# BAB IV

# HASIL DAN PEMBAHASAN

## 4.1. Pengujian Bahan

Dalam penelitian ini, pengujian utama adalah pengaruh tambahan sambungan grouting pada kuda-kuda komposit tulangan bambu. 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 maupun halus, perencanaan *Mix Design* dan uji tekan silinder beton.

### 4.1.1. Analisis Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini ialah batu bata. Batu bata yang digunakan ialah batu bata limbah bangunan yang didapat dari berbagai tempat seperti reruntuhan Gedung B Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Selanjutnya batu bata yang terkumpul di bagi berdasarkan ukuran gradasi yang diperlukan. Sehingga mendapat 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 (*Rodded*) | 872,754 | gr/cc |
| Berat isi (*Shoveled*) | 811,508 | gr/cc |
| Gradasi | Zona 3 | |

Berdasarkan data pada tabel 4.1 diatas, penyerapan air atau daya absorbsi yang terjadi pada agregat kasar batu bata memiliki nilai yang sangat besar.

### 4.1.2. Analisis Agregat Halus

Untuk agregat halus, dalam penelitian ini menggunakan pasir Malang asal Lumajang, Jawa Timur yang disimpan dalam karung tanpa ada perlakuan khusus. Hasil analisis 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 (*Rodded*) | 1736,967 | gr/cc |
| Berat isi (*Shoveled*) | 1566,249 | gr/cc |
| Gradasi | Zona 1 | |

### 4.1.3. Perencanaan *Mix Design*

Acuan *mix design* yang direncanakan pada penelitian ini ialah SNI 03-2834-2000 dengan judul Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Batu bata yang digunakan sebagai agregat pada penelitian kali ini memiliki tingkat absorbsi yang tinggi. Selengkapnya hasil perencanaan *mix design* dapat dilihat pada tabel 4.3 sebagai 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/m3 |
| 12 | Jumlah semen | (11) : (7) | 394.231 kg/m3 |
| 13 | Jumlah Semen Maksimum | Ditetapkan | - |
| 14 | Jumlah Semen Minimum | Ditetapkan | 325 kg/m3 |
| 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/m3 |
| 19 | Berat isi beton | Grafik 16 | 2312,5 kg/m3 |
| 20 | Kadar agregat gabungan | (19) - (11) - (12) | 1713,269 kg/m3 |
| 21 | Kadar agregat halus | (17) * (20) | 925,165 kg/m3 |
| 22 | Kadar agregat kasar | (20) - (21) | 788,104 kg/m3 |

| Banyaknya Bahan (Teoritis) | Semen ( kg ) | Air ( kg/lt ) | Ag. Halus ( kg ) | Ag. Kasar ( kg ) |
|---|---|---|---|---|
| Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis) | 394,23 | 205 | 925,165 | 788,104 |
| Tiap campuran uji 0,03082 m3 | 12,15 | 6,32 | 28,51 | 24,29 |
| Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual) | 394,23 | 421,11 | 923,316 | 573,844 |
| Tiap campuran uji 0,03082 m3 | 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 |

Dari tabel 4.3 hasil perencanaan *mix design* beton agregat batu bata di atas dapat diketahui bahwa untuk membuat satu buah kuda-kuda dengan volume 0,03082 $m^3$ 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

Benda uji silinder dibuat sebanyak 3 buah ini akan di uji pada saat beton berumur 7 hari. Dikarenakan umur beton yang akan digunakan pada pengujian ini ialah beton dengan umur 28 hari, maka hasil uji silinder 7 hari perlu dikalikan dengan koefisien umur beton yang dapat dilihat pada tabel 4.4. Untuk karakteristik silinder yang dibuat selengkapnya 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 | Diameter 15<br>Tinggi 30 | cm |
| 2 | Luas Penampang (A) | 17662,5 | $mm^2$ |
| 3 | Volume Benda Uji (V) | 0,005299 | $m^3$ |
| 4 | Umur Beton | 7 | Hari |
| 5 | Koreksi Umur Beton | 0,65 | |

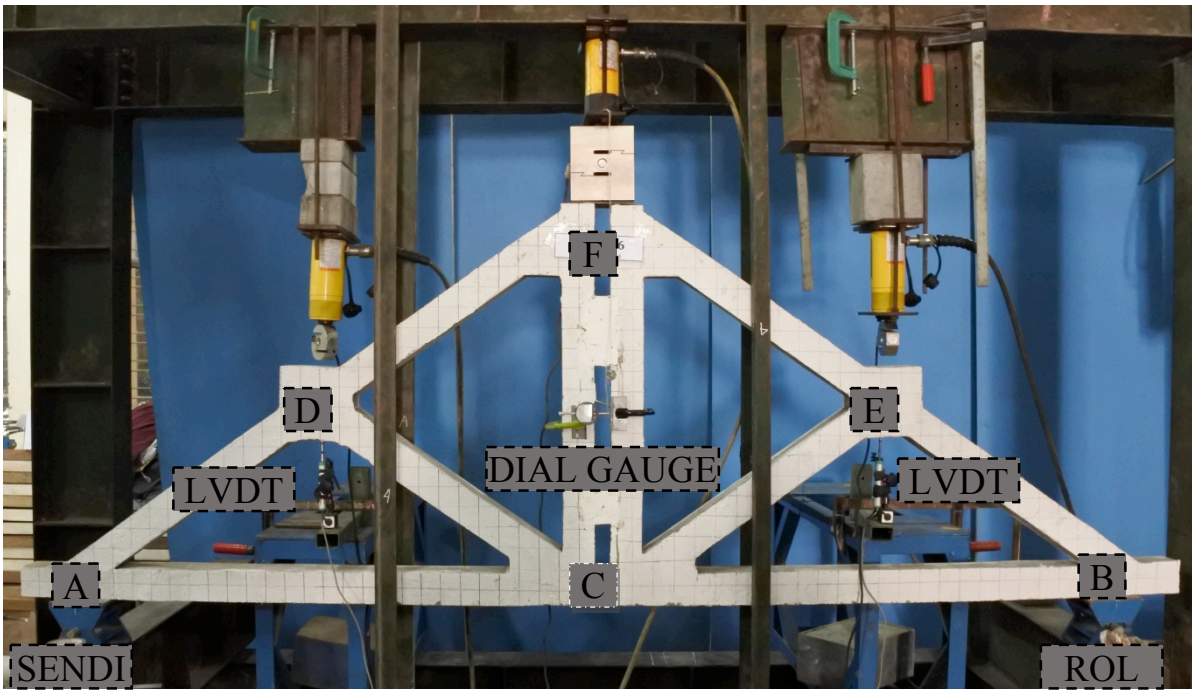
Tabel 4.6 *Hasil Uji Kuat Tekan Silinder Beton*

| 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 | 1972,1632 | 1969,0179 | 144 | 8,1529 | 12,5429 | 10,8008 |
| 2 | 10,50 | 1981,5994 | | 103 | 5,8316 | 8,9716 | |
| 3 | 10,35 | 1953,2909 | | 125 | 7,0771 | 10,8879 | |

Dari hasil pengujian kuat tekan silinder pada tabel 4.6, dapat dilihat terdapat selisih yang besar antara hasil kuat tekan uji silinder aktual dengan nilai kuat tekan yang direncanakan. Hal ini terjadi dikarenakan karakteristik agregat kasar yaitu batu bata yang digunakan memiliki daya penyerapan air (absorbsi) yang besar sehingga sangat berpengaruh pada susut silinder beton dan pada kuat tekannya.

**4.2. Pengujian Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu**

Pengujian kuat tekan kuda-kuda ini dilakukan setelah umur kuda-kuda beton komposit mencapai umur 28 hari. Sebelum diuji, kuda-kuda akan melalui proses *curing* yang dilakukan dengan cara menyelimuti benda uji kuda-kuda menggunakan karung goni basah selama 14 hari setelah bekisting dilepas. Proses ini dilakukan agar proses hidrasi beton dapat diperlambat sehingga mampu mencegah terjadinya retakan pada kuda-kuda. Dimensi dan berat benda uji akan diukur sebelum diuji untuk data awal pengujian.




*Gambar 4.1. Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu pada Frame Uji*

### 4.2.1. Pengujian Beban Vertikal Simetris

Pada pengujian ini, tipe pembebanan yang digunakan ialah beban vertical dengan 2 beban bertambah (*incremental load)* pada titik D dan E, beserta dengan 1 beban tetap di titik F 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.

Pembebanan ini akan menghasilkan grafik hubungan antara besar beban dan deformasi yang terjadi pada benda uji. 2 beban bertambah (*incremental load)* pada titik D dan E akan dibaca setiap pertambahan 50kg, dan akan terus ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan atau *collapse*. Pada setiap interval 50kg tersebut akan dicatat perubahan deformasi yang terjadi pada benda uji. Deformasi yang diukur ialah deformasi pada titik D dan E menggunakan LVDT vertikal. Titik D dan E yang ditinjau ini merupakan titik kritis dimana beban vertikal bekerja tepat di titik tersebut. Selain di titik E, titik F juga ditinjau perpindahan yang terjadi melalui pembacaan indikiator di batang tengah secara vertikal (d3) yang berada dekat dengan titik C.

### 4.2.2. Pengujian Beban Vertikal Tidak Simetris

Pada pengujian ini, tipe pembebanan yang digunakan ialah beban vertikal dengan 1 beban bertambah (*incremental load)* pada titik D, beserta dengan 1 beban tetap di titik F 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. Sama seperti pengujian pada beban vertikal simetris, selain di titik E, titik F juga ditinjau perpindahan yang terjadi melalui pembacaan indikiator di batang tengah secara vertikal (d3) yang berada dekat dengan titik C.

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

## 4.3. Hasil Pengujian Pembebanan Kuda-Kuda Beton Bertulang Bambu

Hasil dari pengujian ini diantara nya ialah berat jenis dari benda uji itu sendiri, beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji, dan terakhir ialah hubungan antara beban dan deformasi yang terjadi. Hasil-hasil pengujian di lapangan secara aktual ini akan dibandingkan dengan perhitungan secara analisis.

### 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 Cor Grouting ditunjukkan dalam table 4.7. Selanjutnya dengan volume benda uji rangka kuda-kuda sebesar 0,06164m$^3$ maka dapat diperoleh berat benda uji per satuan volume atau berat jenis dari benda uji.

Berat rata-rata untuk benda uji kuda kuda beton bertulangan bambu dengan sambungan grouting ini adalah sebesar 130,15 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 | Verikal Simetris | 133,1 | 130,15 | 0,0616 | 2111,4536 |
| 2 | Vertikal Simetris | 130 | | | |
| 3 | Vertikal Tidak Simetris | 126,55 | | | |
| 4 | Vertikal Tidak Simetris | 130,95 | | | |

### 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 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 tabel perbandingan tersebut 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 m$^3$).

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

| Berat Per Volume | KR |
|---|---|

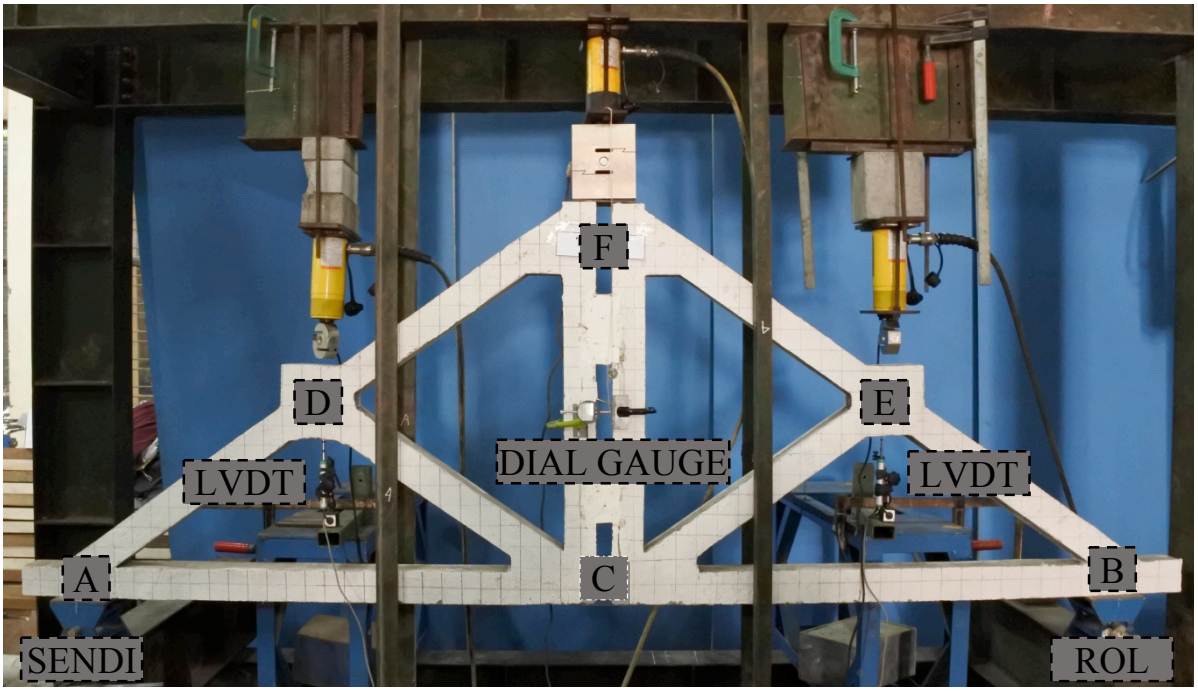
| Teoritis (kg/m$^3$) | Rata-Rata Aktual (kg/m$^3$) | % |
|---|---|---|
| 1969,018 | 2111,454 | 7,234 |

### 4.3.3. Beban Maksimum yang Mampu Ditahan Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu

Pada penelitian ini yang menggunakan 2 jenis pembebanan yaitu pembebanan vertikal simetris dan vertikal tidak simetris, akan dibandingkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh kuda kuda beton tulangan bambu secara aktual dan secara teoritis.

**a. Pengujian Beban Vertikal Simetris**

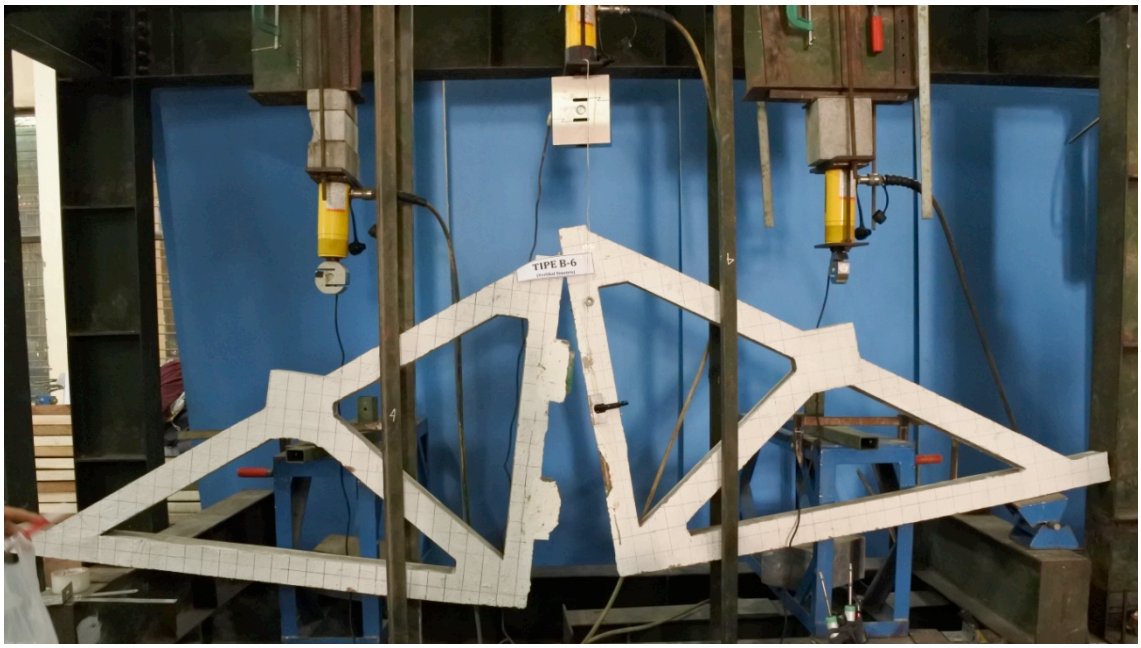
Pada pengujian beban vertikal simetris pada penelitian ini terdapat tiga beban yang bekerja, namun hanya dua yang berfungsi sebagai beban bertambah hingga tercapai beban maksimum yang mampu ditahan benda uji. Penambahan beban akan terus dilakukan per interval beban 50 kg sampai benda uji tidak mampu lagi mengalami penambahan beban, atau dengan kata lain benda uji telah runtuh (*collapse*). Hasil pengujian pembebanan vertikal simetris dapat dilihat pada tabel 4.9. Untuk skema pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4.2.




*Gambar 4.2.* Skema Uji Vertikal Simetris

Tabel 4.9 *Hasil Pengujian Beban Vertikal Simetris Maksimum Pada Kuda-Kuda Beton*

| Benda Uji | Beban Maksimum (Kg) | Beban Maksimum Rata-rata (Kg) |
|---|---|---|
| 1 | 150 | 150 |
| 2 | 150 | |

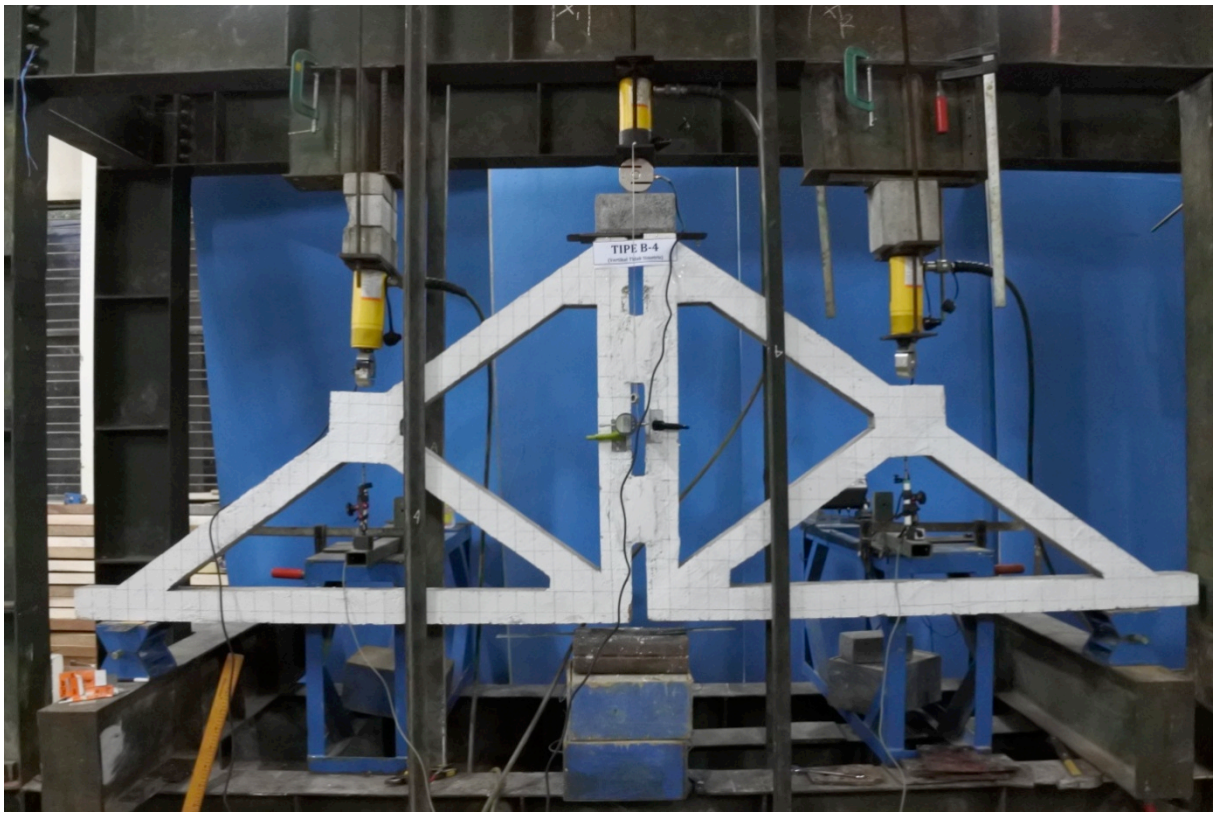



*Gambar 4.3.* Foto Benda Uji Vertikal Simetris Setelah Collapse

Berdasarkan hasil pengujian beban vertikal simetris diatas, kedua benda uji runtuh pada beban yang sama, yaitu pada beban bertambah sebesar 150kg. Dikarenakan pembebanan dilakukan pada 2 titik, maka beban bertambah total rata-rata yang dapat ditahan ialah 300kg.

**b. Pengujian Beban Vertikal Tidak Simetris**

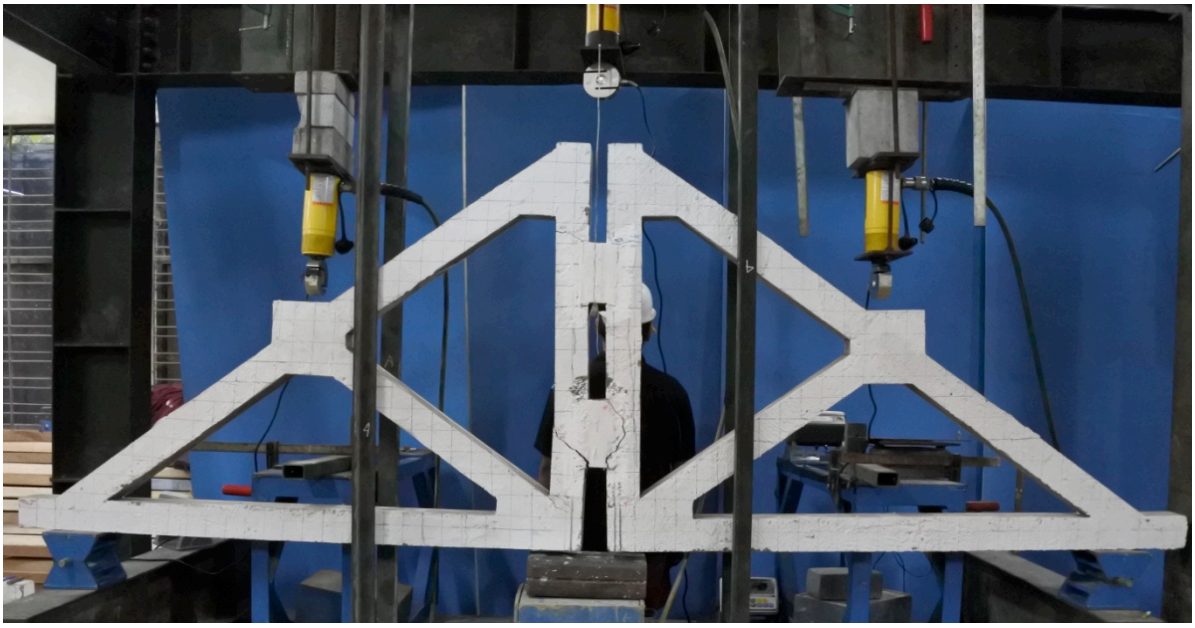
Pada pengujian beban vertikal tidak simetris, hanya terdapat 2 beban yang bekerja, yaitu beban pada titik D dan F. Hanya satu beban yang berfungsi sebagai beban bertambah yaitu beban pada titik D. Sama halnya dengan pembebanan vertikal simetris, beban bertambah ini akan terus ditambah dengan interval 50kg sampai benda uji tidak dapat menerima beban lagi atau dalam kata lain telah runtuh (*collapse*). Hasil pengujian pembebanan vertikal simetris dapat dilihat pada tabel 4.10. Untuk skema pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4.4.




*Gambar 4.4.* Skema Uji Vertikal Tidak Simetris

Tabel 4.10 *Hasil Pengujian Beban Vertikal Tidak Simetris Maksimum Pada Kuda-Kuda Beton*

| Benda Uji | Beban Maksimum (Kg) | Beban Maksimum Rata-rata (Kg) |
|---|---|---|
| 1 | 250 | 275 |
| 2 | 300 | |



*Gambar 4.5.* Foto Benda Uji Vertikal Tidak Simetris Setelah Collapse

Berdasarkan hasil pengujian beban vertikal simetris diatas, kedua benda uji runtuh pada beban yang tidak sama. Meski dilakukan perlakuan yang sama pada kedua benda uji, hasil bervariasi masih mungkin terjadi. Maka dari itu paling sedikit benda uji yang dibuat ialah 2 buah, agar dapat dicari rata-rata dari hasil pengujian. Semakin banyak jumlah benda uji, maka hasil akan semakin valid.

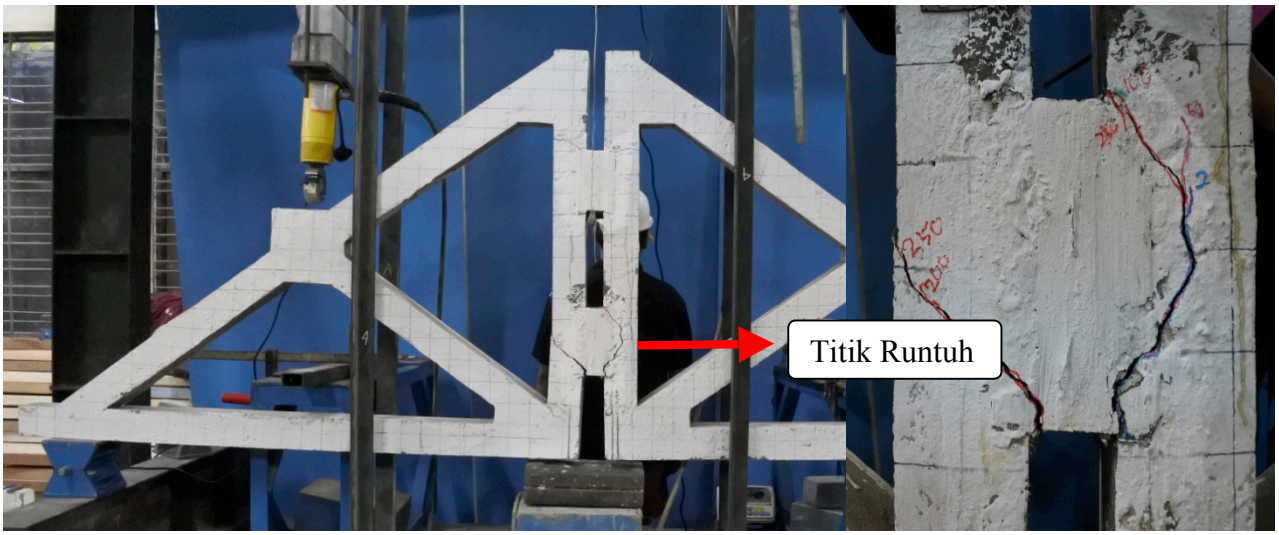
### 4.3.4. Perbandingan Beban Maksimum Aktual dan Teoritis

Seperti yang disebutkan pada sub-bab sebelumnya, kami akan membandingkan antara hasil secara aktual dan secara teoritis. Dari perbandingan ini diantara nya akan di dapatkan kesalahan relatif (kr) dari benda uji tersebut. Hasil perbandingan ini akan disajikan pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 *Hasil Perbandingan Beban Maksimum Aktual dan Teoritis*

| Pembebanan | Beban Maksimum | | KR |
|---|---|---|---|
| | Teoritis (kg) | Rata-Rata Aktual (kg) | % |
| Vertikal Simetris | 955,5 | 150 | 84,3 |
| Vertikal Tidak Simetris | 1274,34 | 275 | 78,42 |

Dengan hasil perbandingan tersebut, terjadi selisih yang besar antara beban maksimum teoritis dan aktual. Selisih yang besar ini ditemukan dapat dilihat melalui hasil perhitungan kesalahan relatif (KR) hingga mencapai 84,3 %. Keruntuhan terjadi pada bagian batang tengah yang terdapat sambungan grouting.



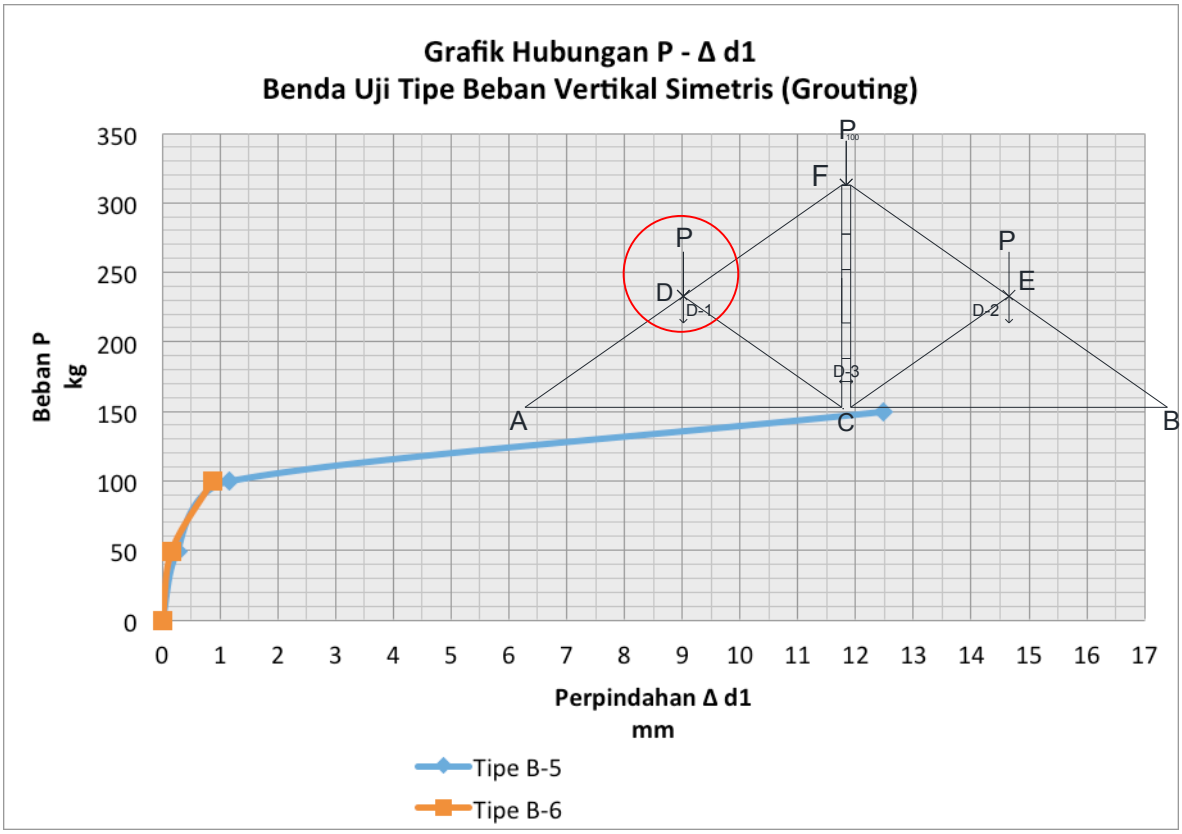

*Gambar 4.6.* Foto Titik Runtuh Benda Uji

### 4.3.5. Hubungan Beban dan Deformasi di Titik Tinjau

Produk dari pengujian pembebanan pada kuda kuda beton komposit salah satunya ialah grafik antara beban dan deformasi. Pembebanan yang dilakukan dengan penambahan beban setiap 50kg ini memperlihatkan perubahan pada titik yang ditinjau dengan interval 50kg. Seperti yang disebutkan pada sub-bab sebelumnya, titik tinjau ialah pada titik D dan E menggunakan LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) dan pada titik C menggunakan dial gauge. Hubungan antara beban (P) dan deformasi (Δ) akan disajikan dengan bentuk grafik pada setiap benda uji.

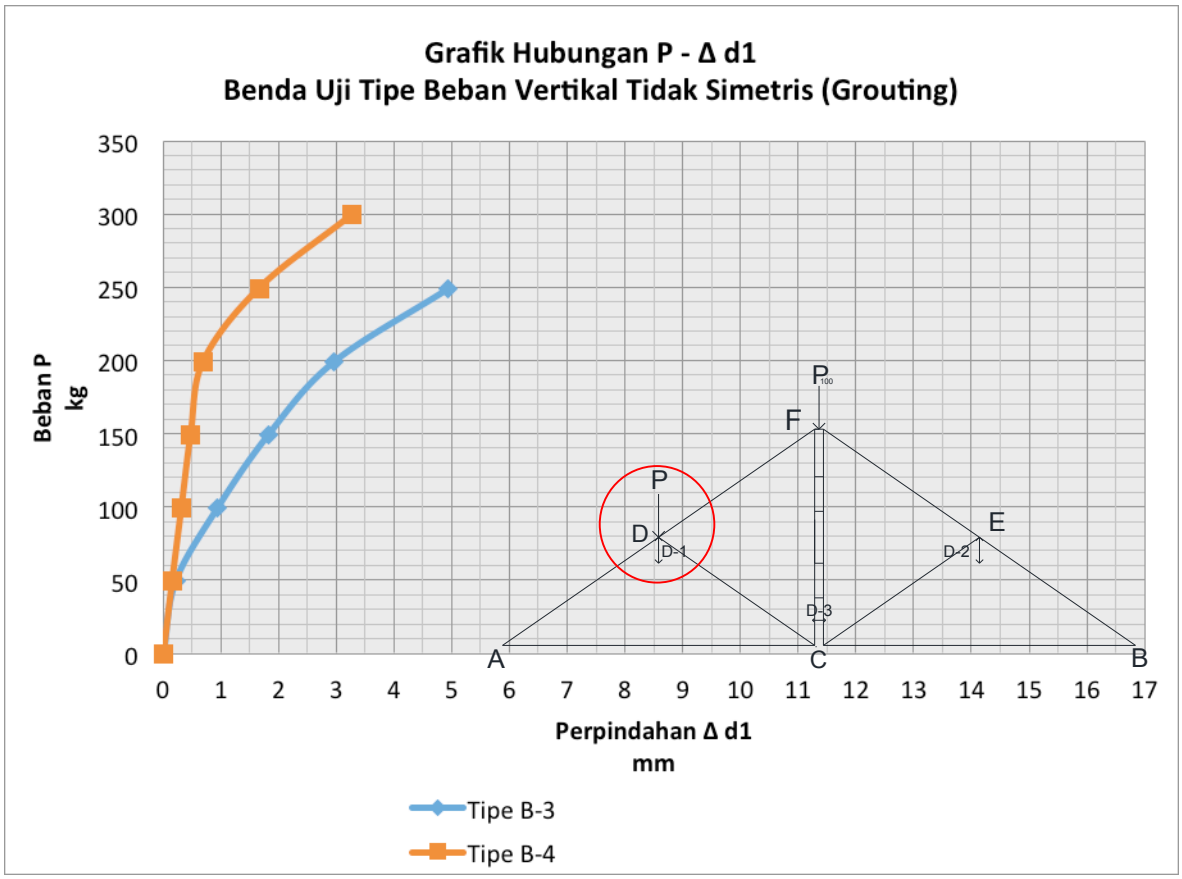
**a. Grafik Hubungan P - Δ di Titik D Vertikal (d1)**

Pembebanan vertikal yang dilakukan pada benda uji kuda-kuda menyebabkan terjadinya perpindahan *joint* ke arah bawah atau searah pembebanan. Hubungan beban P dan perpindahan Δ di titik D vertikal (d1) untuk setiap tipe pembebanan (vertikal simetris dan vertikal asimetris) pada pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.




*Gambar 4.7* Grafik Hubungan P - Δd1 Benda Uji Tipe B-5 dan B-6

Melalui hubungan P - Δd1 pada pengujian beban vertikal simetris ini dapat dilihat kondisi batas beban maksimum. Selain itu juga dapat dilihat kondisi batas elastis benda uji. Batas kondisi elastis benda uji B-5 dan B-6 sangat rendah yaitu pada beban P sebesar 100kg.

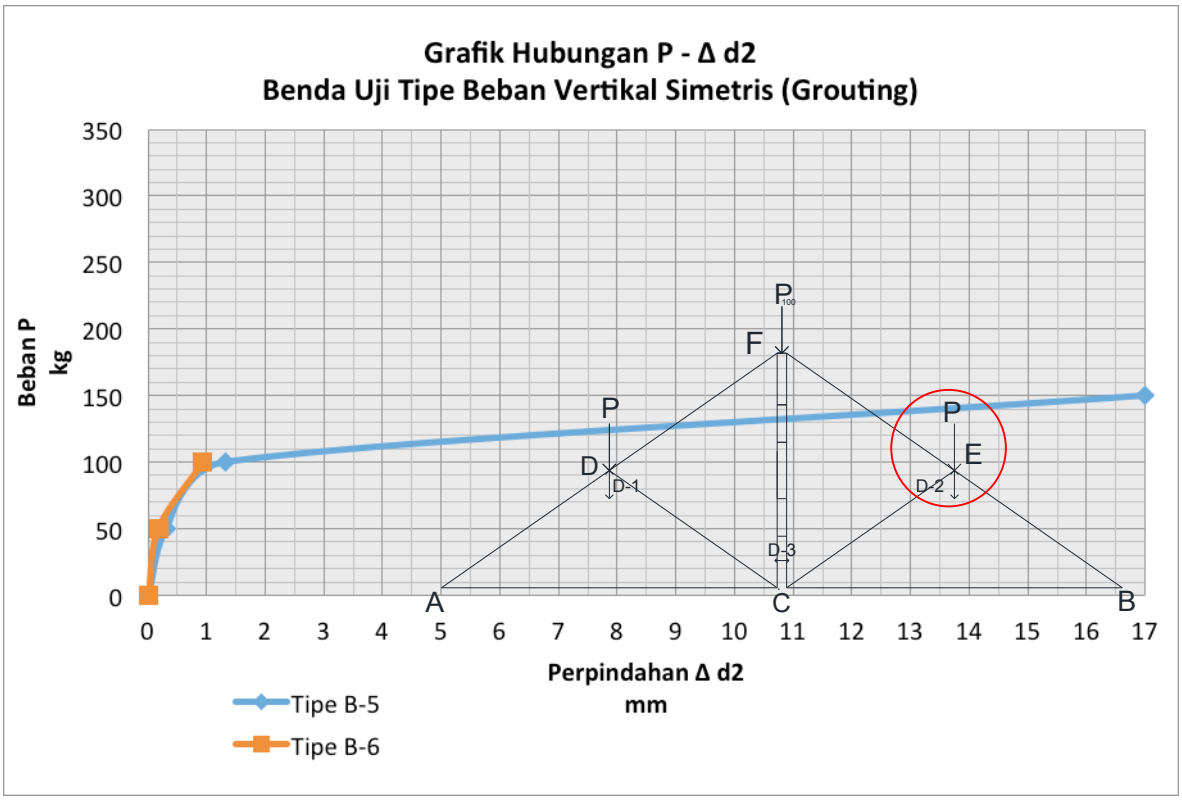



*Gambar 4.8* Grafik Hubungan P - Δd1 Benda Uji Tipe B-3 dan B-4

Secara keseluruhan grafik hasil pengujian untuk pembebanan vertikal tidak simetris ini memperlihatkan hasil ketahanan yang lebih besar terhadap beban P. Pada pembebanan vertikal simetris keruntuhan terjadi pada beban P sebesar 150kg pada dua titik sehingga total 300kg. Sedangkan pada pembebanan vertikal tidak simetris keruntuhan terjadi saat beban P pada satu titik sebesar 300kg.

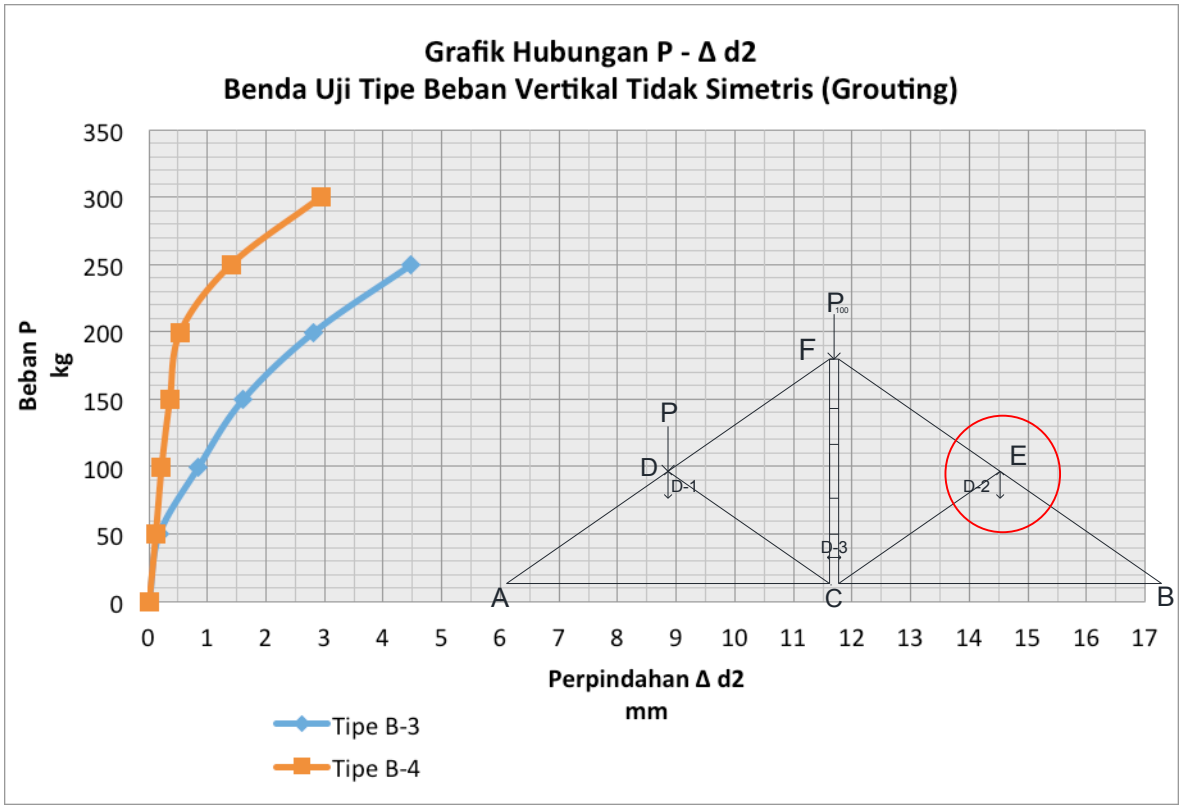
**b.Grafik Hubungan P - Δ di Titik E Vertikal (d2)**

Seperti pada pembebanan vertikal yang dilakukan pada benda uji kuda-kuda menyebabkan terjadinya perpindahan *joint* ke arah bawah atau searah pembebanan. Hubungan beban P dan perpindahan Δ di titik D vertikal (d2) untuk setiap tipe pembebanan (vertikal simetris dan vertikal asimetris) pada pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.




*Gambar 4.9* Grafik Hubungan P - Δd2 Benda Uji Tipe B-5 dan B-6

Tidak terjadi perubahan yang signifikan dibanding Δd1 pada benda uji Tipe B-5 dan B-6 yang disajikan pada gambar 4.6, hubungan P - Δd2 pada pengujian beban vertikal simetris ini dapat dilihat kondisi batas beban maksimum sebesar 150kg. Selain itu juga dapat dilihat kondisi batas elastis benda uji B-5 dan B-6 yang sangat rendah yaitu pada beban P sebesar 100kg.

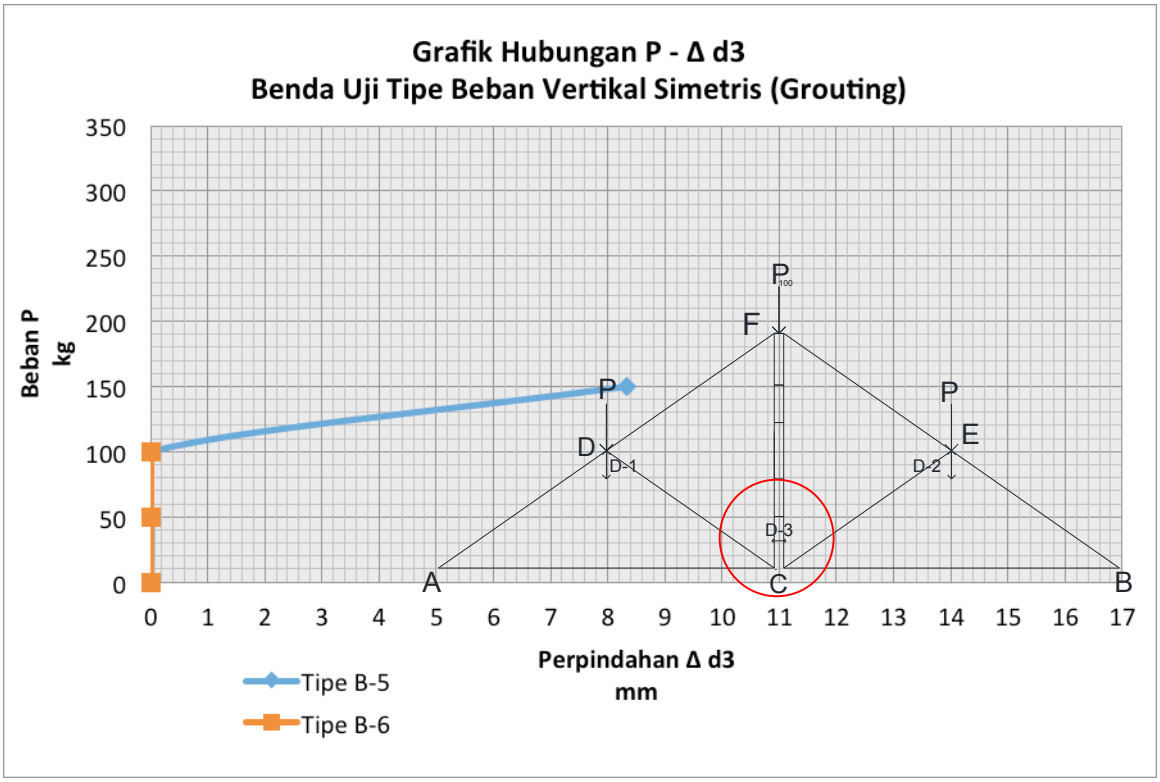



*Gambar 4.10* Grafik Hubungan P - Δd2 Benda Uji Tipe B-3 dan B-4

Secara keseluruhan grafik hasil pengujian untuk pembebanan vertikal tidak simetris ini memperlihatkan hasil yang sama dibanding Δd1 yang dapat dilihat pada gambar4.8. hanya saja memang deformasi yang terjadi pada setiap pembebanan lebih kecil dibanding dengan Δd1, hal ini dikarenakan Δd1 ialah tempat menerima beban langsung pada joint D.

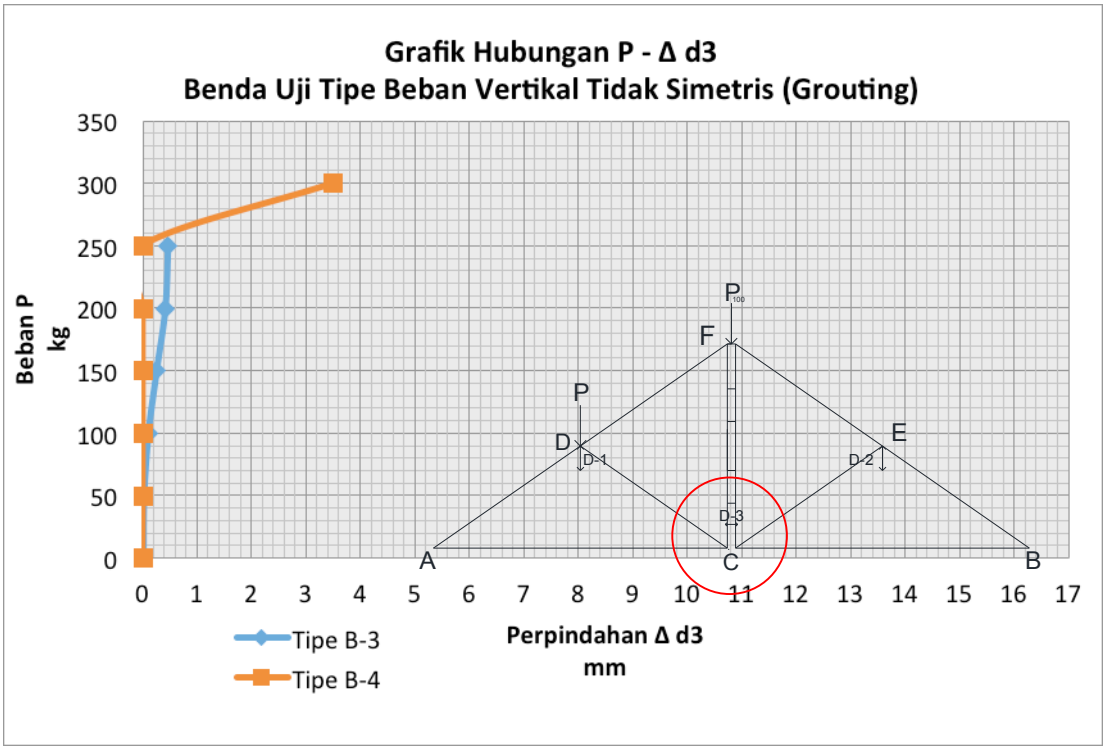
**c. Grafik Hubungan P - Δ di Titik C Horizontal (d3)**

Selain dipasang LVDT secara vertikal pada titik tinjau D (d1) dan E(d2), dipasang juga dial gauge pada titik C batang tengah dari kuda kuda komposit tulangan bambu untuk mengetahui perpindahan secara horizontal. Akan disajikan grafik pengaruh beban terhadap deformasi pada titik C ini pada gambar 4.11 (pembebanan vertikal simetris) dan pada gambar 4.12 (pembebanan vertikal tidak simetris).




*Gambar 4.11* Grafik Hubungan P - Δd3 Benda Uji Tipe B-5 dan B-6

Pada grafik yang ditunjukan gambar 4.10, tidak terlihat deformasi yang terjadi secara horizontal di titik C pada benda uji tipe B-5 dan B-6 sebelum terjadinya keruntuhan pada beban 150kg. Ini memperlihatkan benda uji ini getas pada arah horizontal ketika diberi beban vertikal simetris di titik D dan titik E.




*Gambar 4.12* Grafik Hubungan P - Δd3 Benda Uji Tipe B-3 dan B-4

Pada pembebanan vertikal tidak simetris, terlihat perbedaan hasil dari pembacaan dial gauge pada benda uji B-3 dan B-4. Meskipun kondisi dan perlakuan pada benda uji B-3 dan B-4 sama, namun hasil variatif ini tidak dapat dihindari sepenuhnya. Grafik ini menunjukan bahwa benda uji B-4 lebih getas terhadap deformasi arah horizontal.

### 4.3.6. Deformasi Aktual yang Terjadi Akibat Pembebanan

Dari pengujian beban vertikal simetris dan vertikal tidak simetris pada benda uji kuda-kuda beton komposit diperoleh besarnya deformasi yang terjadi di titik D(d1), E(d2) dan C(d3). Hasil deformasi pada beban maksimum disajikan pada tabel 4.12.

Deformasi yang terjadi pada benda uji ini dapat digolongkan pada 2 tahap, yaitu deformasi elastis dan deformasi maksimum. Deformasi ini dibutuhkan untuk mengetahui batas layan pada kuda kuda beton komposit ini. Tingkat elastisitas ini akan menentukan batas aman yang dapat digunakan dalam pengaplikasian kuda kuda beton komposit tulangan bambu dengan sambungan grouting ini. Batas elastis yang menjadi batas aman benda uji saat pengujian dapat dilihat melalui grafik hubungan beban dan perpindahan (P - Δ) yang diambil dalam kondisi beban P elastis. Syarat penentuan P elastis ialah benda uji berdasarkan grafik hubungan beban dan perpindahan (P - Δ) adalah saat beban P terendah dari tiap tiap tipe pembebanan benda uji dimana terjadinya pergeseran garis linier pertama dan saat retak pertama terjadi. Penentuan P elastis pada 2 tipe pembebanan (vertikal simetris dan vertikal tidak simetris) tersebut dapat dilihat pada tabel 4.13 dibawah. Sedangkan rekapitulasi deformasi saat benda uji mencapai beban elastis disajikan dalam tabel 4.14 berikut.

Tabel 4.12 *Hasil Perpindahan Maksimum Pengujian*

| Benda Uji | No. Benda Uji | P Maks (kg) | Δ Maks d1 (mm) | Δ Maks d2 (mm) | Δ Maks d3 (mm) | Rata -rata Δ Maks d1 (mm) | Rata -rata Δ Maks d2 (mm) | Rata -rata Δ Maks d3 (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vertikal Simetris | 6 | 150 | 0,86 | 0,93 | 0 | 6,66 | 8,965 | 4,155 |
| | 5 | 150 | 12,46 | 17 | 8,31 | | | |
| Vertikal Tidak Simetris | 4 | 300 | 3,26 | 2,93 | 3,5 | 4,095 | 3,7 | 1,975 |
| | 3 | 250 | 4,93 | 4,47 | 0,45 | | | |

Tabel 4.13 *Penentuan Nilai P Elastis Tinjauan*

| Benda Uji | No. Benda Uji | P Elastis (kg) | P Elastis Rata-Rata (kg) | P Retak Pertama (kg) | P Elastis Tinjauan (kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| Vertikal Simetris | 6 | 50 | 75 | 150 | 50 |
| | 5 | 100 | | 100 | |
| Vertikal Tidak Simetris | 4 | 200 | 125 | 250 | 50 |
| | 3 | 50 | | 50 | |

Tabel 4.14*Hasil Perpindahan Saat Beban P Elastis Pengujian*

| 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 | 50 | 0,16 | 0,17 | 0 | 0,21 | 0,24 | 0 |
| | 5 | | 0,26 | 0,31 | 0 | | | |
| Vertikal Tidak Simetris | 4 | 50 | 0,15 | 0,11 | 0 | 0,18 | 0,14 | 0,005 |
| | 3 | | 0,21 | 0,17 | 0,01 | | | |

### 4.3.7. 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 4.15 sampai Tabel 4.17.

Tabel 4.15*Hasil Perbandingan Deformasi Δd1 Elastis Pengujian dan Teoritis*

| Benda Uji | P Elastis Tinjauan (kg) | Deformasi Δd1 Elastis | |
|---|---|---|---|
| | | Teoritis (mm) | Rata-Rata Aktual (mm) |
| Vertikal Simetris | 50 | 0,12145 | 0,21 |
| Vertikal Tidak Simetris | 50 | 0,11035 | 0,18 |

Tabel 4.16*Hasil Perbandingan Deformasi Δd2 Elastis Pengujian dan Teoritis*

| Benda Uji | P Elastis Tinjauan (kg) | Deformasi Δd2 Elastis | |
|---|---|---|---|
| | | Teoritis (mm) | Rata-Rata Aktual (mm) |
| Vertikal Simetris | 50 | 0,12145 | 0,24 |
| Vertikal Tidak Simetris | 50 | 0,10729 | 0,14 |

Tabel 4.17*Hasil Perbandingan Deformasi Δd3 Elastis Pengujian dan Teoritis*

| Benda Uji | P Elastis Tinjauan (kg) | Deformasi Δd3 Elastis | |
|---|---|---|---|
| | | Teoritis (mm) | Rata-Rata Aktual (mm) |
| Vertikal Simetris | 50 | 0,03882 | 0 |
| Vertikal Tidak Simetris | 50 | 0,03543 | 0,005 |

Pada perbandingan deformasi teoritis dan aktual saat beban mencapat 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.

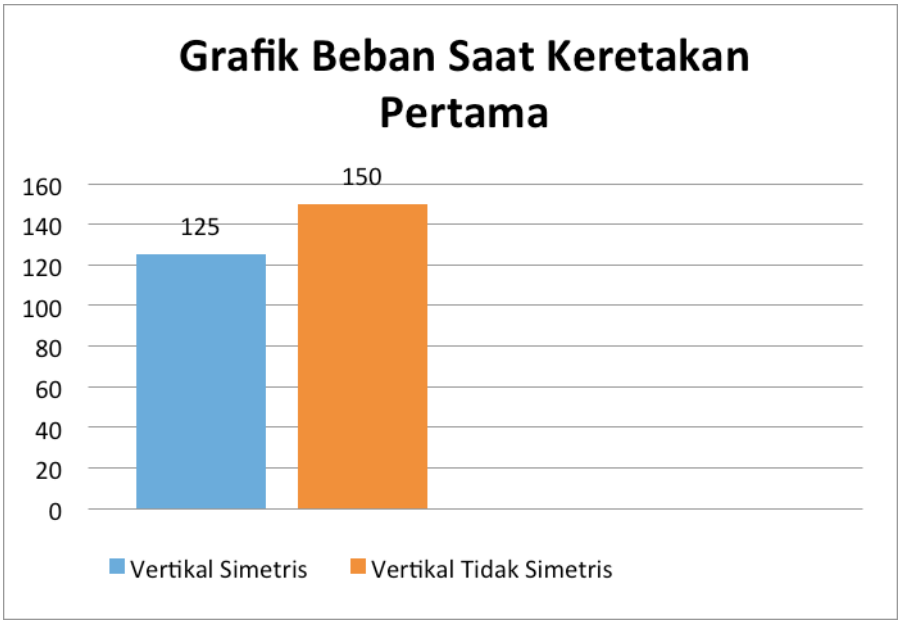
## 4.4. Pembahasan

### 4.4.1. Pengaruh Penggunaan Sambungan Grouting pada Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Terhadap Beban Maksimum

Dalam penelitian ini ada 2 jenis pembebanan yang telah dilakukan pada total 4 buah benda uji kuda kuda komposit tulangan bambu dengan sambungan grouting. 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 4.18 dan gambar 4.13.

Tabel 4.18 *Beban Saat Keretakaan Pertama Pada Kedua Tipe Pembebanan*

| Benda Uji | | Beban Keretakan Pertama (Kg) | Beban Keretakan Pertama Rata-rata (Kg) |
|---|---|---|---|
| Vertikal Simetris | 6 | 150 | 125 |
| | 5 | 100 | |
| Vertikal Tidak Simetris | 4 | 250 | 150 |
| | 3 | 50 | |

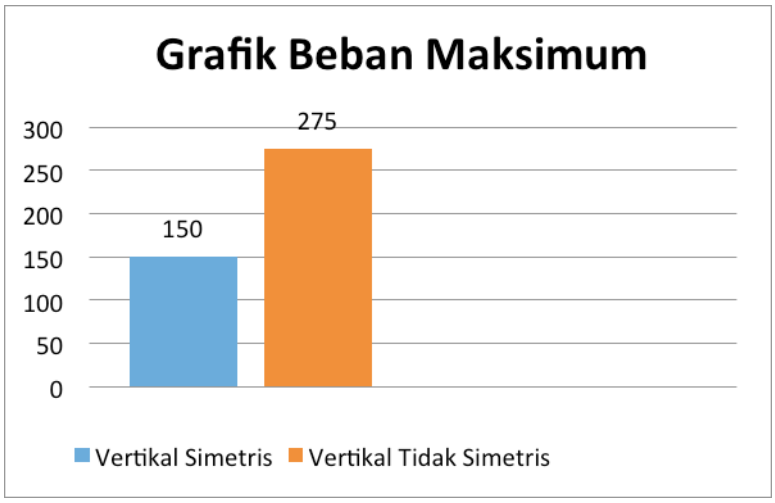



*Gambar 4.13* Beban Saat Keretakan Pertama Pada Kedua Tipe Pembebanan

Beban maksimum yang mampu dicapai oleh benda uji kuda-kuda tulangan bambu beton komposit masing-masing tipepun dapat dilihat pada tabel 4.19 dan gambar 4.14 berikut.

Tabel 4.19 *Beban Maksimum yang Mampu Ditahan Pada Kedua Tipe Pembebanan*

| Benda Uji | | Beban Maksimum (Kg) | Beban Maksimum Rata-rata (Kg) |
|---|---|---|---|
| Vertikal Simetris | 6 | 150 | 150 |
| | 5 | 150 | |
| Vertikal Tidak Simetris | 4 | 300 | 275 |
| | 3 | 250 | |




*Gambar 4.14* 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 300 kg, sedangkan untuk tipe pembebanan vertika simetris hanya 150 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. Sehingga beban maksimum sebenarnya yang ditahan saat pembebanan vertikal simetris ialah 300kg. Sedangkan pada pembebanan vertikal tidak simetris beban bertambah hanya ditempatkan pada satu titik yaitu titik D.

### 4.4.2. Pola Retak yang Terjadi pada Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu dengan Sambungan Grouting

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 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 sambungan grouting. Keretakan pada bagian ini lah yang membuat struktur mengalami keruntuhan. Kami menemukan beberapa dugaan permasalahan yang yang terjadi saat pengujian di lapangan diantaranya ialah pengikat yang digunakan untuk sambungan grouting berupa kawat bendrat yang terlepas ketika diberi beban, dan juga daya lekat campuran grouting pada permukaan kuda-kuda beton komposit tulangan bambu yang kurang kuat.