

PERILAKU DAN ANALISA KEKUATAN PANEL PRACETAK FERROFOAM CONCRETE YANG DIBEKANI LENTUR STUDI KASUS : PANEL PRACETAK BERBENTUK U (LU)

Zulfan Effendi¹, Abdullah², Mochammad Afifuddin³

¹⁾ Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111,
email: zulfan277@gmail.com

^{2,3)} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111,
email: afifuddin64@gmail.com³

Abstract: *The construction industry still depends on conventional construction methods. The concept of conventional construction must start to look for alternatives. One of them is by using precast panels. Construction precast panels typically use normal concrete, concrete weaknesses of normal weight is too heavy. The use of lightweight concrete in precast construction can solve the problem. One type of lightweight concrete used is lightweight foam concrete. The use of lightweight foam concrete in construction of precast panels facilitate the progress in the field, able to be appointed by the workforce. The aim of research to determine the behavior and capacity analysis ferrofoam precast concrete panels loaded U-shaped bending. This experiment is testing the U-shaped bending (LU) lightweight foam concrete. Dimensions of the test specimen with a length of 2200 mm, width 600 mm and 500 mm, height 120 mm and 80 mm, 30 mm thick. Concrete mix design based on the density is 1600 kg/m³ with FAS 0.4 and 21 MPa quality plan. The results showed that the maximum capacity of panel LU 600-120 1.34 tf at 26.81 mm deflection, LU 600-80 at 0.79 tf at 46.85 mm deflection, LU 500-80 on a deflection of 0.69 tf 39, 82 mm. Model panel collapse LU LU 600-120 and 600-80 is shear failure, but for LU 500-80 flexural failure. Ductility panel LU 600-80 only 87% of ductility LU 600-120 is a panel with high variation. Ductility panel with wide variations LU panel 500-80 88% biggest than the LU 600-80.*

Keywords : *Ferrofoam Concrete, Precast Panel, Behavior Flexure , Model Collapse, Ductility*

Abstrak: Industri konstruksi masih tergantung dengan metode konstruksi konvensional. Konsep konstruksi konvensional harus mulai dicarikan alternatif pengganti. Salah satunya adalah dengan menggunakan metode panel pracetak. Konstruksi panel pracetak biasanya menggunakan beton normal, kelemahan beton normal bobot terlalu berat. Penggunaan beton ringan pada konstruksi pracetak dapat menyelesaikan permasalahan tersebut. Salah satu jenis beton ringan yang digunakan adalah beton ringan busa. Penggunaan beton ringan busa pada konstruksi panel pracetak memudahkan dalam pengerjaan dilapangan, mampu diangkat oleh tenaga kerja. Tujuan penelitian untuk mengetahui perilaku dan analisa kapasitas panel pracetak ferrofoam concrete berbentuk U yang dibebani lentur. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian lentur berbentuk U (LU) beton ringan busa. Dimensi benda uji dengan panjang 2200 mm, lebar 600 mm dan 500 mm, tinggi 120 mm dan 80 mm, tebal 30 mm. Mix design beton berdasarkan berat jenis yaitu 1,6 dengan FAS 0,4 dan mutu rencana 21 MPa. Hasil penelitian adalah kapasitas maksimum panel LU 600-120 sebesar 1,34 tf pada lendutan 26,81 mm, LU 600-80 sebesar 0,79 tf pada lendutan 46,85 mm, LU 500-80 sebesar 0,69 tf pada lendutan 39,82 mm. Model keruntuhan panel LU 600-120 dan LU 600-80 adalah keruntuhan geser, namun untuk LU 500-80 keruntuhan lentur. Daktilitas panel LU 600-80 hanya 87% dari daktilitas LU 600-120 merupakan panel dengan variasi tinggi. Daktilitas panel dengan variasi lebar panel LU 500-80 lebih besar 88% dibanding LU 600-80.

Kata kunci : *Ferrofoam Concrete, Panel Pracetak, Perilaku Lentur, Model Keruntuhan, Daktilitas*

Industri konstruksi saat ini masih tergantung dengan metode konstruksi konvensional, dimana pelaksanaannya dilakukan pada lokasi pekerjaan. Konsep konstruksi konvensional harus mulai dicarikan alternatif pengganti. Salah satunya adalah dengan menggunakan metode pracetak. Konstruksi pracetak biasanya menggunakan beton normal. Kelemahan beton normal yang digunakan pada panel beton pracetak salah satunya bobot terlalu berat.

Penggunaan beton ringan pada konstruksi pracetak dapat menyelesaikan beberapa masalah di atas. Salah satu jenis beton ringan yang digunakan adalah beton ringan busa. Penggunaan beton ringan busa pada konstruksi panel pracetak disamping memudahkan dalam pengerjaan dilapangan yaitu mampu diangkat oleh tenaga kerja, kebutuhan alat berat (*crane*) dalam memindahkan dan memasang dapat diminimalisir. Penggunaan konstruksi tersebut dapat mengurangi beban mati dari suatu konstruksi sehingga percepatan gempa yang ditimbulkan oleh gempa bumi menjadi lebih kecil.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku dan analisa kapasitas panel pracetak *ferro foam concrete* yang dibebani lentur, dengan menggunakan benda uji berbentuk U (LU) dengan variasi lebar dan tinggi.

Hasil yang didapatkan kapasitas maksimum panel LU 600-120 sebesar 1,34 tf pada lendutan 26,81 mm, LU 600-80 sebesar

0,79 tf pada lendutan 46,85 mm, LU 500-80 sebesar 0,69 tf pada lendutan 39,82 mm. Model keruntuhan panel LU 600-120 dan LU 600-80 adalah keruntuhan geser, namun untuk LU 500-80 keruntuhan lentur. Daktilitas panel LU 600-80 hanya 87% dari daktilitas LU 600-120 merupakan panel dengan variasi tinggi. Daktilitas panel dengan variasi lebar panel LU 500-80 lebih besar 88% dibanding LU 600-80.

KAJIAN KEPUSTAKAAN

Beton Pracetak

Beton pracetak adalah teknologi konstruksi struktur beton dengan komponen-komponen penyusun yang dicetak terlebih dahulu pada suatu tempat khusus (*off site fabrication*), terkadang komponen-komponen tersebut disusun dan disatukan terlebih dahulu (*pre-assembly*), dan selanjutnya dipasang (*installation*) di lokasi (Abduh, 2007).

Ferrofoam Concrete

Ferrofoam concrete adalah merupakan material yang dimodifikasi dari material ferosemen. Prinsip dasar dari material *ferrofoam concrete* adalah dengan mengganti bahan mortar pada ferosemen dengan bahan *foam concrete* (beton busa) (Nazliza, 2013).

Beton ringan busa

Menurut Scott (1993), dalam kamus lengkap teknik sipil, beton busa adalah beton yang mengandung busa *kalsium silika*. Beton ini hanya terdiri dari tiga bahan baku yaitu semen, air dan gelembung-gelembung gas/udara.

Tulangan

Pada *ferrofoam concrete* terdapat dua jenis tulangan. Pertama tulangan rangka juga dapat menambah keamanan terhadap gaya tarik secara signifikan pada *ferrofoam concrete*. Kedua tulangan jaringan kawat yang relatif kecil diameternya dan tersebar merata dalam beberapa lapisan (Naaman, 2000).

Analisa Kekuatan

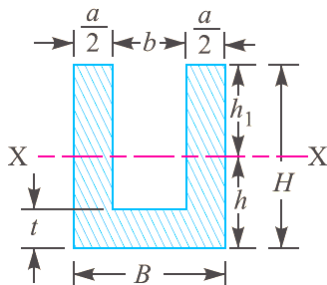
Analisa penampang

Menurut Khurmi dan Gupta (2005) karakteristik mekanik untuk penampang panel ialah, seperti diperlihatkan Gambar 1:

$$A = B t + (H - t) a \quad 2.1$$

$$I_{xx} = \frac{B h^3 - b(h-t)^3 + a h_1^3}{3} \quad 2.2$$

$$y = H - h_1 = \frac{a h^2 + b t^2}{2(aH + b t)} \quad 2.3$$



Gambar 1 Karakteristik Mekanik Panel
Sumber : Khurmi dan Gupta (2005)

Analisa perhitungan *ferrofoam concrete*

Menurut Naaman (2000), untuk menghitung momen metode regangan langkah-langkahnya adalah :

1. Plot diagram regangan dengan mengasumsi regangan tekan maksimum ϵ_{mu} = 0,003 dan harga coba-coba garis netral c ;
2. Dari diagram regangan tentukan regangan dari tiap lapisan tulangan.

3. Dari hubungan tegangan-regangan tiap lapisan tulangan tentukan tegangan pada lapisan dan gaya yang sesuai (tarik atau tekan);
4. Cek apabila jumlah dari gaya tekan apakah sama dengan gaya tarik, jika tidak sama, ulangi langkah ke -1 dan ganti harga c sehingga kecil perbedaan antara gaya tekan dan gaya tarik. Apabila sama, lanjutkan ke langkah selanjutnya; dan
5. Untuk gaya pada penampang hitung momen dari garis netral.

Menurut Naaman (2000), momen nominal tahanan (M_n).

$$M_n = (C \text{ atau } T) \times (Y_c + Y_T) \quad 2.4$$

Keterangan :

- C = gaya tekan pada blok tekan mortar (N)
 T = total gaya tarik (N)
 Y_c = jarak gaya tekan ke garis netral (c) (mm)
 Y_T = jarak gaya tarik ke garis netral (c) mm

Regangan, tegangan dan gaya selanjutnya, berikut hubungan yang digunakan :

$$\epsilon_{ri} = \left(\frac{d_j - c}{c} \right) \epsilon_{mu} \quad 2.5$$

Lendutan

Menurut R. Park, dan T. Pauley (1974), lendutan yang terjadi pada balok yang dibebani sampai beban maksimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.6):

$$\Delta_u = 0,125 \times \phi_u \times l^2 \quad 2.6$$

$$\phi_u = 0,7 \frac{\epsilon_u}{c} [100(\rho - \rho')]^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\rho - \rho'}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ jika } (\rho -$$

$$\rho' < 0,003 \quad 2.7$$

$$\phi_u = \frac{\epsilon_u}{c} \text{ jika } (\rho - \rho' > 0,003) \quad 2.8$$

Keterangan :

Δ_u = Lendutan beban (mm);
 ϕ_u = Kurvatur ultimit (rad/mm);
 L = Panjang bentang (mm);
 ϵ_u = Regangan ultimit pada beton;
 c = Jarak serat terluar ke garis netral (mm);
 ρ = Rasio tulangan tarik ($A_s / b.d$); dan
 ρ' = Rasio tulangan tekan ($A'_s / b.d$).

Model Keruntuhan

Menurut Nawy (1998), pada dasarnya dapat terjadi tiga ragam keruntuhan pada balok yaitu :

1. Keruntuhan lentur;
2. Keruntuhan lentur geser; dan
3. Keruntuhan geser tekan.

METODE PENELITIAN

Material dan Perlatan

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah Semen *portland* tipe I, *Foam agent*, Air, Besi tulangan ukuran Ø8 mm, dan Kawat jala (*wiremesh*) , *Electric Strain Gauge* yang akan digunakan dengan panjang gauge 5 mm digunakan untuk mengukur regangan baja.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini umumnya telah tersedia di Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala.

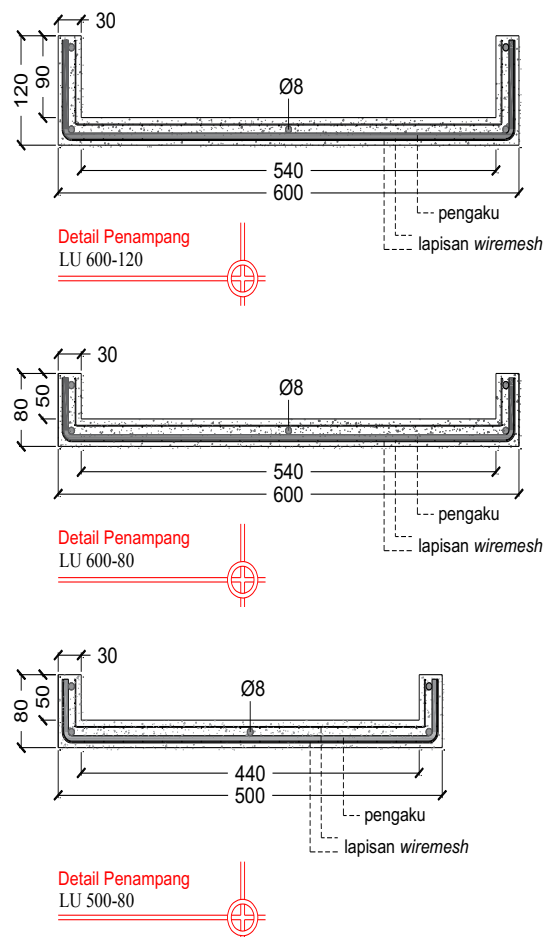
Rancangan Benda Uji

Benda uji panel di uji berjumlah 3 benda uji, yang masing-masing mempunyai bentang 2200 mm dengan bentang bersih 2000 mm. Benda uji panel berbentuk U dibedakan dalam dua variasi yaitu variasi lebar dan tinggi.

Benda uji panel dengan lebar 600 mm memiliki tinggi 120 mm dan 80 mm, namun untuk lebar 500 mm hanya tinggi 80 mm yang diuji seperti diperlihatkan pada Tabel 1. Desain dan detail penampang benda uji diperlihatkan pada Gambar 2.

Table 1 Kelompok Benda Uji

Tipe	Uk. Benda Uji (mm)	Variabel yang diuji
LU 600-120	2200×600×120×30	Variasi lebar dan tinggi
LU 600-80	2200×600×80×30	
LU 500-80	2200×500×80×30	
KMT	Ø150 × 300	Kuat Tekan
KMTT	Ø8	Kuat Tarik Baja
KMTW	Ø1	Kuat Tarik Wiremesh



Gambar 2 Desain dan Detail Benda Uji

Rancangan Campuran

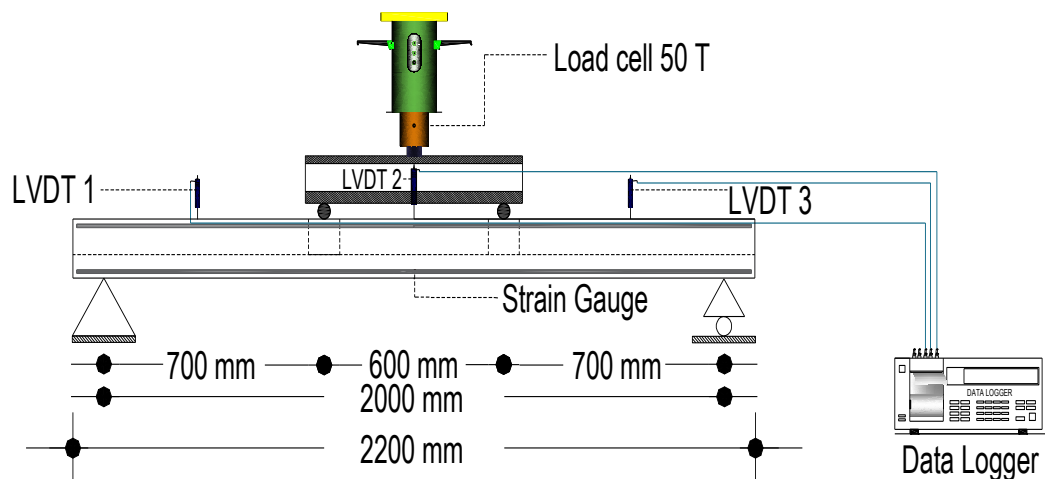
Untuk panel precast proporsi campuran yang akan dibuat berdasarkan pada target berat

jenis beton busa yang diinginkan, yaitu 1600 kg/m³ dengan FAS 0,4. Mutu yang direncanakan adalah sebesar 21 MPa.

Pengujian Benda Uji

Untuk mengetahui perilaku lentur panel *ferrofoam concrete*, digunakan *mode ASTM C-293 standard test method for flexural strength of concrete*, dengan memodifikasi menjadi pembebanan 2 titik. Pembebanan ditempatkan di tengah bentang dengan posisi tegak lurus benda uji. Penggunaan *mode* ini

dimaksudkan untuk mengetahui kapasitas maksimum dari panel yang di uji. Berdasarkan Gambar 3 diperlihatkan keadaan alat dan benda uji. LVDT 1 dan 3 berjarak 350 mm dari tumpuan, sedangkan LVDT 2 di letakkan pada jarak 1000 mm dari tumpuan atau di tengah bentang. Setelah semua alat berada pada posisinya LVDT, dan *load cell* dikoneksikan ke *data logger*. Sambungan selang antara *hydraulic pump* dan *loading jack* (di atas *load cell*) diperiksa untuk memastikan sambungan tidak renggang.



Gambar 3 Setup Uji Lentur Panel

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kuat tekan

Hasil kuat tekan benda uji silinder *ferrofoam concrete* dengan dimensi silinder Ø15 cm x 30 cm diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Kuat Tekan Silinder

Sampel	Beban	Kuat Tekan		
	(P)	f'_c	f'_c	Reg.
	Kg	kg/cm ²	kg/cm ²	
KT-1	36100	204,2	204,85	0,0026
KT-2	36200	204,85		0,0029
KT-3	36300	205,41		0,0022
KT-4	36200	204,85		0,0026

Pengujian kuat tarik tulangan rangka

Data hasil tegangan luluh, regangan luluh dan modulus elastisitas tulangan rangka untuk masing-masing diameter diperlihatkan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Uji Tarik Tulangan Rangka

Ø mm	Sam- pel	Teg. leleh MPa	Teg. Ultimit MPa	Reg. Leleh	E G Pa
8	KTT01	344,75	490,77	0,0020	17 4,57
	KTT02	344,75	488,74	0,0019	18 0,85
	KTT03	324,47	490,77	0,0018	17 6,74
	KTT04	344,75	490,77	0,0019	18 5,98
Rata-rata		339,68	490,26	0,0019	17 9,54

Pengujian kuat Tarik wiremesh

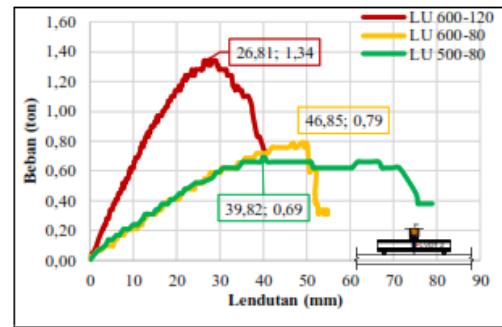
Data hasil tegangan luluh, regangan luluh dan modulus elastisitas *wiremesh* diperlihatkan pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4 Hasil Uji Kuat Tarik *Wiremesh*

Ø Mm	Sampel	Tegangan leleh MPa	Regangan Leleh	Modu- lus Elas- tisitas GPa
1	W-1	562,42	0,0018	312,46
	W-2	562,42	0,0018	312,46
	Rata-rata	542,62	0,0018	312,46

Perbandingan hasil pengujian panel

Grafik gabungan hubungan beban-lendutan benda uji panel LU diperlihatkan pada Gambar 4. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa kapasitas maksimum panel. Panel LU 600-120 beban maksimum dipikul adalah 1,34 tf pada lendutan 26,81 mm. Panel LU 600-80 sebesar 0,79 tf pada lendutan 46,85 mm dan panel LU 500-80 sebesar 0,69 tf pada lendutan 39,82 mm.



Gambar 4 Grafik Hubungan Beban-Lendutan

Dapat dilihat pola semua panel tersebut, setelah mencapai kapasitas maksimum panel tidak mampu berdeformasi sebelum panel hancur. Kesemua panel tersebut hancur pada daerah tekan sehingga pola kehancuran yang terjadi adalah geser. Pola grafik beban dan lendutan yang terjadi memiliki kesamaan pola dengan hasil pengujian yang dilakukan oleh Masri (2014). Menurut pengamatan pada saat pembebanan daerah desak beton mengelupas sehingga terjadi ketidakstabilan dalam pembebanan sehingga pembebanan dihentikan.

Tabel 5. Perbandingan Kapasitas Berdasarkan Variasi Penampang

Benda Uji	A_c mm ²	A_s mm ²	$A_{s'}$ mm ²	Rasio A_{stot}/A_c %	Beban ton	Rasio Kapasitas %
LU 600-120	23400	150,80	100,53	1,07	1,34	100
LU 600-80	21000	150,80	100,53	1,20	0,79	59
LU 600-80	21000	150,80	100,53	1,20	0,79	100
LU 500-80	18000	150,80	100,53	1,40	0,69	87

Berdasarkan variasi penampang kapasitas panel yang terjadi seperti diperlihatkan pada Tabel 5. dapat dilihat bahwa perbedaan tinggi panel dengan lebar yang sama meningkatkan kapasitas sebesar 41%. Hal ini menunjukkan bahwa tinggi berpengaruh besar dengan inersia penampang, perbedaan kapasitas tersebut disebabkan jumlah tulangan tarik lebih besar dan pengaruh dari lengan momen

dalam. Namun untuk panel dengan tinggi yang sama memiliki lebar yang berbeda peningkatan kapasitas yang terjadi tidaklah signifikan, hanya meningkat sebesar 13%.

Model keruntuhan panel

Model keruntuhan yang terjadi pada panel diperlihatkan pada Gambar 5. dimana untuk panel 600-120 model keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan geser. Panel LU 600-

80 model keruntuhan panel LU 500-80 model keruntuhan panel adalah lentur .

Perhitungan daktilitas berdasarkan lendutan di tengah bentang panel

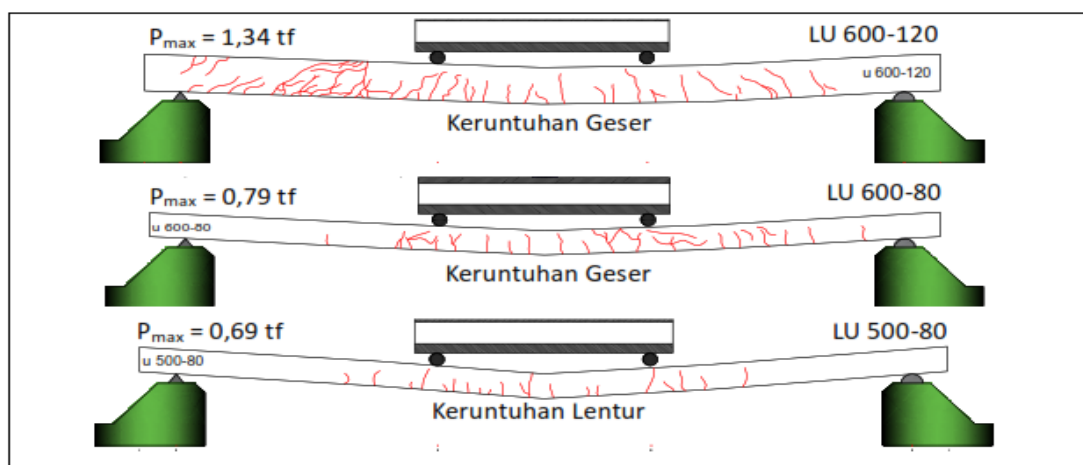
Perhitungan daktilitas dilakukan berdasarkan perbandingan lendutan pada beban ultimit terhadap lendutan awal luluhnya tulangan tarik. Perbandingan daktilitas yang terjadi pada panel berdasarkan variasi penampang diperlihatkan pada Tabel 6.

Daktilitas panel LU 600-80 hanya 87% dari daktilitas LU 600-120 merupakan panel dengan variasi tinggi. Daktilitas panel dengan

variasi lebar panel LU 500-80 lebih besar 88% dibanding LU 600-80. Dapat disimpulkan dari hasil perhitungan, daktilitas dengan variasi tinggi lebih besar jika dibandingkan dengan panel yang divariasikan lebar. Hal ini disebabkan luas beton desak lebih besar, sesuai dengan prinsip penggunaan beton desak lebih besar dari tarik pada balok.

Perbandingan hasil pengujian dengan analisa teoritis panel

Dilakukan pendekatan antara analisa teoritis dengan pengujian yang dilakukan dilaboratorium.



Gambar 5. Model keruntuhan panel

Tabel 6. Perbandingan Daktilitas Berdasarkan Variasi Penampang

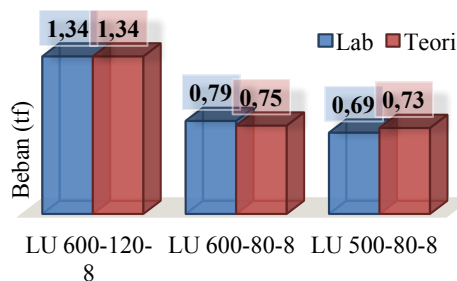
Benda Uji	Kondisi Luluh		Kndisi Ultimit		Daktilitas (μ) $\Delta u/\Delta y$	Perbandingan Daktilitas (%)
	Beban (P_y) (ton)	Lendutan (Δy) (mm)	Beban (P_u) (ton)	Lendutan (Δu) (mm)		
LU 600-120	0,72	11,45	1,34	26,33	2,30	100
LU 600-80	0,62	23,3	0,79	46,85	2,01	87
LU 600-80	0,62	23,3	0,79	46,85	2,01	100
LU 500-80	0,52	18,79	0,69	71,00	3,78	188

Tabel 7 Perbandingan Kapasitas Pengujian Dan Analisa Teoritis

Panel	Perbandingan Hasil								
	P (ton)			M (ton.m)			Δ (mm)		
	Lab	Teori	Lab/Teori	Lab	Teori	Lab/Teori	Lab	Teori	Lab/Teori
LU 600-120-8	1,34	1,34	1,00	0,47	0,47	1,00	26,33	0,19	138,78
LU 600-80-8	0,79	0,75	1,06	0,28	0,26	1,06	46,85	0,29	160,88
LU 500-80-8	0,69	0,73	0,95	0,24	0,25	0,95	39,82	0,27	148,53

Berdasarkan Tabel 4.6 Pada panel LU 600-120 dan LU 600-80 rasio lab/teori lebih atau sama dengan 1 ($\text{Lab} \geq 1$), hal tersebut sesuai dengan teori bahwasanya kapasitas yang didapatkan dari hasil pengujian laboratorium lebih besar dibandingkan dengan teoritis. Namun pada panel 500-80 terjadi perbedaan, dimana hasil lab lebih kecil dari pada hasil analisa secara teoritis ($\text{Lab} < \text{Teori}$).

Grafik rasio perbandingan beban uji dengan teoritis diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik Rasio Perbandingan Beban Uji dengan Teoritis

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian adalah sebagai berikut:

- Kapasitas maksimum panel LU 600-120 sebesar 1,34 tf pada lendutan 26,81 mm, LU 600-80 sebesar 0,79 tf pada lendutan 46,85 mm, LU 500-80 sebesar 0,69 tf pada lendutan 39,82 mm;
- Model keruntuhan panel LU 600-120 dan LU 600-80 adalah keruntuhan geser, namun untuk LU 500-80 keruntuhan lentur.
- Daktilitas panel LU 600-80 hanya 87% dari daktilitas LU 600-120 merupakan panel dengan variasi tinggi. Daktilitas panel dengan variasi lebar panel LU 500-

80 lebih besar 88% dibanding LU 600-80

Saran

Penelitian ini diharapkan dapat dilanjutkan oleh peneliti lain, dengan memperhatikan seperti untuk mendapatkan kapasitas geser yang lebih besar, perlu dilakukan pengujian benda uji dengan tambahan serat

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Abduh, M. (2007). *Teknologi Konstruksi Struktur Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Khurmi, R., & Gupta, J. (2005). *A Textbook of Machine Design*. Ram Nagar, New Delhi: Eurasia Publishing House (OVT.) LTD.
- Naaman, A. (2000). *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*. Michigan: Techno Press 3000.
- Nawy, E. (1998). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT. Refika Aditama.
- Nazliza. (2013). *Perilaku Balok Profil Kanal (C) Ferro Foam Concrete dengan Penambahan Pozzolan Alami Akibat Beban Lentur (Studi Kasus Dengan Beda Tinggi 150 mm, 200 mm, dan 300 mm)*. Banda Aceh: Skripsi Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala.
- Park, R., & Paulay, T. (1975). *Reinforced Concrete Structure*. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Scott, S. (1993). *Kamus Lengkap Teknik Sipil*. Jakarta: Erlangga.