



## Sifat Mekanik Panel Fero semen Akibat Beban Lentur dan Geser Terpusat

Taufiqurrahman N. Manggala<sup>a</sup> Masdar Helmi<sup>b\*</sup>, Vera A. Noorhidana<sup>ab</sup>, Jamiatul Akmal<sup>c</sup>,  
Mohamad Badaruddin<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Alumni Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung, Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia

<sup>b</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung, Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia

<sup>c</sup> Dosen Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung, Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia

### HIGHLIGHTS

- Sifat mekanik panel fero semen dievaluasi melalui pengujian lentur dua titik dan geser terpusat.
- Panel mencapai kapasitas lentur 8,583 kN dan kapasitas punching shear 5,404 kN.
- Hasil eksperimen menunjukkan kapasitas aktual lebih tinggi dibandingkan analisis teoritis.

### INFO ARTIKEL

#### Kata kunci:

Fero semen; Sifat Mekanik; Beban Lentur;  
Geser Terpusat; Analisis Teoritis

### ABSTRAK

Panel fero semen merupakan inovasi material konstruksi tipis yang terdiri dari mortar hidrolis diperkuat lapisan kawat anyam dan tulangan baja. Penelitian ini bertujuan mengetahui karakteristik sifat mekanik panel fero semen berbentuk pelat U dengan rib berukuran 120 cm x 80 cm x 8 cm dan tebal permukaan 2,5 cm akibat beban lentur dua titik dan geser terpusat. Pengujian dilakukan terhadap bahan penyusun berupa mortar, tulangan baja Ø6 mm, dan kawat ayam Ø0,5 mm dengan bukaan 1,25 cm x 1,25 cm satu lapis. Komposisi mortar semen: pasir: air = 1: 2,5: 0,35 dengan bahan tambahan Sika 2% dari berat semen. Hasil pengujian bahan: kuat lentur mortar 7,77 MPa, kuat tekan mortar 30,91 MPa, kuat tarik baja 394,65 MPa, dan kuat tarik kawat ayam 452,08 MPa. Pada pengujian lentur panel, beban retak pertama (fase B) 5,467 kN dengan tegangan lentur 10,022 MPa, dan beban maksimum (fase C) 8,583 kN dengan tegangan lentur 15,733 MPa. Pada pengujian geser terpusat, beban punching maksimum 5,404 kN dengan kuat geser 1,137 MPa. Perbandingan hasil pengujian dan analisis teoritis menunjukkan hasil pengujian lebih besar dari analisis, membuktikan desain dan bahan fero semen sesuai dan berfungsi dengan baik.

Diterbitkan oleh Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung

### 1. Pendahuluan

Konstruksi bangunan di Indonesia hingga saat ini masih didominasi oleh penggunaan beton bertulang sebagai material utama karena memiliki kekuatan, durabilitas, dan kemudahan dalam pelaksanaan konstruksi. Namun demikian, perkembangan teknologi konstruksi menuntut adanya inovasi material yang lebih efisien, ekonomis, ringan, dan ramah terhadap proses fabrikasi. Salah satu inovasi yang terus berkembang adalah penggunaan fero semen sebagai alternatif material struktural maupun non-struktural yang memiliki karakteristik berbeda dibandingkan beton bertulang konvensional [1].

\* Penulis koresponden.

Alamat E-mail: [masdar.helmi@eng.unila.ac.id](mailto:masdar.helmi@eng.unila.ac.id) (Masdar).

Peer review dibawah tanggung-jawab Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.

Fero semen merupakan material komposit tipis yang tersusun atas mortar hidrolis sebagai matriks dan diperkuat oleh lapisan tulangan berupa kawat anyam (wire mesh) serta tulangan baja berdiameter kecil yang tersebar merata di seluruh penampang. Matriks mortar umumnya terdiri atas campuran semen, agregat halus, air, dan bahan tambahan (admixture) yang berfungsi meningkatkan kualitas mortar, seperti memperbaiki workability, mempercepat proses pengerasan, mengurangi susut, serta meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan lingkungan agresif [2]. Kombinasi antara mortar dan tulangan yang tersebar merata menghasilkan material dengan kemampuan menahan gaya tarik, lentur, dan impak yang lebih baik dibandingkan mortar biasa.

Dalam beberapa dekade terakhir, fero semen telah banyak dimanfaatkan pada berbagai bidang konstruksi, seperti panel dinding pracetak, elemen lantai, atap tipis, tangki penyimpanan air, kapal nelayan, saluran irigasi, hingga struktur pelindung pantai. Penggunaan fero semen

menjadi menarik karena mampu menghasilkan elemen dengan ketebalan relatif tipis namun tetap memiliki kapasitas struktural yang memadai. Selain itu, kebutuhan material yang lebih sedikit dibandingkan beton bertulang konvensional menjadikan ferosemen lebih ekonomis serta lebih mudah diterapkan pada konstruksi skala kecil maupun menengah.

Panel ferosemen memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan beton bertulang konvensional, antara lain bobot yang lebih ringan, dimensi yang lebih tipis, kemudahan pembentukan sesuai kebutuhan desain, efisiensi penggunaan material, serta ketahanan yang baik terhadap korosi karena mortar mampu melindungi tulangan secara lebih homogen[3]. Di samping itu, panel ferosemen sangat sesuai untuk sistem konstruksi pracetak karena proses pembuatannya relatif sederhana, mudah diproduksi secara massal, serta mudah diperbaiki apabila terjadi kerusakan selama masa layan.[4]

Dari aspek mekanik, ferosemen juga menunjukkan performa yang sangat baik. Rasio luas tulangan terhadap volume mortar yang tinggi menyebabkan distribusi tegangan menjadi lebih merata sehingga meningkatkan kapasitas tarik dan lentur material. Kehadiran lapisan kawat anyam mampu mengendalikan propagasi retak, meningkatkan daktilitas, memperkecil lebar retakan, serta memperbaiki perilaku pasca-retak (post-cracking behavior)[5]. Selain itu, struktur ferosemen memiliki ketahanan yang baik terhadap beban kejut, beban siklik, dan pembebanan berulang sehingga potensial digunakan pada elemen struktur yang menerima kombinasi berbagai jenis pembebanan[6].

Sejumlah penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa peningkatan jumlah lapisan kawat anyam memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kapasitas lentur panel ferosemen. Munandar [7] melaporkan bahwa penambahan jumlah lapisan tulangan kawat pada panel pracetak mampu meningkatkan kapasitas momen dan kekakuan struktur secara nyata. Penelitian lain yang dilakukan oleh Abdullah [8] menunjukkan bahwa penggunaan perkuatan ferosemen berbasis kawat ayam dapat meningkatkan kekuatan struktural elemen beton, terutama dalam menahan gaya tarik dan lentur. Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi tulangan merupakan faktor penting yang memengaruhi perilaku mekanik ferosemen.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian yang telah dilakukan masih berfokus pada perilaku lentur atau perilaku tarik secara terpisah. Kajian mengenai panel ferosemen berbentuk pelat U dengan kombinasi evaluasi terhadap beban lentur dan beban geser terpusat (punching shear) masih relatif terbatas. Padahal, pada kondisi aktual di lapangan, elemen panel sering menerima kombinasi pembebanan yang dapat menimbulkan kegagalan lentur maupun kegagalan geser secara bersamaan. Pemahaman mengenai kedua mekanisme kegagalan tersebut sangat diperlukan untuk meningkatkan keandalan desain dan memperluas aplikasi panel ferosemen pada berbagai jenis konstruksi.

Selain itu, masih diperlukan verifikasi mengenai kesesuaian antara hasil pengujian eksperimental dan hasil analisis teoritis penampang ferosemen. Evaluasi ini penting untuk mengetahui tingkat akurasi model teoritis dalam memprediksi kapasitas aktual panel, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam pengembangan metode desain yang lebih andal dan efisien.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi sifat mekanik panel ferosemen berbentuk pelat U berukuran 120 cm × 80 cm × 8 cm dengan tebal permukaan 2,5 cm yang diperkuat menggunakan tulangan baja Ø6 mm dan satu lapis kawat ayam Ø0,5 mm. Penelitian difokuskan pada pengujian sifat mekanik material penyusun, pengujian lentur dua titik pembebanan, pengujian geser terpusat (punching shear), serta perbandingan hasil eksperimen dengan hasil analisis teoritis penampang. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kinerja struktural panel ferosemen serta menjadi referensi bagi pengembangan aplikasi ferosemen pada konstruksi bangunan dan infrastruktur.

## 2. Material dan Metode

### 2.1 Bahan Penyusun

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini dipilih secara cermat untuk memenuhi standar komposisi ferosemen. Semen yang digunakan adalah Portland Composite Cement (PCC) merek Semen Padang, dipilih karena cocok untuk berbagai macam konstruksi umum. Tulangan utama yang digunakan adalah tulangan baja polos berdiameter Ø6 mm yang dirakit membentuk kerangka panel. Kawat ayam (wiremesh) berbentuk segi empat berdiameter Ø0,5 mm dengan bukaan 1,25 cm x 1,25 cm dipasang sebanyak 1 lapis menutupi seluruh permukaan tulangan.

Agregat halus yang digunakan adalah pasir kali dari Gunung Sugih yang telah diuji memenuhi syarat standar ASTM. Air yang digunakan berasal dari laboratorium, bersih dan bebas dari bahan organik, lumpur, minyak, serta zat kimia merugikan. Bahan tambahan (admixtures) cair merek Sika tipe C ditambahkan sebanyak 2% dari berat semen untuk mempercepat durasi pengikatan dan pengerasan mortar, mengingat panel dibuat dengan metode pracetak. Komposisi campuran mortar yang digunakan adalah perbandingan berat semen : pasir : air = 1 : 2,5 : 0,35, sesuai dengan batasan yang ditetapkan ACI Committee 549 [9].

### 2.2 Benda Uji

Panel ferosemen yang dibuat berbentuk pelat U dengan rib di tepi, berukuran panjang 120 cm, lebar 80 cm, tinggi 8 cm, dan tebal permukaan 2,5 cm. Penampang panel pada analisis diperlakukan sebagai penampang T ekuivalen dengan lebar flens 800 mm, tebal flens 25 mm, lebar badan (bw) 80 mm, dan tinggi badan (hw) 55 mm. Perawatan (curing) benda uji dilakukan selama 28 hari dengan cara memberikan air pada permukaan benda uji untuk menjaga kelembapan dan mengoptimalkan proses hidrasi semen [10]. Variabel pengujian disajikan pada Tabel 1

**Tabel 1** Variabel pengujian panel ferosemen

Kode BU	Jenis Pengujian	Jumlah
B.1.1, B.1.2	Uji lentur 2 titik pembebanan	2
B.2.1, B.2.2	Uji geser beban terpusat	2

### 2.3 Pengujian Material

Pengujian material dilakukan untuk mendapatkan data input analisis teoritis. Uji kuat lentur mortar dilakukan pada benda uji 160 mm × 40 mm × 40 mm berdasarkan BS EN 1015:2019 [11] dengan pembebanan satu titik di tengah bentang menggunakan alat Compression Testing Machine (CTM) digital. Kuat lentur mortar dihitung menggunakan persamaan:

$$\sigma_l = 3PL / (2bh^2) \quad (1)$$

Uji kuat tekan dilakukan pada patahan benda uji lentur mortar menggunakan CTM dengan luas pembebanan 40 mm × 40 mm. Kuat tekan dihitung menggunakan persamaan SNI 1974:2011[12]:

$$f_c = P / A \quad (2)$$

Uji kuat tarik tulangan baja dan kawat ayam dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) di Laboratorium Baja Universitas Lampung. Tegangan tarik dihitung sebagai:

$$f_u = P_{maks} / A_{so} \quad (3)$$

di mana P adalah beban maksimum (N), L adalah panjang bentang (mm), b dan h adalah dimensi penampang (mm), A adalah luas penampang (mm<sup>2</sup>).

### 2.4 Pengujian Panel Ferosemen

Uji lentur dua titik pembebanan dilakukan berdasarkan SNI 4431:2011 [10] menggunakan loading frame dengan dua titik beban pada jarak L/3 dari masing-masing tumpuan. Lendutan diukur menggunakan dial gauge di tengah bentang. Pembebanan dilakukan secara konstan hingga panel mengalami kegagalan. Beban lentur maksimum dan tegangan lentur dihitung menggunakan persamaan:

$$M = PL / 6 \quad (4)$$

$$\sigma_l = M / W \quad (5)$$

di mana M adalah momen lentur (Nmm), W adalah momen tahanan penampang (mm<sup>3</sup>), P adalah beban maksimum (N), dan L adalah panjang bentang antar tumpuan (mm).

Uji geser terpusat (punching shear) dilakukan berdasarkan penelitian Awal [13] dengan memberikan beban melalui punch berukuran 3 cm × 3 cm tepat di tengah permukaan panel hingga terjadi kegagalan. Kuat geser terpusat dihitung menggunakan persamaan:

$$\sigma_{shear} = P / A_{shear} \quad (6)$$

$$A_s = 2d^2\sqrt{(5/4)} + 4db\sqrt{(5/4)} \quad (7)$$

di mana d adalah tebal panel (mm) dan b adalah lebar pembebanan terpusat (mm).

### 2.5 Analisis Teoritis

Analisis teoritis lentur panel mengacu pada buku Pengantar Ferosemen oleh Djausal [2] dengan metode penampang ekuivalen. Tahapan analisis meliputi: (1) menghitung volume fraksi tulangan kawat ayam (V<sub>f</sub>) dan tulangan baja (V<sub>s</sub>'), (2) menentukan sumbu netral

sementara, (3) menghitung faktor reduksi modulus elastisitas (No), (4) menghitung luas reduksi, statis momen, dan jarak garis netral (Y<sub>r</sub>), (5) menghitung momen inersia (I<sub>r</sub>) dan momen tahanan (W<sub>r</sub>), dan (6) menghitung beban dan tegangan pada fase B (retak pertama) serta fase C (beban maksimum).

Volume fraksi tulangan kawat ayam dihitung dengan persamaan:

$$V_f = (n_w \times \pi \times dw^2) / (4 \times hfc) \times (1/D_T) \quad (8)$$

Analisis teoritis geser terpusat menggunakan persamaan kontrol geser dua arah (pons) pada pondasi berdasarkan SNI 2847:2019 [14]. Nilai kuat geser ditentukan dari nilai terkecil di antara tiga persamaan berikut:

$$V_{c1} = 0,17 [1 + 2/\beta_c] \lambda \sqrt{f_c} b_o d \quad (9)$$

$$V_{c2} = 0,083 [\alpha_s d/b_o + 2] \lambda \sqrt{f_c} b_o d \quad (10)$$

$$V_{c3} = 0,33 \lambda \sqrt{f_c} b_o d \quad (11)$$

di mana β<sub>c</sub> adalah rasio sisi panjang terhadap pendek beban terpusat, α<sub>s</sub> adalah konstanta (40 untuk kolom dalam), b<sub>o</sub> adalah keliling penampang kritis, d adalah tinggi efektif panel (mm), dan f<sub>c</sub> adalah kuat tekan mortar (MPa).

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil Pemeriksaan Bahan

Pengujian material penyusun ferosemen dilakukan untuk memastikan kualitas bahan memenuhi standar yang dipersyaratkan. Hasil pemeriksaan agregat halus menunjukkan seluruh parameter memenuhi standar ASTM: kadar air 0,59% (standar 0–1%), berat jenis 2,50 (standar 2,0–2,9), penyerapan 2,04% (standar 1–3%), berat volume 1.410 kg/m<sup>3</sup>, kadar lumpur 0,4% (<5%), dan modulus kehalusan 2,72 (standar 2,3–3,1). Kandungan zat organik pasir berada pada warna No. 3 (Coklat Muda), di bawah batas maksimum warna No. 5.

Hasil pengujian kuat tarik tulangan baja Ø6 mm menunjukkan tegangan leleh rata-rata f<sub>y</sub> = 394,65 MPa dan tegangan tarik putus rata-rata f<sub>u</sub> = 528,78 MPa. Hasil pengujian kuat tarik kawat ayam Ø0,5 mm menunjukkan tegangan tarik putus rata-rata f<sub>u</sub> = 452,08 MPa. Ringkasan seluruh hasil pengujian bahan penyusun disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2** Hasil pengujian bahan penyusun ferosemen

Jenis Pengujian	Hasil	Satuan
Kuat lentur mortar	7,77	MPa
Kuat tekan mortar	30,91	MPa
Kuat tarik baja (f <sub>y</sub> )	394,65	MPa
Kuat tarik baja (f <sub>u</sub> )	528,78	MPa
Kuat tarik kawat ayam	452,08	MPa

Nilai kuat tekan mortar sebesar 30,91 MPa memenuhi syarat kuat tekan mortar untuk ferosemen yang disyaratkan Neville (1996) yang dikutip Djausal [2]. Nilai-nilai ini akan

digunakan sebagai data input pada analisis teoritis panel ferosemen.

### 3.2 Pengujian Lentur Dua Titik Pembebanan

Pengujian lentur dua titik pembebanan menghasilkan kurva beban-lendutan yang menunjukkan tiga fase perilaku panel. Fase A (awal pembebanan) merupakan kondisi elastik linear dimana besar regangan berbanding lurus dengan penambahan tegangan. Fase B adalah kondisi retak pertama, di mana kekuatan lentur mortar telah terlampaui dan kawat ayam serta tulangan baja mulai aktif bekerja. Fase C adalah kondisi beban maksimum di mana panel tidak dapat lagi menambah kapasitas beban lenturnya. Ringkasan hasil pengujian disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3** Ringkasan hasil pengujian lentur panel ferosemen

Fase	Beban (kN)	Lendutan (mm)	Momen (Nmm)	$\sigma$ (MPa)
A	0	0	0	0
B	5,4677	3,24	1.218.600	10,022
C	8,5830	16,79	1.645.100	15,733

Pada Fase B, beban rerata sebesar 5,4677 kN menghasilkan tegangan lentur 10,022 MPa, yang sudah melampaui kuat lentur mortar sebesar 7,77 MPa. Hal ini membuktikan bahwa kekuatan lentur mortar telah bekerja dan kawat ayam serta tulangan mulai berperan menahan perambatan retak. Daerah antara Fase B dan C merupakan fase peralihan di mana penambahan beban diikuti oleh terjadinya retak simultan (multiple cracking) secara bersamaan di sepanjang daerah momen.

Pada Fase C, beban maksimum rata-rata sebesar 8,5830 kN dengan lendutan 16,79 mm dan tegangan lentur maksimum 15,733 MPa. Kapasitas momen tahanan penampang ( $W_r$ ) yang dihitung secara analitis sebesar 104.564,8 mm<sup>3</sup> (104,56 cm<sup>3</sup>). Pola, lebar, dan jarak retakan hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4** Ringkasan pola retakan pengujian lentur panel

Kode	Jml Retak	Jarak Terpendek (cm)	Lebar Maks (mm)	Flens
B.1.1	11	8,5	0,8	4
B.1.2	11	6,5	0,9	5
<b>Rerata</b>	11	7,5	0,85	-

Pola retakan yang timbul berupa retakan vertikal di daerah momen maksimum pada sepertiga bentang tengah. Pada benda uji B.1.1 terdapat 11 retakan (4 menembus flens, 7 retak halus pada rib) dengan jarak terpendek 8,5 cm dan lebar retakan maksimum 0,8 mm. Pada benda uji B.1.2 terdapat 11 retakan (5 menembus flens, 6 retak halus pada rib) dengan jarak terpendek 6,5 cm dan lebar retakan maksimum 0,9 mm. Jarak retakan rata-rata 7,5 cm dan lebar retakan rata-rata 0,85 mm.

### 3.3 Pengujian Geser Terpusat (Punching Shear)

Pengujian kuat geser terpusat dilakukan dengan memberikan beban melalui punch berukuran 3 cm x 3 cm di tengah permukaan panel. Beban ditingkatkan secara

konstan hingga panel mengalami kegagalan berupa retakan geser. Hasil pengujian kedua benda uji menunjukkan nilai yang identik. Ringkasan hasil pengujian geser terpusat disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5** Ringkasan hasil pengujian geser terpusat panel

Kode	Beban Maks (kN)	A_shear (mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{shear}$ (MPa)
B.2.1	5,4041	4.751,64	1,1373
B.2.2	5,4041	4.751,64	1,1373
<b>Rerata</b>	5,4041	4.751,64	1,1373

Beban punching maksimum rata-rata sebesar 5,4041 kN dengan kuat geser terpusat 1,1373 MPa. Luas akibat pembebanan geser ( $A_{shear}$ ) dihitung berdasarkan persamaan (7) sebesar 4.751,64 mm<sup>2</sup>. Pola retakan yang terbentuk pada kedua benda uji berupa retakan radial dari pusat pembebanan yang menyebar ke seluruh permukaan bawah panel. Banyak retakan pada benda uji B.2.1 sebanyak 11 buah dengan panjang retakan terpanjang 9,49 cm, sedangkan pada B.2.2 sebanyak 10 buah dengan panjang terpanjang 10,1 cm. Pola radial ini khas untuk kegagalan geser terpusat (punching shear failure) di mana panel seolah-olah ditembus dari atas ke bawah membentuk bidang runtuh berbentuk konus [15].

### 3.4 Analisis Teoritis Panel Ferosemen

Analisis teoritis penampang dilakukan menggunakan penampang ekuivalen berbentuk T dengan parameter: lebar flens  $b_1 = 800$  mm, tebal flens  $h_1 = 25$  mm, lebar badan  $b_w = 80$  mm, tinggi badan  $h_w = 55$  mm. Data input dari pengujian material digunakan untuk menghitung volume fraksi tulangan.

Volume fraksi kawat ayam ( $V_f$ ) = 0,0007; volume fraksi tulangan baja tekan ( $V_s'$ ) = 0,0071; volume fraksi tulangan total tarik ( $V_{fr}$ ) = 0,0186; dan volume fraksi mortar ( $V_m$ ) = 0,9814. Faktor reduksi modulus elastisitas kawat terhadap mortar ( $N_o$ ) = 11,555. Garis netral penampang ( $Y_r$  atas) = 17,81 mm dari serat atas dan ( $Y_r$  bawah) = 62,19 mm dari serat bawah. Momen inersia penampang ( $I_r$ ) = 6.502.506 mm<sup>4</sup> dan momen tahanan ( $W_r$ ) = 104.564,8 mm<sup>3</sup>.

Beban dan tegangan lentur hasil analisis teoritis pada fase B (kondisi retak pertama) adalah 4,3155 kN dan 7,9103 MPa. Pada fase C (kondisi beban maksimum) adalah 6,2020 kN dan 11,3681 MPa. Lebar retakan teoritis 0,9638 mm dan jarak retakan teoritis 16,67 cm.

Untuk analisis geser terpusat, tinggi efektif penampang  $d_e = 5,46$  mm dan keliling penampang kritis  $b_o = 198,15$  mm. Nilai kuat geser teoritis terkecil dari tiga persamaan adalah  $V_{c3} = 5,3272$  kN, dengan tegangan geser terpusat teoritis = 1,1211 MPa.

### 3.5 Perbandingan Hasil Pengujian dan Analisis Teoritis

Perbandingan antara hasil pengujian dan analisis teoritis disajikan secara lengkap pada Tabel 6 berikut.

**Tabel 6** Perbandingan hasil pengujian dan analisis teoritis

Parameter	Pengujian	Analisis	Selisih (%)
Lentur – Beban Fase B (kN)	5,4677	4,3155	27
Lentur – Beban Fase C (kN)	8,5830	6,2020	38
$\sigma$ Lentur Fase B (MPa)	10,022	7,910	27
$\sigma$ Lentur Fase C (MPa)	15,733	11,368	38
Jarak retak (cm)	7,5	16,67	-
Lebar retak (mm)	0,85	0,9638	-
Beban punching (kN)	5,4041	5,3272	1,4
Kuat geser (MPa)	1,1373	1,1211	1,4

Pada pengujian lentur, hasil pengujian lebih besar dari analisis teoritis dengan selisih 27% untuk fase B dan 38% untuk fase C. Perbedaan yang cukup signifikan ini disebabkan oleh beberapa faktor: (1) analisis teoritis menggunakan pendekatan konservatif yang tidak sepenuhnya memperhitungkan kontribusi kekuatan ikatan antara mortar dan tulangan; (2) variasi kualitas material aktual di lapangan yang cenderung lebih baik dari nilai nominal; dan (3) efek pengekangan (confinement) akibat bentuk pelat U yang meningkatkan kapasitas aktual panel.

Pada pengujian geser terpusat, selisih antara hasil pengujian dan analisis sangat kecil yaitu hanya 1,4%. Hal ini menunjukkan bahwa persamaan SNI 2847:2019 untuk geser dua arah (pons) dapat digunakan secara akurat untuk memprediksi kapasitas geser terpusat panel ferosemen dengan tebal permukaan 2,5 cm.

Untuk parameter jarak dan lebar retakan, jarak retakan hasil pengujian (7,5 cm) lebih kecil dari hasil analisis (16,67 cm). Demikian pula lebar retakan pengujian (0,85 mm) lebih kecil dari analisis (0,9638 mm). Hal ini menunjukkan bahwa volume fraksi kawat ayam dan kekuatannya telah berfungsi baik dalam mendistribusikan tegangan sehingga retakan yang terbentuk lebih rapat dan lebih sempit dari prediksi teoritis.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sifat mekanik bahan penyusun panel ferosemen telah memenuhi syarat: kuat lentur mortar 7,77 MPa, kuat tekan mortar 30,91 MPa, kuat tarik tulangan baja (fy) 394,65 MPa dan (fu) 528,78 MPa, serta kuat tarik kawat ayam 452,08 MPa.
2. Pada pengujian lentur dua titik pembebanan, fase B (retak pertama) menghasilkan beban 5,467 kN, lendutan 3,24 mm, dan tegangan lentur 10,022 MPa. Fase C (beban maksimum) menghasilkan beban 8,583 kN, lendutan 16,79 mm, dan tegangan lentur 15,733 MPa. Jarak retakan terpendek rata-rata 7,5 cm dan lebar retakan maksimum rata-rata 0,85 mm.
3. Pada pengujian geser terpusat, beban punching maksimum 5,404 kN dan kuat geser 1,137 MPa. Pola

retakan radial yang terbentuk mengkonfirmasi kegagalan punching shear yang khas pada panel ferosemen.

4. Perbandingan hasil pengujian dan analisis teoritis menunjukkan hasil pengujian lebih besar dari analisis dengan selisih 27–38% untuk lentur dan hanya 1,4% untuk geser terpusat. Hal ini membuktikan bahwa desain penampang dan bahan penyusun ferosemen telah bekerja secara optimal dalam menahan pembebanan. Persamaan SNI 2847:2019 terbukti cukup akurat dalam memprediksi kapasitas geser terpusat panel ferosemen.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Bahan dan Konstruksi atas dukungan fasilitas dan peralatan penelitian.

#### Daftar Pustaka

- [1] Sumanto, *Analisa Hubungan Persentase Tulangan terhadap Variasi Tebal Elemen Lentur Ferosemen*. Batam: Universitas Internasional Batam, 2012.
- [2] A. Djausal, *Pengantar Ferosemen*. Bandar Lampung: Pusat Pengembangan Ferosemen Indonesia, 2004.
- [3] R. Syarief, "Sistem Pabrikasi pada Pelaksanaan Struktur Ferosemen," *J. Arsit. Univ. Bandar Lampung*, 2011.
- [4] I. K. T. Suarsana, *Diktat Pengetahuan Material Teknik*. Bali: Universitas Udayana, 2017.
- [5] A. Tanawade and C. D. Modhera, "Tensile Behaviour of Welded Wire Mesh and Hexagonal Metal Mesh for Ferrocement Application," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017.
- [6] W. Husada, "Pengaruh Perkuatan Ferosemen dengan Kawat Ayam pada Struktur Beton," *J. Tek. Sipil Univ. Sumatera Utara*, 2018.
- [7] A. R. Munandar, "Perilaku Lentur Panel Pracetak Ferofoam Concrete dengan Satu Titik Pembebanan," Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 2022.
- [8] Abdullah, "Beton Busa sebagai Bahan Konstruksi Bangunan Teknik Sipil," Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 2014.
- [9] ACI Committee 549, "Guide to Ferrocement (ACI 549.1R-18)," Farmington Hills, MI, 2018.
- [10] SNI 4431:2011, *SNI 4431-2011 Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*. Badan Standardisasi Nasional, 2011.
- [11] British Standards Institution, "BS EN 1015-11:2019: Methods of Test for Mortar for Masonry -- Part 11: Determination of Flexural and Compressive Strength of Hardened Mortar," no. BS EN 1015-11:2019. London, United Kingdom, 2019. [Online]. Available: <https://knowledge.bsigroup.com/products/methods-of-test-for-mortar-for-masonry-determination-of-flexural-and-compressive-strength-of-hardened-mortar>
- [12] "SNI 1974:2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder." Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2011.
- [13] A. S. M. A. Awal, "Flexural Strength and Punching Shear Resistance of Ferrocement Slab," Bangladesh Agricultural University, Mymensingh, 2007.
- [14] "SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk

Bangunan Gedung dan Penjelasan.” Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2019.

- [15] M. F. Abdillah, “Studi Perumusan Punching Shear (Geser Pons) pada Sistem Struktur Flat Plate Tanpa Perlindungan Geser,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2019.