0.365
	5	550	10.28	15	0.69			
Vertikal Tidak Simetris	4	1250	25.4	11.29	0	14.748	7.495	0
	3	650	4.095	3.7	0			

Tabel 4.12

Penentuan Nilai P Elastis Tinjauan Pelat Baut

Benda Uji	No. Benda Uji	P Elastis (kg)	P Elastis Rata-Rata (kg)	P Retak Pertama (kg)	P Elastis Tinjauan (kg)
Vertikal Simetris	6	300	300	350	300
	5	300		350	
Vertikal Tidak Simetris	4	500	550	350	350
	3	600		600	

Tabel 4.13

Hasil Perpindahan Saat Beban P Elastis Pengujian Pelat Baut

Benda Uji	No. Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	Δ Elastis			Rata - Rata Δ Elastis		
			d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)
Vertikal Simetris	6	300	1.56	1.97	0.04	1.3	1.465	0.1575
	5		1.04	0.96	0.275			
Vertikal Tidak Simetris	4	350	1.37	0.82	0.03	0.915	0.585	0.015
	3		0.46	0.35	0			

4.2.7 Perbandingan Deformasi Aktual dan Teoritis

Nilai deformasi teoritis dihitung dengan cara metode *unit load*. Nilai teoritis ini akan dibandingkan dengan nilai deformasi aktual. Perbandingan akan dilakukan saat beban elastis bekerja. Faktor-faktor yang mempengaruhi perhitungan deformasi teoritis dengan metode unit load ini diantaranya adalah kuat tekan beton, berat isi beton, elastisitas beton, luas penampang benda uji, dan beban P elastis. Faktor-faktor tersebut telah diperoleh melalui hasil pengujian-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	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi $\Delta d1$ Elastis	
		Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Vertikal Simetris	300	0,3356	1,3
Vertikal Tidak Simetris	350	0,3080	0,915

Tabel 4.15

Hasil Perbandingan Deformasi $\Delta d2$ Elastis Pengujian dan Teoritis

Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi $\Delta d2$ Elastis	
		Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Vertikal Simetris	300	0,3356	1,465
Vertikal Tidak Simetris	350	0,2793	0,585

Tabel 4.16
 Hasil Perbandingan Deformasi Δd_3 Elastis Pengujian dan Teoritis

Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi Δd_3 Elastis	
		Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Vertikal Simetris	350	0,1065	0,1575
Vertikal Tidak Simetris	300	0,0964	0,015

Pada perbandingan deformasi teoritis dan aktual saat beban mencapai P elastis memperlihatkan perbedaan yang cukup jauh untuk setiap pembebanan dan setiap titik tinjau. Perbedaan nilai deformasi ini tidak dapat sepenuhnya dihindari dikarenakan faktor-faktor yang tidak diperhitungkan pada metode unit load. Sehingga hasil dari teoritis dan aktual dapat terjadi perbedaan seperti pada tabel diatas. Faktor-faktor tersebut antara lain, perubahan bentuk kuda-kuda saat pengujian dan lebar retakan pada setiap tahap pengujian yang mengakibatkan beton dalam kondisi lemah, sedangkan tulangan lebih kuat. Selain faktor tersebut, pada perhitungan teoritis metode unit load, rumus empiris modulus elastisitas yang digunakan adalah persamaan untuk beton normal, sedangkan pada penelitian kali ini benda uji menggunakan beton beragregat kasar batu bata yang pada dasarnya ialah beton ringan.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Pengaruh Variasi Sambungan pada Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu

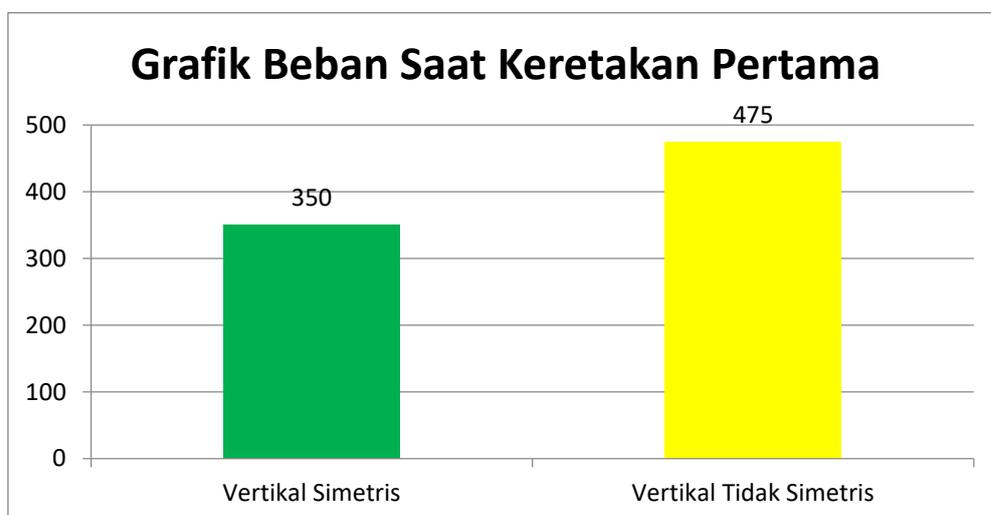
Pengujian beban vertikal terhadap kuda-kuda beton tulangan bambu dengan variasi sambungan pelat baut memiliki hasil yang bervariasi pada setiap tipe benda uji. Variasi pada sambungan tidak terlalu memberikan kontribusi pada kekuatan struktur kuda-kuda secara keseluruhan, baik dalam pencapaian beban maksimum hingga deformasi yang terjadi.

Dalam penelitian ini ada 2 jenis pembebanan yang telah dilakukan pada total 4 buah benda uji kuda-kuda komposit tulangan bambu dengan sambungan pelat baut. Jenis pembebanannya yaitu vertikal simetris dan vertikal tidak simetris. Masing-masing pembebanan dilakukan pada 2 buah benda uji berbentuk kuda-kuda. Saat pembebanan dilakukan, benda uji akan mengalami keretakan sampai akhirnya terjadi keruntuhan (*collapse*). Beban saat keretakan pertama terjadi dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.11.

Tabel 4.17

Beban Saat Keretakan Pertama Pada Kedua Tipe Pembebanan

Benda Uji		Beban Keretakan Pertama (Kg)	Beban Keretakan Pertama Rata-rata (Kg)
Vertikal Simetris	6	350	350
	5	350	
Vertikal Tidak Simetris	4	350	475
	3	600	



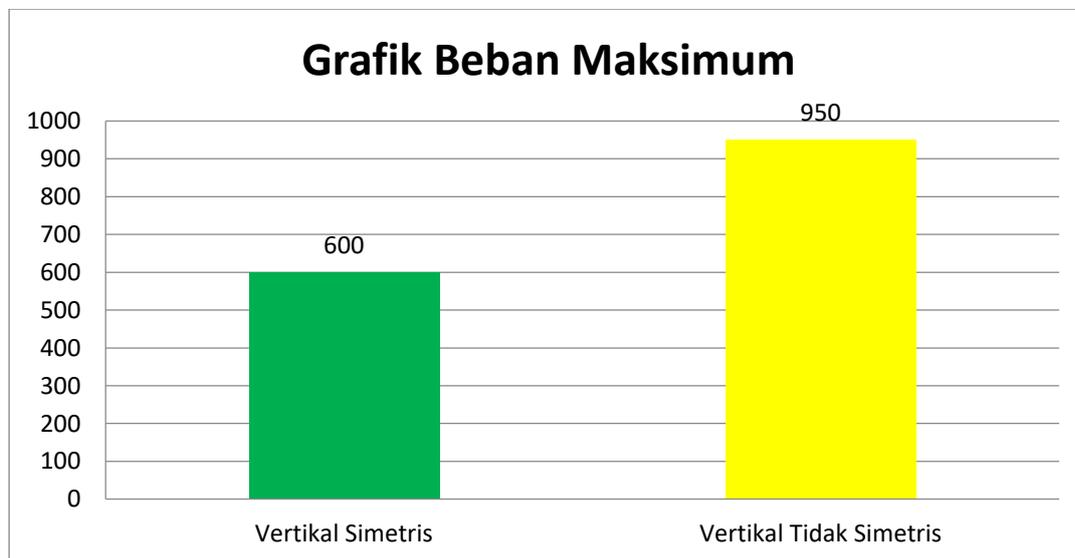
Gambar 4.11 Beban saat keretakan pertama pada kedua tipe pembebanan

Beban maksimum yang mampu dicapai oleh benda uji kuda-kuda tulangan bambu beton komposit masing-masing tipepun dapat dilihat pada tabel 4.18 dan gambar 4.12 berikut.

Tabel 4.18

Beban Maksimum yang Mampu Ditahan Pada Kedua Tipe Pembebanan

Benda Uji		Beban Maksimum (Kg)	Beban Maksimum Rata-rata (Kg)
Vertikal Simetris	6	650	600
	5	550	
Vertikal Tidak Simetris	4	1250	950
	3	650	



Gambar 4.12 Beban maksimum yang mampu ditahan pada kedua tipe pembebanan

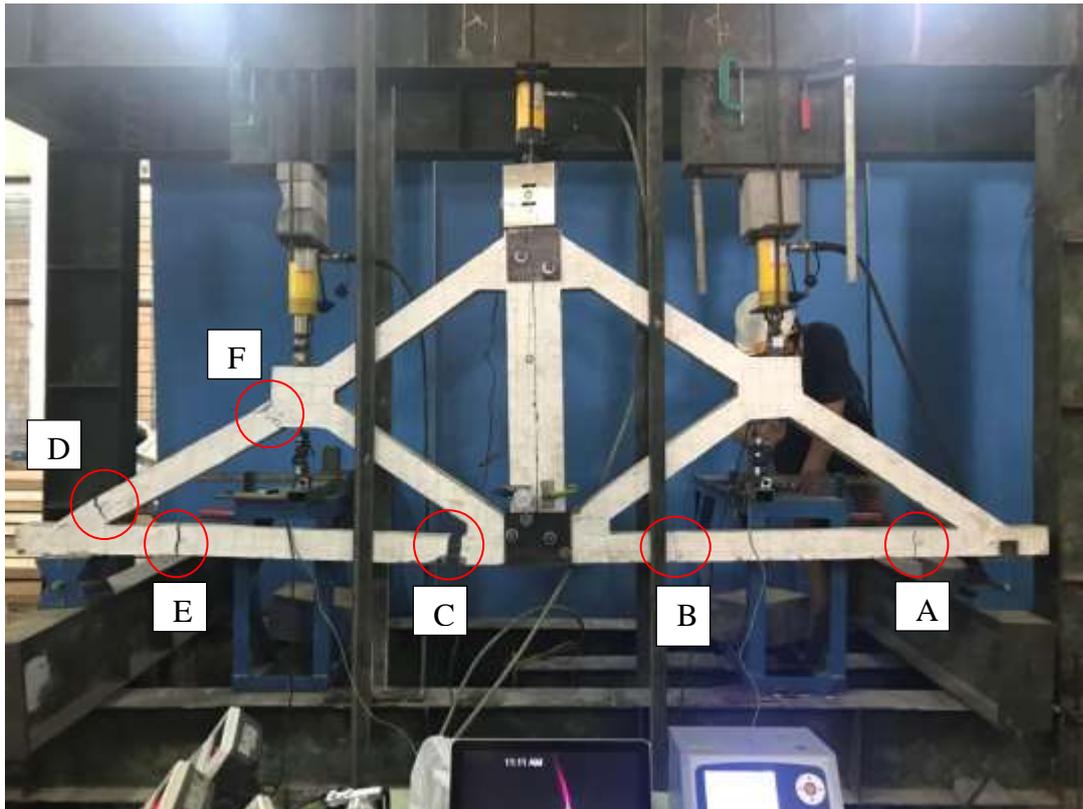
Dalam Tabel tersebut dapat dilihat perbedaan yang cukup jauh antara beban maksimum yang mampu ditahan oleh kedua jenis pembebanan. Benda uji dengan tipe pembebanan vertikal tidak simetris dapat menahan beban maksimum hingga 1250 kg, sedangkan untuk tipe pembebanan vertika simetris hanya 650 kg. Hal ini disebabkan pada saat pembebanan vertikal simetris, beban bertambah yang diterima benda uji terletak pada dua titik sekaligus, yaitu titik D dan titik E. Sedangkan pada pembebanan vertikal tidak simetris beban bertambah hanya ditempatkan pada satu titik yaitu titik D.

4.3.2 Pola Retak yang Terjadi pada Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu dengan Sambungan Pelat Baut

Model keruntuhan suatu struktur dapat dilihat dari pola retak yang terjadi. Semua benda uji yang telah diuji dengan masing-masing tipe pembebanan memiliki pola retak yang hampir sama, yaitu retakan yang berbentuk tegak lurus terhadap sumbu batang. Posisi keretakan pun terjadi pada daerah sekitar joint kuda-kuda. Hal ini disebabkan oleh beton yang tidak mampu menahan elastisitas tulangan bambu, dan menyebabkan beton mengalami retakan. Kemudian disusul oleh keruntuhan struktur secara menyeluruh.

Keretakan mayoritas terjadi pada bagian batang pada struktur kuda-kuda dan sekitar daerah joint kuda-kuda. Keretakan pada bagian ini lah yang membuat struktur mengalami keruntuhan. Kami menemukan beberapa dugaan permasalahan yang terjadi saat pengujian di lapangan antara lain ialah sambungan pelat baut tidak mengalami keretakan ataupun pembengkokkan, dan juga kuda-kuda beton komposit tulangan bambu yang kurang kuat disebabkan karena pengaruh *Mix Design*.

Keretakan awal terjadi di daerah batang kuda-kuda disebabkan oleh pembebanan awal, hingga batas pembebanan maksimum, barulah terjadi keretakan di daerah *joint* dan daerah sekitar sambungan. Maka dari itu pola retak yang di hasilkan tidak sama dengan hipotesis yang diduga. Karena beban maksimum yang dihasilkan oleh kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dengan sambungan pelat baut hanya 1250 kg, sedangkan hasil beban maksimum kuda-kuda beton komposit tulangan bambu tanpa sambungan sebesar 3000 kg. Berikut ini ialah gambaran salah satu pola retak hasil pembebanan pada benda uji tipe A-6 dengan pembebanan vertical simetris.



Gambar 4.13 Hasil pola retak secara keseluruhan pada benda uji tipe A-6 vertikal simetris



Gambar 4.14 (A) Retakan muncul setelah diberikan beban 500 kg



Gambar 4.15 (B) Retakan muncul setelah diberikan beban 400 kg



Gambar 4.16 (C) Retakan muncul setelah diberikan beban 350 kg



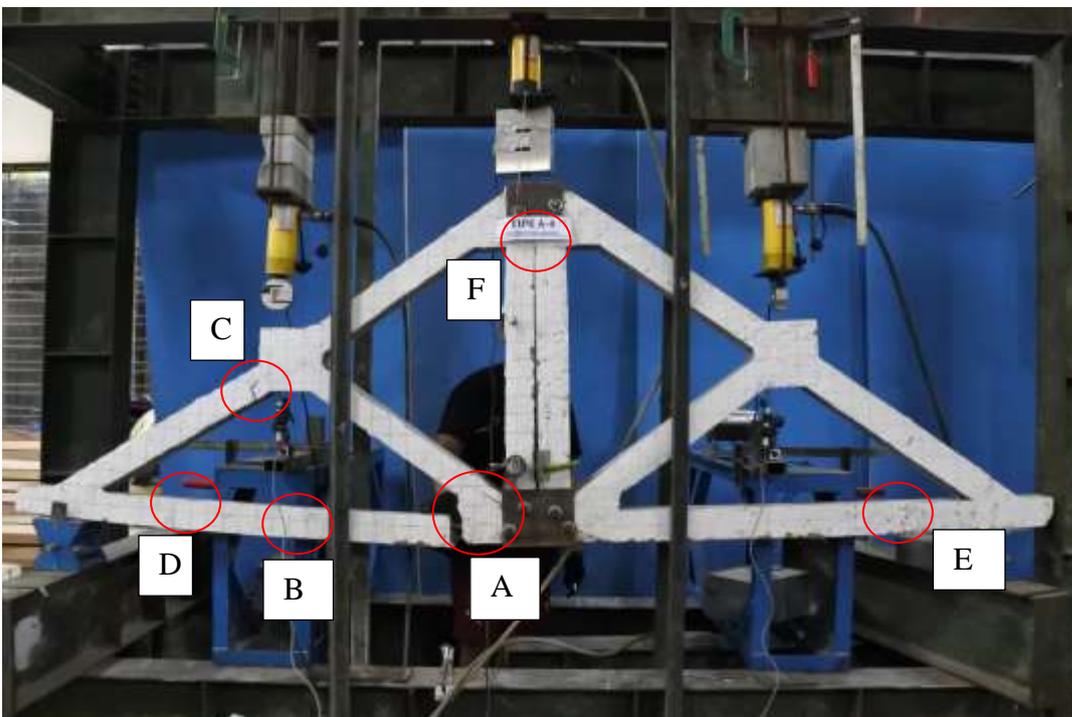
Gambar 4.17 (D) Retakan muncul setelah diberikan beban 650 kg



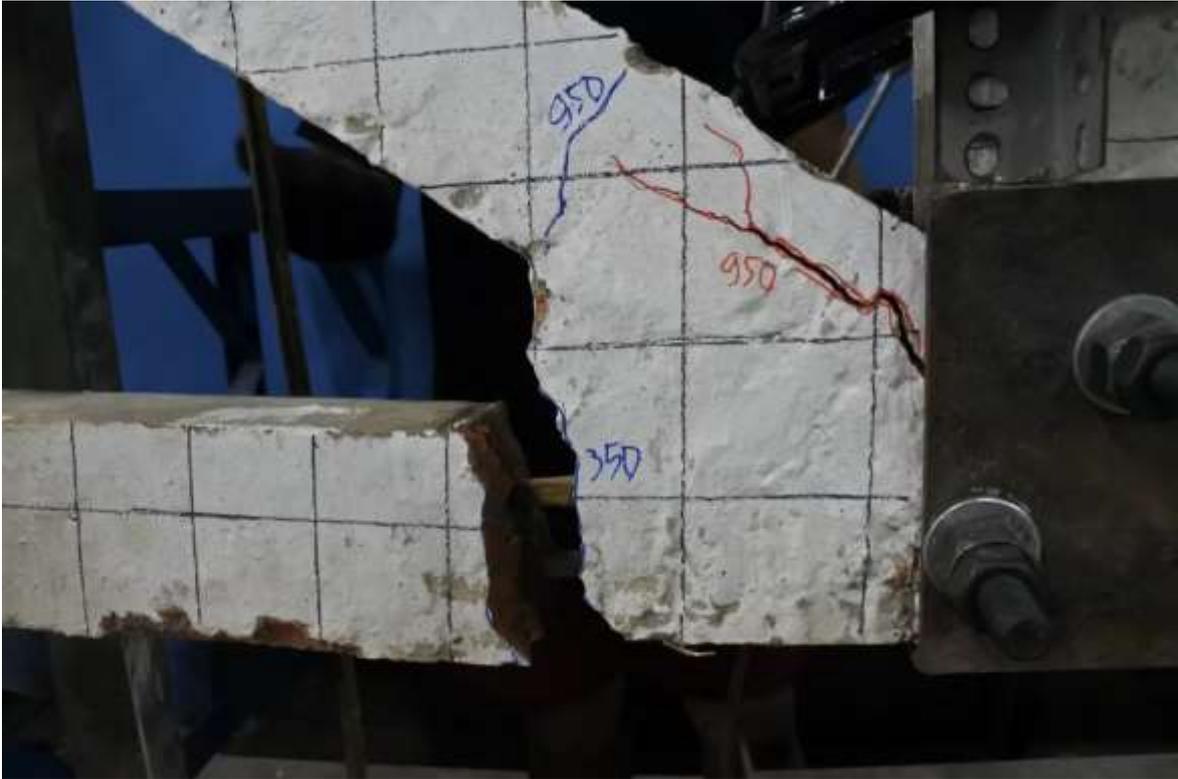
Gambar 4.18 (E) Retakan muncul setelah diberikan beban 400 kg



Gambar 4.19 (F) Retakan muncul setelah diberikan beban 400 dan 550 kg



Gambar 4.20 Hasil pola retak secara keseluruhan pada benda uji tipe A-4 vertikal tidak simetris



Gambar 4.21 (A) Retakan muncul setelah diberikan beban 350 dan 950 kg



Gambar 4.22 (B) Retakan muncul setelah diberikan beban 800 kg



Gambar 4.23 (C) Retakan muncul setelah diberikan beban 550 dan 1250 kg



Gambar 4.24 (D) Retakan muncul setelah diberikan beban 550 kg



Gambar 4.25 (E) Retakan muncul setelah diberikan beban 500 kg



Gambar 4.26 (F) Retakan muncul setelah diberikan beban 1250 kg