

**PENGARUH FIBER *POLYPROPYLENE* TERHADAP
SIFAT MEKANIK PLAT FEROSEMEN**

(Skripsi)

Oleh

**Gerry Adam Nabil
NPM 1715011037**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PENGARUH FIBER *POLYPROPYLENE* TERHADAP SIFAT MEKANIK PELAT FEROSEMEN

Oleh

GERRY ADAM NABIL

Ferosemen adalah konstruksi beton bertulang tipis yang dibuat dari campuran pasir dan semen hidrolik dengan penulangan kawat jala berdiameter kecil berlapis-lapis dan menerus diseluruh bagian strukturnya. Sebagai struktur beton bertulang yang tipis, retakan kecil pada struktur ferosemen dapat meluas ke seluruh struktur dan dapat menyebabkan keruntuhan. Penambahan fiber *polypropylene* (PPF) dalam penelitian ini bertujuan untuk memperkuat sifat mekanik plat ferosemen.

Penelitian ini menyajikan pengaruh fiber *polypropylene* terhadap kuat tekan dan kuat lentur pada benda uji mortar ferosemen dengan dimensi 160 mm x 40 mm x 40 mm dan plat ferosemen dimensi 240 mm x 60 mm x 25 mm. Penelitian ini menggunakan komposisi mortar dengan perbandingan 1 : 2,5 : 0,35 untuk perbandingan semen, pasir dan air, dengan jumlah lapisan jaring kawat sebanyak 2 lapis dan 4 lapis, serta terdapat variasi menggunakan tulangan dan tanpa menggunakan tulangan didalamnya. Variasi fiber *polypropylene* yang digunakan adalah 0%, 1% dan 2% dari volume benda uji. Pengujian dilakukan pada benda uji berumur 28 hari. Berdasarkan hasil pengujian, nilai kuat tekan dan kuat lentur optimum pada benda uji mortar ferosemen terdapat pada penambahan PPF 1%. Penambahan fiber *polypropylene* pada benda uji plat ferosemen tidak mempengaruhi kekuatan pada benda uji plat ferosemen, hal ini terjadi dikarenakan penambahan fiber yang terdapat pada campuran mortar tidak tersebar secara merata dan membentuk *air void* atau rongga udara, sehingga mengurangi kekuatan pada benda uji plat ferosemen. Nilai beban maksimum tertinggi pada benda uji plat ferosemen terdapat pada kode benda uji PLT.0%.4.B (variasi PPF 0%, dengan tulangan diameter 6 mm serta 4 lapis jaring kawat). Tulangan dan jaring kawat memiliki peranan yang sangat penting pada benda uji plat ferosemen. Benda uji plat ferosemen yang memiliki tulangan di dalamnya mengalami retak secara perlahan dan tidak terbagi menjadi beberapa bagian. Hal ini terjadi dikarenakan tulangan dan jaring kawat dapat menahan gaya tarik.

Kata kunci: fiber *polypropylene*, mortar ferosemen, plat ferosemen, kuat tekan, kuat lentur, beban maksimum

ABSTRACT

EFFECT OF POLYPROPYLENE FIBER ON MECHANICAL PROPERTIES OF FERROCEMENT PLATE

by

GERRY ADAM NABIL

Ferrocement is a thin reinforced concrete construction made from a mixture of sand and hydraulic cement by reinforcing small diameter wire mesh in layers and continuously throughout the structure. As a thin reinforced concrete structure, small cracks in the ferrocement structure can extend throughout the structure and can cause collapse. The addition of polypropylene fiber (PPF) in this study aims to strengthen the mechanical properties of the ferrocement plate.

This study presents the effect of polypropylene fiber on compressive strength and flexural strength on ferrocement mortar specimens with dimensions of 160 mm x 40 mm x 40 mm and ferrocement plates with dimensions of 240 mm x 60 mm x 25 mm. This study used a mortar composition with a ratio of 1 : 2.5 : 0.35 for the ratio of cement, sand and water, with a number of layers of wire mesh of 2 layers and 4 layers, and there were variations using reinforcement and without using reinforcement in it. Variations of polypropylene fiber used are 0%, 1% and 2% of the volume of the test object. Tests were carried out on specimens aged 28 days. Based on the test results, the optimum compressive strength and flexural strength values on the ferrocement mortar test specimens were found in the addition of 1% PPF. The addition of polypropylene fiber to the ferrocement plate specimen did not affect the strength of the ferrocement plate test object, this occurred because the added fiber contained in the mortar mixture was not spread evenly and formed air voids or air voids, thereby reducing the strength of the ferrocement plate test object. The highest maximum load value for the ferrocement plate test object is found in the test object code PLT.0%.4.B (0% PPF variation, with 6 mm diameter reinforcement and 4 layers of wire mesh). Reinforcement and wire jaws have a very important role in the ferrocement plate test object. The ferrous cement plate test object which has reinforcement in it cracks slowly and is not divided into several parts. This happens because the reinforcement and wire mesh can withstand the tensile force.

Keywords: polypropylene fiber, ferrocement mortar, ferrocement plate, compressive strength, flexural strength, maximum load

**PENGARUH FIBER *POLYPROPYLENE* TERHADAP
SIFAT MEKANIK PLAT FEROSEMEN**

Oleh

GERRY ADAM NABIL

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi

**: PENGARUH FIBER POLYPROPYLENE
TERHADAP SIFAT MEKANIK PLAT
FEROSEMEN**

Nama Mahasiswa

: Gerry Adam Nabil

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1715011037

Program Studi

: Teknik Sipil

Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.

NIP 19700430 199703 1 003


Ir. Vera A. Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D.

NIP 19740831 200003 2 002

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil


Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP 19720829 199802 1 001

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil


Ir. Laksmi Irianti, M.T.

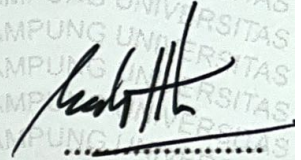
NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

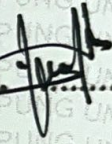
Ketua

: Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.



Sekretaris

: Ir. Vera A. Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D.



Penguji

Bukan Pembimbing : Dr. Eng. Ir. Ratna Widayawati, S.T., M.T., IPM.

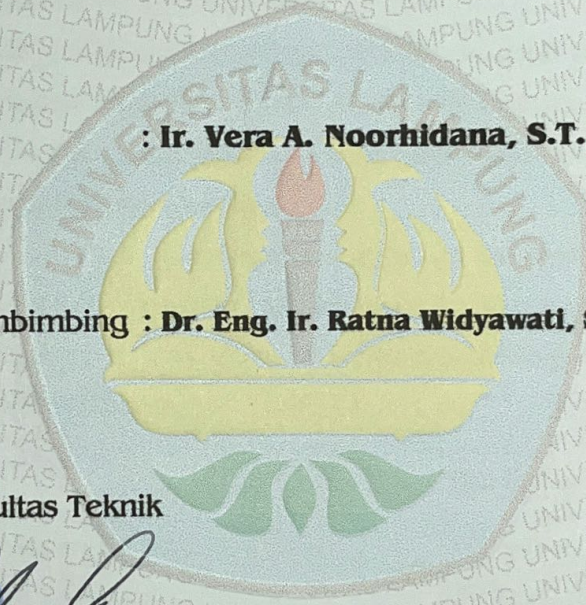


2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP 19750928 200112 1 002



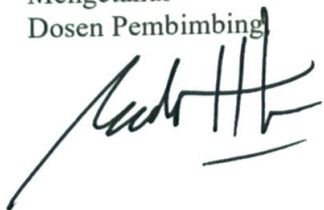
Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 26 Juli 2023

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi saya yang berjudul "*Pengaruh Fiber Polypropylene Terhadap Sifat Mekanik Plat Fero semen*" adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (Sarjana), baik di Universitas Lampung maupun diperguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini merupakan bagian dari penelitian Bapak Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D., dengan judul penelitian "*Sifat Mekanik Plat Fero semen Akibat Penambahan Fiber Polypropylene*".
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah berlaku di Universitas Lampung.

Mengetahui
Dosen Pembimbing



Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.
NIP. 197004301997031003

Bandar Lampung, 26 Juli 2023

Mahasiswa,



Gerry Adam Nabil
NPM. 1715011037

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Bandar Lampung pada tanggal 03 April 1999. Merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Drs. Rajo Amril dan Ibu Eni Artika. Penulis mempunyai 3 orang saudara kandung bernama Abdul Bagas Amril, S.H., Habilurrahman Al-Qozie dan Suci Hazikhah Khairulnisa.

Penulis menempuh Pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) di Taruna Jaya Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2005, dilanjutkan ke pendidikan tingkat dasar di SD Al-Kautsar Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2011, lalu melanjutkan pendidikan tingkat menengah di SMP Kartika II-2 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2014, serta melanjutkan pendidikan tingkat atas di SMAN 10 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2017.

Pada tahun 2017, penulis melanjutkan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Universitas Lampung, Jurusan Teknik Sipil. Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif dalam organisasi HIMATEKS (Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil) Universitas Lampung sebagai anggota Departemen Advokasi pada periode 2018 – 2019 dan periode 2019 – 2020. Pada tahun 2020 penulis menjadi Ketua Pelaksana pada program kerja tingkat nasional terbesar HIMATEKS, yaitu The 6th Civil Brings Revolution yang bertema “*Build Your Nation for Your Generation*”.

Pada tahun 2020 penulis mengikuti KKN (Kuliah Kerja Nyata) di kelurahan Tj. Seneng selama 40 hari periode II, Juli – Agustus 2020. Penulis juga melaksanakan Kerja Praktik di Proyek Pembangunan Apartemen DeKost Bogor selama 3 bulan dimulai dari 01 Oktober 2020 hingga 01 Desember 2020. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul “Pengaruh Fiber *Polypropylene* Terhadap Sifat Mekanik Plat Ferosemen”

PERSEMBAHAN

Salam sejahtera untuk kita semua, puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT karena berkat-Nya skripsi ini dapat terselesaikan. Semoga skripsi ini dapat memberi manfaat baik bagi penulis sendiri maupun orang lain.

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

Orangtuaku tercinta, Bapak Drs. Rajo Amril dan Ibu Eni Artika. Serta ketiga saudara kandungku Abdul Bagas Amril, S.H., Habilurrahman Al-Qozie dan Suci Hazikhah Khairulnisa. Yang selalu mendoakan, mendukung, memberi kasih sayang dan menjadi penyemangat suka maupun duka.

Dosen Pembimbing, dosen penguji dan seluruh dosen Teknik Sipil Universitas Lampung yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu baik akademis maupun non-akademis.

Sahabat-sahabat rekan seperjuangan Teknik Sipil Angkatan 2017, yang selalu memberikan dukungan moral serta pengalaman-pengalaman yang tidak dapat dilupakan selama masa kuliah.

MOTTO

“Barang siapa yang bersyukur maka akan ku tambah (nikmatmu), akan tetapi barang siapa yang kufur maka sesungguhnya siksa-Ku sangatlah pedih”

(QS. Ibrahim : 7)

“Orang yang berkata jujur mendapatkan 3 hal : Kepercayaan, cinta, dan rasa hormat”

(Ali bin Abi Thalib)

“Duduklah bersama orang-orang yang mencintai Allah SWT. Itu karena bergaul bersama orang seperti mereka akan mencerahkan pikiran”

(Umar bin Khattab)

“Sesungguhnya shalat itu mencegah dari perbuatan-perbuatan keji dan mungkar”

(QS. Al-Ankabut : 45)

“Jagalah shalatmu. Karena ketika kamu kehilangannya, kamu akan kehilangan yang lainnya”

(Umar bin Khattab)

“Barang siapa yang memperbanyak istigfar dosanya akan diampuni, dimudahkan segala urusannya, dan diberikan rezeki dari jalan yang tidak disangka-sangka”

(Riwayat Abu Daud)

SANWACANA

Puja dan puji syukur kepada Allah SWT karena berkat nikmat dan rahmat-Nya penulis bisa menuntaskan skripsi yang berjudul "*Pengaruh Fiber Polypropylene Terhadap Sifat Mekanik Plat Fero semen*". Skripsi ini dibuat untuk menyelesaikan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik karena bimbingan, bantuan, saran, nasehat, serta perhatian dari banyak pihak. Pada momen ini penulis ingin mengucapkan terima kasih dan apresiasi yang setulus-tulusnya kepada :

1. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku kepala Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung
3. Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil atas bantuannya dalam bidang akademik selama proses penyelesaian skripsi ini.
4. Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing 1 atas segala ilmu, nasehat, saran, serta masukan dari akademis maupun moral yang sangat bermanfaat bagi penulis sehingga skripsi ini lebih bermakna dan berarti.
5. Ir. Vera A. Noorhidana., S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing 2 atas segala ilmu, nasehat, saran, serta masukannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
6. Dr. Eng. Ir. Ratna Widyawati, S.T., M.T.IP.M., ASEAN Eng., selaku Dosen Penguji atas segala masukan, kritik, serta saran yang sangat bermanfaat bagi penulis sehingga skripsi ini menjadi lebih sempurna.

7. Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memotivasi dan memberikan nasehat kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.
8. Seluruh dosen Program Studi S1 Teknik Sipil atas segala ilmu yang sudah diberikan.
9. Kedua orangtuaku, Bapak Drs. Rajo Amril dan Ibu Eni Artika, yang selalu mendoakan, mendukung, memberi kasih sayang dan menjadi penyemangat suka maupun duka.
10. Semua saudara kandungku, Abdul Bagas Amril, S.H., Habilurrahman Al-Qozie dan Suci Hazikhah Khairulnisa, yang selalu memberikan *support* dan kasih sayang.
11. Keluarga Besar Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2017, yang berjuang Bersama dan berbagi pengalaman, terima kasih atas solidaritas kalian.
12. Semua pihak yang telah membantu dengan tulus yang tidak bisa disebutkan satu per satu. Semoga segala kebaikan dan bantuan yang diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah SWT.

Penulis mengetahui bahwa skripsi ini masih belum sempurna, tetapi besar harapan penulis semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat dalam bidang konstruksi dan teknik sipil.

Bandar Lampung, 26 Juli 2023
Penulis,



Gerry Adam Nabil
NPM. 1715011037

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	vi
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Ferosemen	5
2.1.1 Sifat Mekanik dan Sifat Fisik Ferosemen	6
2.1.2 Bahan Pembentuk Ferosemen	6
2.2. Beton Fiber.....	10
2.3. Fiber <i>Polypropylene</i>	11
2.4. Penelitian Terdahulu	12
2.5. Pengujian Kuat Tekan.....	14
2.6. Pengujian Kuat Lentur	15
2.1.1 Pengujian Kuat Lentur Pembebanan 1 Titik	15
2.1.2 Pengujian Kuat Lentur Pembebanan 2 Titik	16
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Umum	19
3.2. Bahan	19
3.2.1 Semen PCC (<i>Portland Composite Cement</i>)	19
3.2.2 Agregat Halus (Pasir).....	20
3.2.3 Air	20
3.2.4 Tulangan dan Jaring Kawat (<i>Wiremesh</i>).....	20
3.2.5 Fiber atau Serat	21

3.3. Peralatan.....	22
3.3.1 <i>Digital Compression Testing Machine (CTM)</i>	22
3.3.2 Cetakan Benda Uji	22
3.3.3 <i>Dial Gauge</i>	23
3.3.4 Oven	24
3.3.5 Mesin Pengaduk Beton (<i>Concrete Mixer</i>)	24
3.3.6 Timbangan.....	25
3.3.7 Bak Perendam	25
3.3.8 Palu Karet.....	26
3.3.9 Alat Bantu Tambahan	26
3.4. Benda Uji	27
3.4.1 Benda Uji Plat Ferosemen.....	27
3.4.2 Benda Uji Mortar Ferosemen.....	29
3.5. Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	30
3.5.1 Persiapan Bahan dan Peralatan	30
3.5.2 Pemeriksaan Bahan dan Peralatan	30
3.5.3 Persiapan dan Pembuatan Cetakan Benda Uji	34
3.5.4 Perencanaan Campuran Benda Uji.....	34
3.5.5 Pembuatan Benda Uji.....	35
3.5.6 Perawatan Benda Uji.....	39
3.5.7 Pengujian Benda Uji	40
3.5.8 Analisis Hasil Pengujian Benda Uji.....	45
3.6. Diagram Alir Penelitian	46

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum	47
4.2. Hasil Pemeriksaan Bahan	47
4.3. Komposisi Campuran Benda Uji	49
4.4. Kuat Tekan.....	49
4.5. Kuat Lentur Pembebanan 1 Titik.....	54
4.6. Kuat Lentur Pembebanan 2 Titik.....	58
4.6.1 Hasil Pengujian Eksperimental	58
4.6.2 Hubungan Beban-Lendutan	62
4.6.3 Analisis Teoritis	65
4.6.4 Hubungan <i>Volume Fraction</i> (V_r).....	70

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	72
5.2. Saran	73

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A (Pemeriksaan Bahan)

LAMPIRAN B (Komposisi Campuran Benda Uji)

LAMPIRAN C (Hasil Perhitungan)

LAMPIRAN D (Spesifikasi Fiber *Polypropylene*)

LAMPIRAN E (Surat Keputusan Dosen & Lembar Asistensi)

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Jenis/tipe jaring kawat (<i>wiremesh</i>)	10
2. Pengujian kuat tekan mortat	14
3. Pengujian kuat lentur dengan pembebanan 1 titik	15
4. Pengujian kuat lentur dengan pembebanan 2 titik	16
5. Diagram lintang dan momen dengan pembebanan 2 titik	16
6. PCC (<i>Portland Composite Cement</i>) dengan merek dagang Batu Raja dalam kemasan sak berukuran 50 kg	19
7. Pasir	20
8. Tulangan dan Jaring Kawat (<i>Wiremesh</i>).....	21
9. Fiber <i>Polypropylene</i> dengan merek dagang Sika	21
10. <i>Digital Compression Testing Machine (CTM)</i>	22
11. Cetakan benda uji (a) plat ferosemen, (b) mortar ferosemen	23
12. <i>Dial gauge</i>	23
13. Oven.....	24
14. <i>Concrete Mixer</i>	24
15. Timbangan	25
16. Bak perendam	25
17. Palu karet	26
18. Benda uji plat ferosemen ukuran 240 mm x 60 mm x 25 mm	27
19. Detail penulangan benda uji plat ferosemen.....	28

20.	Benda uji mortar ferosemen ukuran 160 mm x 40 mm x 40 mm.....	29
21.	Benda uji setelah pengujian	32
22.	Benda uji jaring kawat (<i>wiremesh</i>).....	33
23.	Alat uji dan skema pengujian jaring kawat.....	33
24.	Persiapan cetakan benda uji (a) pembuatan cetakan plat ferosemen, (b) membersihkan cetakan mortar ferosemen.....	34
25.	Menimbang bahan-bahan (a) pasir, (b) semen, (c) fiber	35
26.	Pencampuran bahan	36
27.	Menambahkan fiber <i>polypropylene</i>	37
28.	Meletakkan jaring kawat dan tulangan	37
29.	Memasukkan campuran mortar	38
30.	Pemadatan dengan palu karet	38
31.	Melepaskan cetakan.....	39
32.	Perawatan benda uji (<i>curing</i>).....	39
33.	Skema pengujian kuat tekan dengan luas tekan 40 mm x 40 mm	40
34.	Skema pengujian kuat lentur pembebanan 1 titik.....	41
35.	Skema perletakan pada pengujian kuat lentur pembebanan 1 titik.....	42
36.	Skema pengujian kuat lentur pembebanan 2 titik.....	43
37.	Skema perletakan pada pengujian kuat lentur pembebanan 2 titik.....	44
38.	Diagram alir penelitian	46
39.	Grafik hubungan antara variasi PPF dan pengujian kuat tekan mortar ferosemen.....	51
40.	Pengujian kuat tekan mortar ferosemen.	51
41.	Hasil pengujian kuat tekan pada benda uji mortar ferosemen PPF 0%	53
42.	Hasil pengujian kuat tekan pada benda uji mortar ferosemen PPF 1%	53
43.	Hasil pengujian kuat tekan pada benda uji mortar ferosemen PPF 2%	53

44.	Grafik hubungan antara variasi PPF pengujian kuat lentur pembebanan 1 titik mortar ferosemen.....	55
45.	Pengujian kuat lentur pembebanan 1 titik mortar ferosemen	55
46.	Hasil pengujian kuat lentur 1 titik pembebanan pada benda uji mortar ferosemen PPF 0%	57
47.	Hasil pengujian kuat lentur 1 titik pembebanan pada benda uji mortar ferosemen PPF 1%	57
48.	Hasil pengujian kuat lentur 1 titik pembebanan pada benda uji mortar ferosemen PPF 2%	57
49.	Grafik hubungan antara variasi PPF pengujian pembebanan 2 titik benda uji plat ferosemen 2 lapis jarang kawat.....	59
50.	Pengujian kuat lentur pembebanan 2 titik plat ferosemen.....	60
51.	Grafik hubungan antara beban-lendutan benda uji plat ferosemen	62
52.	Hasil pengujian 2 titik pembebanan pada benda uji PLT.0%.2.A.....	63
53.	Hasil pengujian 2 titik pembebanan pada benda uji PLT.0%.2.B	63
54.	Hasil pengujian 2 titik pembebanan pada benda uji PLT.0%.4.A.....	63
55.	Hasil pengujian 2 titik pembebanan pada benda uji PLT.0%.4.B	64
56.	Hasil pengujian 2 titik pembebanan pada benda uji PLT.1%.2.A.....	64
57.	Hasil pengujian 2 titik pembebanan pada benda uji PLT.1%.2.B	64
58.	Hasil pengujian 2 titik pembebanan pada benda uji PLT.2%.2.A.....	65
59.	Hasil pengujian 2 titik pembebanan pada benda uji PLT.2%.2.B	65
60.	Detail benda uji plat ferosemen menggunakan <i>wiremesh</i> dan tulangan.....	66
61.	Detail benda uji plat ferosemen menggunakan <i>wiremesh</i>	66
62.	Grafik hubungan antara beban maksimum dan <i>volume fraction</i> benda uji plat ferosemen.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi bahan dan penulangan pembentuk ferosemen.....	7
2. Spesifikasi gradasi pasir (ASTM C-33).....	8
3. Sifat-sifat dasar jenis fiber yang umumnya digunakan.....	11
4. Hasil uji kuat tekan dan uji kuat lentur pada penelitian Usman dkk	13
5. Variasi benda uji plat ferosemen	28
6. Variasi benda uji mortar ferosemen.....	29
7. Benda uji kuat tekan mortar ferosemen	30
8. Parameter benda uji (satuan mm)	31
9. Hasil pemeriksaan bahan (agregat halus)	48
10. Hasil pemeriksaan bahan (tulangan).....	48
11. Hasil pemeriksaan bahan (jaring kawat).....	48
12. Komposisi campuran benda uji per 1 m ³	49
13. Hasil pengujian dan perhitungan kuat tekan mortar ferosemen	50
14. Hasil pengujian dan perhitungan kuat lentur pembebanan 1 titik	54
15. Hasil pengujian dan perhitungan beban maksimum pembebanan 2 titik plat ferosemen tanpa tulangan	58
16. Hasil pengujian dan perhitungan beban maksimum pembebanan 2 titik plat ferosemen dengan tulangan	59
17. Hasil perhitungan dan perbandingan teoritis dan eksperimen	69
18. Hasil perhitungan <i>volume fraction</i>	71

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Material yang paling banyak digunakan sebagai bahan konstruksi adalah beton, karena memiliki karakteristik material yang handal dalam segi kekuatan, serta mudah dalam pekerjaan dan pengaplikasiannya. Namun demikian beton memiliki beberapa kekurangan, diantaranya ialah beton bersifat getas dan lemah terhadap kuat tarik sehingga mudah retak. Untuk mengatasi berbagai kelemahan tersebut, maka penggunaan beton pada suatu struktur harus dikombinasikan dengan baja tulangan sehingga struktur beton menjadi daktail. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, terdapat material substitusi untuk struktur beton yang lebih efisien dan ekonomis, yaitu ferosemen. Teknologi ferosemen saat ini mulai diteliti untuk dikembangkan, sehingga memberikan inovasi terbaru di dunia industri beton sebagai bahan alternatif pengganti beton.

Ferosemen adalah konstruksi beton bertulang tipis, terbuat dari campuran pasir dan semen hidrolis dengan penulangan kawat jala berdiameter kecil berlapis-lapis dan menerus diseluruh bagian strukturnya [1]. Struktur ferosemen yang menyerupai pelat tipis membuatnya mudah dibentuk sesuai dengan keperluan perencanaannya [2]. Ferosemen memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan struktur beton bertulang, ditinjau dari sifat mekaniknya ferosemen memiliki sifat-sifat seragam dalam dua arah, umumnya memiliki kuat tarik dan kuat lentur yang tinggi, proses retak dan perluasan retak yang berbeda pada beban tarik, memiliki ratio tulangan yang tinggi, daktilitas meningkat sejalan dengan peningkatan rasio tulangan,

memiliki sifat kedap air yang tinggi, serta tahan terhadap beban kejut. Ferosemen memiliki kekurangan, yaitu lemah terhadap temperatur tinggi, serta proses pembuatan harus sangat diperhatikan. Ferosemen memiliki sifat fisik, yaitu struktur ferosemen memiliki ketebalan yang rendah (tipis), dengan adanya *mesh* tulangan terdistribusi, penulangan utama dalam dua arah, dan matriksnya hanya merupakan campuran agregat halus (pasir), semen, dan air [3]. Sifat dan kekuatan ferosemen dipengaruhi oleh ukuran tulangan, kekuatan mortar, kekakuan bentuk struktur, cara pembuatan dan pengolahannya [4].

Bahan penyusun atau pembentuk ferosemen pada umumnya dapat dibagi menjadi dua komponen utama, yaitu matriks dan tulangan. Matriks adalah bahan pengikat semen hidrolis serta mengandung agregat halus, pada umumnya disebut dengan mortar. Matriks memiliki fungsi untuk mengendalikan susut, menetapkan waktu dan meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Matriks terdiri dari semen *portland*, agregat halus (pasir), air, lapisan kawat jala (*wiremesh*) dan bahan tambah (*admixtures*). Komponen utama lainnya yaitu tulangan untuk ferosemen, umumnya digunakan untuk penulangan rangka.

Ferosemen telah banyak diimplementasikan pada beberapa bangunan yang ada di wilayah Indonesia. Aplikasi tersebut diawali dengan penerapan teknologi ferosemen di bidang struktur laut (*marine structures*) ataupun pembuatan kapal [5]. Seiring dengan penerapan ilmu pengetahuan, penerapan ferosemen telah banyak dilakukan pada berbagai bidang seperti bangunan rumah, bangunan monumental dan struktur irigasi. Contoh penerapan teknologi ferosemen ialah bangunan monumental yang ada di wilayah Indonesia, yaitu gerbang utama Kebun Binatang Ragunan di Jakarta dan Menara Siger di Bakauheni, Lampung Selatan. Selain pada bangunan monumental, penerapan teknologi ferosemen juga dilakukan pada bangunan rumah, diantaranya yaitu pembuatan rumah ferosemen oleh Masdar Helmi dan tim UNILA.

Beton fiber atau yang lebih dikenal dengan beton serat adalah beton yang dalam proses pembuatannya ditambahkan bahan fiber (berserat). Penambahan fiber pada beton juga dapat meningkatkan daktilitas beton dari sifat yang getas menjadi lebih daktil [6]. Tujuan utama penambahan fiber ke dalam beton yaitu untuk menambah kuat tarik beton, menambah daktilitas dan menambah ketahanan terhadap retak. Kuat tarik beton yang rendah mengakibatkan beton mudah retak, sehingga air lebih mudah masuk ke dalam beton dan akan mengurangi keawetan beton [7]. Penggunaan fiber yang terlalu banyak akan mengurangi kecacakan beton yang sangat drastis, pengerjaan pemadatan beton akan lebih sulit dan menimbulkan banyak rongga udara di dalam beton, serta dapat mengakibatkan *balling*, yaitu fiber akan saling berkaitan dan membentuk *air void* atau rongga udara sehingga dapat mengurangi kekuatan beton [8].

Penambahan fiber dalam campuran mortar atau beton dapat mengubah sifat kehancurannya menjadi lebih daktil. Mortar dengan tambahan fiber berpotensi digunakan juga pada struktur fero semen. Meskipun dalam struktur fero semen sudah dipasang kawat jala, keberadaan fiber dalam campuran mortar mampu mempengaruhi sifat fero semen.

Dikarenakan belum banyak literatur dan penelitian tentang pengaruh fiber *polypropylene* dalam struktur fero semen, maka penulis perlu melakukan penelitian untuk menganalisis dampak fiber *polypropylene* terhadap sifat mekanik plat dan mortar fero semen.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana efek fiber *polypropylene* terhadap kuat lentur mortar fero semen?
2. Bagaimana efek fiber *polypropylene* terhadap kuat tekan mortar fero semen?

3. Bagaimana efek fiber *polypropylene* terhadap kuat lentur plat ferosemen?

1.3. Batasan Masalah

Untuk menghindari penyimpangan pembahasan dari masalah-masalah yang telah diuraikan di atas, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Mortar yang digunakan sebagai bahan utama pembentuk ferosemen dibuat dari campuran semen, pasir dan air.
3. Fiber yang digunakan dalam penelitian ini ialah fiber *polypropylene*.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis efek fiber *polypropylene* terhadap kuat lentur mortar ferosemen.
2. Menganalisis efek fiber *polypropylene* terhadap kuat tekan mortar ferosemen.
3. Menganalisis efek fiber *polypropylene* terhadap kuat lentur plat ferosemen.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui efek fiber pada sifat mekanik mortar dan plat ferosemen.
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan struktur ferosemen.
3. Sebagai referensi untuk dikembangkan dalam penelitian lebih lanjut.
4. Mengembangkan ilmu pengetahuan tentang teknologi ferosemen sebagai alternatif pada konstruksi beton bertulang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fero semen

Fero semen adalah konstruksi beton bertulang tipis yang dibuat dari campuran pasir dan semen hidrolis dengan penulangan kawat jala berdiameter kecil berlapis-lapis dan menerus diseluruh bagian strukturnya [1]. Lapisan jala tersebut dapat terbuat dari bahan metal atau bahan lain yang cocok untuk digunakan sesuai dengan ketentuan dan peraturan yang berlaku. Fero semen mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan bahan konstruksi yang lain, terutama dengan struktur beton bertulang [7]. Keunggulan fero semen adalah sebagai berikut:

- Bahan dasar untuk membuat fero semen mudah didapatkan.
- Struktur yang dibuat dari fero semen tipis dan ringan [9].
- Akibat berat sendiri yang lebih ringan maka sangat memungkinkan untuk dibuat fabrikasi.
- Cara pengerjaannya sederhana.
- Penghematan bahan cetakan dapat dilakukan.
- Jika mengalami kerusakan, perbaikan fero semen mudah untuk dilakukan.

Struktur fero semen di wilayah Indonesia diawali dengan penerapan di bidang struktur laut (*marine structures*) ataupun pembuatan kapal [5]. Seiring dengan penerapan ilmu pengetahuan, penerapan struktur fero semen telah banyak dilakukan pada berbagai bidang seperti bangunan rumah, bangunan monumental dan struktur irigasi.

2.1.1 Sifat Mekanik dan Sifat Fisik Fero semen

Fero semen memiliki sifat-sifat seragam dalam dua arah, umumnya memiliki kuat tarik dan kuat lentur yang tinggi, proses retak dan perluasan retak yang berbeda pada beban tarik, memiliki ratio tulangan yang tinggi, daktilitas meningkat sejalan dengan peningkatan rasio tulangan, memiliki sifat kedap air yang tinggi, serta tahan terhadap beban kejut. Fero semen memiliki kekurangan, yaitu lemah terhadap temperatur tinggi, serta proses pembuatan harus sangat diperhatikan. Sifat fisik fero semen yaitu ketebalan yang rendah (tipis), dengan adanya *mesh* tulangan terdistribusi, penulangan utama dalam dua arah dan matriksnya hanya merupakan campuran agregat halus (pasir), semen dan air [3]. Sifat dan kekuatan fero semen dipengaruhi oleh ukuran tulangan, kekuatan mortar, kekakuan bentuk struktur, serta cara pembuatan struktur fero semen tersebut [4].

2.1.2 Bahan Pembentuk Fero semen

Bahan penyusun atau pembentuk fero semen pada umumnya dapat dibagi menjadi dua komponen utama, yaitu matriks dan tulangan. Matriks adalah bahan pengikat semen hidrolis serta mengandung agregat halus, yang pada umumnya disebut dengan mortar. Matriks memiliki fungsi untuk mengendalikan susut, menetapkan waktu, dan meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Matriks terdiri dari semen *portland*, agregat halus (pasir), air, lapisan kawat jala (*wiremesh*) dan bahan tambah (*admixtures*). Komponen utama lainnya yaitu tulangan, yang digunakan untuk penulangan rangka.

Tabel 1. Komposisi bahan dan penulangan pembentuk fero semen

Sifat	Uraian	Keterangan
Penulangan kawat anyam	Jenis kawat	Segi 4, heksagonal, wajik
	Jarak garis tengah	0,5 mm – 1,5 mm
	Jarak bukaan kawat	6,0 mm – 25 mm
	Jumlah lapisan	Maksimal 5 lapis / cm tebal
Penulangan rangka	Jenis rangka	Kawat, besi beton
	Jarak garis tengah	3 mm – 10 mm
	Jarak penulangan	4 cm – 10 cm
Komposisi mortar	Jenis semen <i>portland</i>	Disesuaikan tujuan pemakaian
	Semen : pasir	Perbandingan berat (1 – 2,5)
	Air : semen (W/C)	Perbandingan berat (0,35 – 0,65)

Sumber: Djausal [4].

2.1.1.1 Mortar

Mortar terdiri dari semen *portland*, agregat halus (pasir), air dan bahan tambah (*admixtures*). Mortar mempunyai pengaruh yang besar pada sifat mekanik fero semen [3]. Komposisi yang dianjurkan untuk mortar fero semen mempunyai perbandingan berat semen terhadap pasir antara 1 sampai dengan 2,5 dan perbandingan berat air terhadap semen antara 0,35 sampai dengan 0,6 [1].

2.1.2.2 Semen PCC (*Portland Composite Cement*)

Semen PCC adalah bahan pengikat hidrolisis hasil penggilingan bersama-sama bubuk semen *portland* dan *gypsum* dengan satu atau lebih bahan anorganik. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), *pozzolan*, senyawa silicat, batu kapur dengan kadar total bahan anorganik 6% – 35% dari massa semen *portland* komposit. Semen jenis PCC memiliki sifat tahan terhadap serangan sulfat, mempunyai panas hidrasi rendah sampai sedang dan kekuatan tekan awal kurang, akan tetapi kekuatan akhir lebih tinggi. Kegunaan dari semen PCC ini adalah bahan pengikat untuk konstruksi beton umum,

pasangan batu bata, beton pra cetak, *paving block*, plesteran, acian dan sebagainya. Semen pembentuk mortar ferosemen harus bersih, seragam, bebas dari gumpalan dan benda asing [1]. Semen harus disimpan pada kondisi yang kering untuk durasi waktu yang sependek mungkin.

2.1.2.3 Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus atau pasir adalah batuan yang ukurannya $\leq 4,75$ mm [12]. Agregat halus (pasir) adalah agregat biasa yang umumnya digunakan pada ferosemen dan harus mengikuti standar ASTM C-33 (untuk agregat halus) atau standar yang setara. Agregat halus harus dalam kondisi bersih, bebas dari bahan organik dan substansi pengganggu, secara relatif bebas dari lumpur dan tanah, serta agregat yang dapat bereaksi dengan alkali dalam semen harus dihindari [1].

Tabel 2. Spesifikasi gradasi pasir (ASTM C-33)

Ayakan Nomor	Persentase Lewat (%)
3/8 in (9,50 mm)	100
no. 4 (4,75 mm)	95 - 100
no. 8 (2,36 mm)	80 - 100
no. 16 (1,18 mm)	50 - 85
no. 30 (0,6 mm)	25 - 60
no. 50 (0,3 mm)	10 - 30
no. 100 (0,15 mm)	2- 10

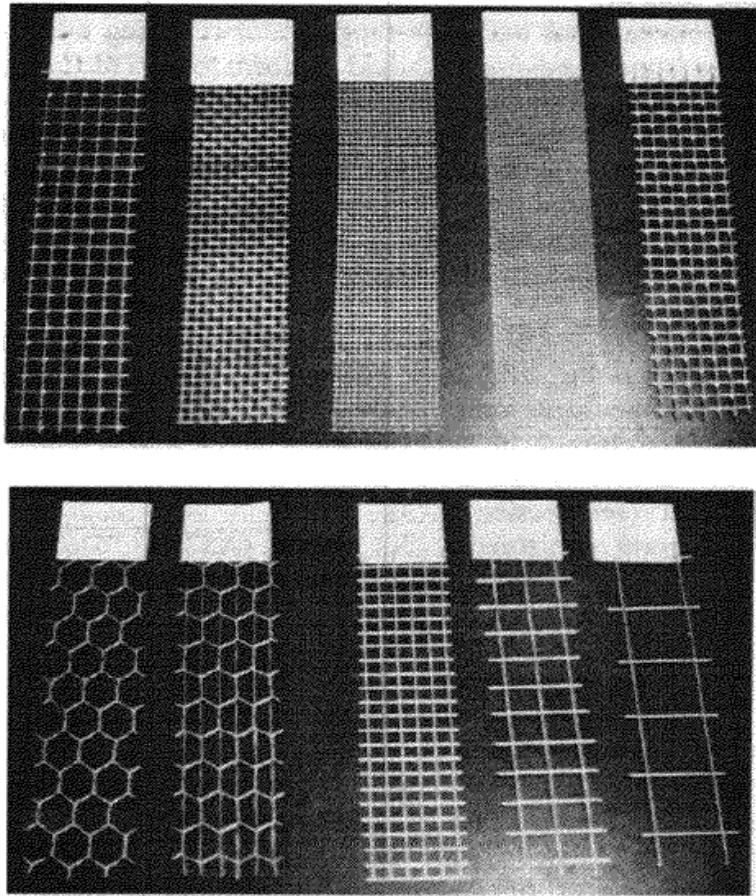
2.1.2.4 Air

Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang digunakan dapat air tawar, air laut maupun air limbah, asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat dikonsumsi umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton/mortar, dan sangat disarankan untuk menggunakan air yang bersih, segar, dan dapat

dikonsumsi [10]. Air yang digunakan harus bebas dari bahan organik, lumpur, minyak, gula, klorida dan bahan bersifat asam. Air yang digunakan harus mempunyai $\text{pH} \geq 7$ untuk meminimalkan penurunan pH dalam adukan mortar. Air garam tidak diperbolehkan, tetapi air minum yang berklorinasi dapat digunakan [1].

2.1.2.5 Tulangan dan Jaring Kawat (Wiremesh)

Jaring kawat adalah sejenis jaringan berupa kawat yang memiliki diameter relatif lebih kecil. Perbedaan ferosemen dengan beton bertulang adalah ferosemen hanya menggunakan agregat halus dan penulangan kawat yang lebih kecil dan halus (0,5 mm – 1,5 mm) [4]. Pada struktur ferosemen, tulangan dipasang secara tersusun dan jaring kawat (*wiremesh*) dipasang secara merata dalam beberapa lapisan. Jaring kawat tersebut bisa berupa kawat baja, kawat jala atau bahan lain yang sesuai kebutuhan [1]. Sifat mekanik ferosemen tergantung pada tipe, jumlah lapisan, arah dan kekuatan daripada jaring kawat atau *wiremesh* [4]. Ada beberapa jenis/tipe jaring kawat atau *wiremesh*, umumnya jaring kawat yang digunakan untuk ferosemen memiliki bentuk heksagonal (segi enam) atau persegi. Secara struktural jaring yang berbentuk persegi lebih efisien daripada jaring yang berbentuk heksagonal.



Gambar 1. Jenis/tipe jaring kawat (*wiremesh*).
Sumber: ACI Committee 549 [1].

2.2. Beton Fiber

Penggunaan fiber sebagai bahan tambah dalam campuran beton dapat mengurangi keretakan yang terlalu dini di daerah tarik akibat pengaruh pembebanan [11]. Penggunaan fiber yang terlalu sedikit tidak menghasilkan efek yang baik terhadap struktur ferosemen, jika terlalu banyak akan mengurangi kecacakan ferosemen dengan sangat drastis. Ferosemen akan sulit dipadatkan dan banyak rongga udara yang terjebak di dalamnya. Berikut merupakan perbaikan yang dialami ferosemen jika ditambahkan fiber pada campuran mortar:

- Kuat tarik meningkat
- Penyusutan berkurang
- Ketahanan terhadap beban kejut meningkat

- Perbaikan kuat tarik dan daktilitas meningkat
- Ketahanan terhadap kelelahan

ACI Committee 544 [12] mengklasifikasikan tipe dan jenis fiber yang dapat digunakan dalam campuran beton. Secara umum terbagi menjadi empat yaitu:

- SFRC (*Steel Fiber Reinforced Concrete*)
- GFRC (*Glass Fiber Reinforced Concrete*)
- SNFRC (*Synthetic Fiber Reinforced Concrete*)
- NFRC (*Natural Fiber Reinforced Concrete*)

Tabel 3. Sifat-sifat dasar jenis fiber yang umumnya digunakan

Serat	Berat Jenis	Sifat
Baja	7,86	Memiliki kekuatan dan modulus elastisitas yang relatif tinggi, tetapi bersifat korosif
Gelas	2,70	Memiliki kuat tarik yang relatif tinggi, kepadatan rendah dan modulus elastisitas tinggi. Mempunyai harga beli yang lebih tinggi
Polimer	0,91	Memilik kuat tarik yang tinggi tetapi modulus elastisitas rendah, daya lekat dengan semen rendah, mudah terbakar dan titik lelehnya rendah.

Sumber: Soroushian & Bayasi (1987).

2.3. Fiber *Polypropylene*

Pada penelitian ini, fiber yang digunakan ialah fiber *polypropylene*. Fiber *polypropylene* adalah sejenis fiber plastik yang diproduksi khusus dengan teknologi tinggi. *Polypropylene* merupakan senyawa hidrokarbon dengan rumus kimia $(C_3H_6)_n$ berupa jaringan serabut tipis yang berbentuk jala dengan

ukuran panjang 6 mm – 50 mm dan memiliki diameter 8 – 90 mikron. Material ini berbentuk filamen-filamen yang ketika dicampurkan dalam adukan ferosemen akan terurai. Fiber jenis ini dapat meningkatkan kuat tarik lentur dan tekan beton [13]. Selain meningkatkan kuat tarik lentur dan tekan beton, keuntungan penggunaan fiber *polypropylene* dalam campuran beton ialah:

- Memperbaiki daya ikat matriks beton pada saat *pre – hardening stage*, sehingga dapat mengurangi keretakan akibat penyusutan.
- Memperbaiki ketahanan terhadap kikisan.
- Memperbaiki ketahanan terhadap tumbukan.
- Memperbaiki ketahanan terhadap air.
- Memperbaiki ketahanan terhadap bahan kimia.
- Memperbaiki keawetan beton.

2.4. Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang dilakukan Usman dkk [14], dengan dimensi benda uji berukuran 240 mm x 60 mm x 25 mm, variasi *Polypropylene Fiber* (PPF) sebesar 0%, 1% dan 1,5%, serta dengan variasi jumlah lapisan kawat jala sebanyak 2 lapis, 4 lapis dan 6 lapis. Untuk variasi PPF 0%, nilai kuat tekan sebesar 32,01 MPa, variasi PPF 1% nilai kuat tekan sebesar 13,61 MPa dan 11,54 MPa untuk variasi PPF 1,5%. Dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan pada benda uji akan terus berkurang seiring dengan bertambahnya *volume fraction* dari *Polypropylene Fiber* (PPF).

Pengujian kuat lentur dengan variasi PPF 0%, 54,24 MPa untuk variasi 2 lapis kawat jala, 101,02 MPa untuk variasi 4 lapis kawat jala dan 254,07 MPa untuk variasi 6 lapis kawat jala. Pengujian kuat lentur dengan variasi PPF 1%, 77,34 MPa untuk variasi 2 lapis kawat jala, 201,64 MPa untuk variasi 4 lapis kawat jala dan 415,93 MPa untuk variasi 6 lapis kawat jala. Pengujian kuat lentur dengan variasi PPF 1,5%, 56,20 MPa untuk variasi 2 lapis kawat jala, 190,11 MPa untuk variasi 4 lapis kawat jala dan 443,34 MPa untuk variasi 6 lapis

kawat jala. Dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan dan kuat lentur pada benda uji akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya *volume fraction* dari *Polypropylene Fiber* (PPF).

Pada penelitian yang dilakukan Usman dkk [15], dengan variasi *Polypropylene Fiber* (PPF) sebesar 0%, 0,3%, 0,6% dan 0,9%. Serta dengan variasi jaring kawat 2 lapis, 4 lapis dan 6 lapis. Dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat lentur, berikut merupakan hasil uji kuat tekan dan kuat lentur berdasarkan penelitian yang dilakukan Usman dkk.

Tabel 4. Hasil pengujian pada penelitian Usman dkk [15]

Vf PPF	Kuat Tekan	Variasi Jaring Kawat	Kuat Lentur
0%	17,6 MPa	2 Lapis	4,16 MPa
		4 Lapis	7,75 MPa
		6 Lapis	11,82 MPa
0,3%	7,2 MPa	2 Lapis	6,76 MPa
		4 Lapis	8,61 MPa
		6 Lapis	12,08 MPa
0,6%	6,8 MPa	2 Lapis	7,61 MPa
		4 Lapis	10,23 MPa
		6 Lapis	12,75 MPa
0,9%	3,9 MPa	2 Lapis	1,67 MPa
		4 Lapis	5,87 MPa
		6 Lapis	8,03 MPa

Sumber: Usman dkk [15].

Dilihat dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa setiap penambahan 0,3% dari *volume fraction* PPF kedalam benda uji, dapat menurunkan nilai kuat tekan dari benda uji ferosemen. Selain itu dari hasil penelitian yang dilakukan, penambahan PPF dan lapisan jaring kawat dapat meningkatkan nilai kuat lentur dari benda uji ferosemen.

2.5. Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan adalah gaya maksimum per satuan luas yang bekerja pada benda uji. Menurut SNI 1974 : 2011 [16], untuk menghitung kuat tekan dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

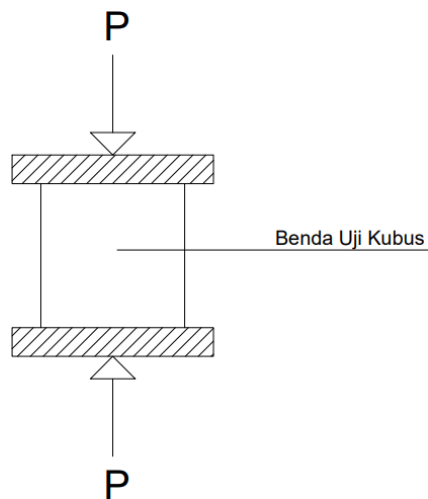
$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

keterangan:

f_c = Kuat tekan beton (MPa)

P = Gaya tekan maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)



Gambar 2. Pengujian kuat tekan mortar

2.6. Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur adalah beban-beban yang bekerja pada struktur, baik yang berupa beban gravitasi (arah vertikal) maupun beban-beban lain, seperti beban angin (dapat berarah horizontal), beban karena susut dan beban karena perubahan temperatur, menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur.

2.6.1 Pengujian Kuat Lentur Pembebanan 1 Titik

Berdasarkan SNI 4154 : 2014 [17], nilai kuat lentur dengan pembebanan 1 titik dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \dots\dots\dots (2)$$

keterangan:

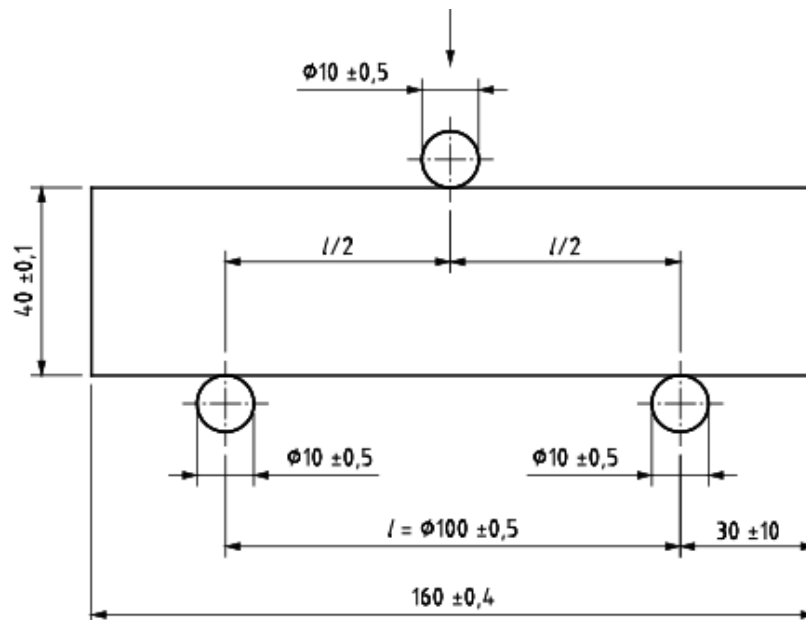
σ = Kuat lentur (MPa)

P = Beban maksimum (N)

L = Panjang bentang (mm)

b = Lebar rata-rata spesimen pada daerah runtuh (mm)

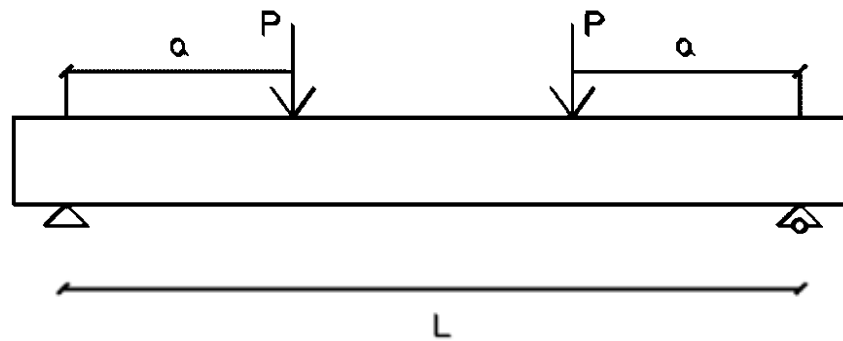
h = Tinggi rata-rata spesimen pada daerah runtuh (mm)



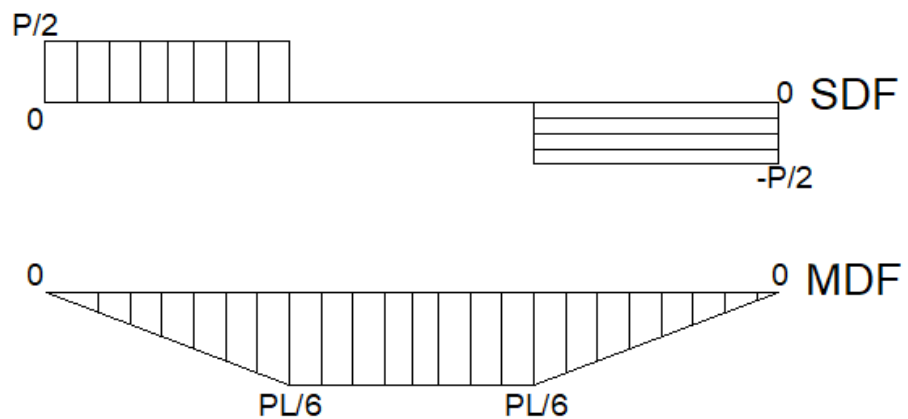
Gambar 3. Pengujian kuat lentur dengan pembebanan 1 titik.
Sumber: BS EN 1015-11 : 2019 [18].

2.6.2 Pengujian Kuat Lentur Pembebanan 2 Titik

Hasil dari pengujian pembebanan 2 titik adalah beban maksimum, kemudian mencari nilai momen lentur nominal secara eksperimen, setelah itu dibandingkan dengan nilai momen lentur nominal dan beban maksimum secara teoritis.



Gambar 4. Pengujian kuat lentur dengan pembebanan 2 titik.



Gambar 5. Diagram lintang dan momen dengan pembebanan 2 titik.

Momen lentur nominal dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_{\max} = \frac{P.L}{6} \dots\dots\dots (3)$$

Kemudian P (beban maksimum) dapat dipindah ruaskan sehingga membentuk rumus untuk mendapatkan nilai beban maksimum berikut ini:

$$P = \frac{M_{max} \cdot 6}{L} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

M_{max} = Momen maksimum atau momen lentur nominal (Nmm)

L = Jarak bersih perletakan (mm)

P = Beban Maksimum (N)

Menurut Naaman [19], untuk mencari nilai momen lentur nominal plat ferosemen dapat dicari menggunakan beberapa persamaan berikut:

a. Mencari luas tulangan atau *wiremesh* (Naaman [19] : 130)

$$A_{ri} = \frac{\pi d_w^2}{4} \dots\dots\dots (5)$$

b. Menentukan nilai c atau garis netral. Menurut Naaman [19] : 141, menggunakan nilai asumsi hingga mencapai $\sum C = \sum T$.

c. Menentukan nilai regangan dan tegangan (Naaman [19] : 139)

$$\epsilon_{ry} = \frac{\sigma_{ry}}{E_r} \dots\dots\dots (8)$$

$$\epsilon_{ri} = \left(\frac{d_i - c}{c} \right) \epsilon_{mu} \dots\dots\dots (9)$$

Jika $\epsilon_{ri} \leq \epsilon_{ry}$ maka $\sigma_{ri} = E_r \cdot \epsilon_{ri}$

Jika $\epsilon_{ri} \geq \epsilon_{ry}$ maka $\sigma_{ri} = \sigma_{ry}$

d. Mencari nilai gaya C (tekan) dan T (tarik) (Naaman [19] : 140)

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c \dots\dots\dots (10)$$

$$C_{ri} = (\sigma_{ri} - 0,85 \cdot f_c) A_{ri} \dots\dots\dots (11)$$

$$T_{ri} = \sigma_{ri} \cdot A_{ri} \dots\dots\dots (12)$$

e. Periksa keseimbangan kekuatan

$$\sum C = \sum T$$

f. Menghitung momen nominal (Naaman [19] : 140)

$$M_n = \sum (C_i \text{ or } T_i) \left(d_i - \frac{\beta_1 \cdot c}{2} \right) \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:

A_{ri} = Luas tulangan pada lapisan i (mm^2)

d_w = diameter wiremesh (mm)

c = garis netral (mm)

ε_{mu} = regangan ultimit mortar tekan (diasumsikan 0,003 untuk mortar dan beton)

ε_{ri} = regangan tulangan wiremesh pada lapisan i

ε_{ry} = regangan leleh nominal tulangan wiremesh

E_r = modulus elastisitas wiremesh (MPa)

σ_{ry} = tegangan luluh dari tulangan wiremesh (MPa)

σ_{ri} = tegangan luluh tulangan wiremesh pada lapisan i (MPa)

d_i = jarak dari serat tekan terluar ke titik tengah tulangan wiremesh pada lapisan i (mm)

f'_c = kuat tekan mortar (MPa)

b = lebar penampang benda uji (mm)

β_1 = faktor reduksi

C_c = gaya tekan pada blok tekan mortar (N)

C_{ri} = gaya tekan pada lapisan i (N)

T_{ri} = gaya tarik pada lapisan i (N)

M_n = momen nominal (Nmm)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung. Penelitian ini dilakukan dengan cara membuat benda uji menggunakan komposisi campuran perbandingan berat semen dan agregat halus (pasir) sebesar 1 : 2,5 dan perbandingan berat air terhadap semen (W/C) sebesar 0,35. Serta ditambahkan fiber *polypropylene* sesuai dengan volume fraksi yang telah direncanakan.

3.2. Bahan

Bahan bahan yang digunakan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

3.2.1 Semen PCC (*Portland Composite Cement*)

Semen yang digunakan pada penelitian ini yaitu *PCC (Portland Composite Cement)* dengan merek dagang Semen Batu Raja.



Gambar 6. PCC (*Portland Composite Cement*).

3.2.2 Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus atau pasir yang digunakan melalui beberapa tahap pengujian yang memenuhi standar ASTM. Pengujian yang dilakukan yaitu kadar air, berat jenis dan penyerapan, berat volume, kadar lumpur dengan penyaringan, kandungan zat organis dalam pasir dan gradasi agregat halus.



Gambar 7. Pasir.

3.2.3 Air

Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Pada penelitian ini, air yang digunakan tidak mengandung lumpur, minyak, garam dan benda-benda merusak lainnya yang dapat dilihat secara visual. Air bersih yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3.2.4 Tulangan dan Jaring Kawat (*Wiremesh*)

Tulangan yang digunakan pada penelitian ini memiliki diameter 6 mm dan dipasang di tengah secara tersusun. Sedangkan jaring kawat (*wiremesh*) pada penelitian ini berbentuk segi empat dengan diameter kawat 1 mm dan ukuran bukaan 1,125 cm x 1,125 cm.



Gambar 8. Tulangan dan Jaring Kawat (*Wiremesh*).

3.2.5 Fiber

Fiber yang digunakan ialah fiber *polypropylene*, yang berasal dari merek dagang Sika. Instruksi pengerjaan yang dianjurkan yaitu masukan fiber *polypropylene* langsung ke dalam campuran benda uji, penggunaan fiber sesuai dengan volume fraksi yang telah direncanakan. Waktu atau durasi pencampuran fiber ialah 5 menit sampai 10 menit, hal ini dilakukan agar fiber tercampur dengan rata. Berat jenis fiber *polypropylene* yaitu $0,91 \text{ g/cm}^3$ atau 910 kg/m^3 , kemampuan daya tarik fiber *polypropylene* sebesar $300 - 440 \text{ MPa}$, modulus elastisitas sebesar $6000 - 9000 \text{ MPa}$, dan titik leleh 160°C .



Gambar 9. Fiber *Polypropylene*.

3.3. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

3.3.1 *Digital Compression Testing Machine (CTM)*

Alat yang digunakan pada pengujian kuat lentur dan kuat tekan. *Digital Compression Testing Machine (CTM)* yang digunakan memiliki kapasitas beban maksimum 3000 kN.



Gambar 10. *Digital Compression Testing Machine (CTM)*.

3.3.2 Cetakan Benda Uji

Cetakan benda uji mortar ferosemen menggunakan cetakan yang terdapat pada Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung, dengan ukuran 160 mm x 40 mm x 40 mm. Sedangkan cetakan benda uji plat ferosemen dimodifikasi menggunakan kayu kaso dan dialasi menggunakan *multiplex*, dengan ukuran 240 mm x 60 mm x 25 mm.



Gambar 11. Cetakan benda uji (a) plat ferosemen, (b) mortar ferosemen.

3.3.3 *Dial Gauge*

Alat yang digunakan pada pengujian kuat lentur. *Dial gauge* berfungsi untuk mengukur lendutan pada benda uji.



Gambar 12. *Dial gauge*.

3.3.4 Oven

Oven alat yang berfungsi untuk mengeringkan material yang akan diuji pada penelitian ini. Oven yang digunakan memiliki kapasitas suhu maksimum 110°C dengan daya sebesar 2800 watt.



Gambar 13. Oven.

3.3.5 Mesin Pengaduk Beton (*Concrete Mixer*)

Merupakan alat yang digunakan untuk mengaduk campuran mortar ferosemen. *Concrete mixer* yang digunakan memiliki 6 tingkatan kecepatan dan kapasitas maksimum daya sebesar 3200 watt.



Gambar 14. *Concrete Mixer*.

3.3.6 Timbangan

Alat yang berfungsi untuk mengukur berat bahan dan material yang akan digunakan pada penelitian ini.



Gambar 15. Timbangan.

3.3.7 Bak Perendam

Alat ini berfungsi sebagai tempat perawatan beton (*curing*) dengan cara dilakukan perendaman di dalam air dengan waktu tertentu.



Gambar 16. Bak perendam.

3.3.8 Palu Karet

Alat pengganti *vibrator* yang digunakan untuk memukul dan menggetarkan cetakan benda uji yang di dalamnya terdapat adukan ferosemen yang baru diproses. Tujuan dari alat ini ialah agar adukan ferosemen dapat tercampur dengan merata dan padat, sehingga mencegah terjadinya segregasi.



Gambar 17. Palu karet.

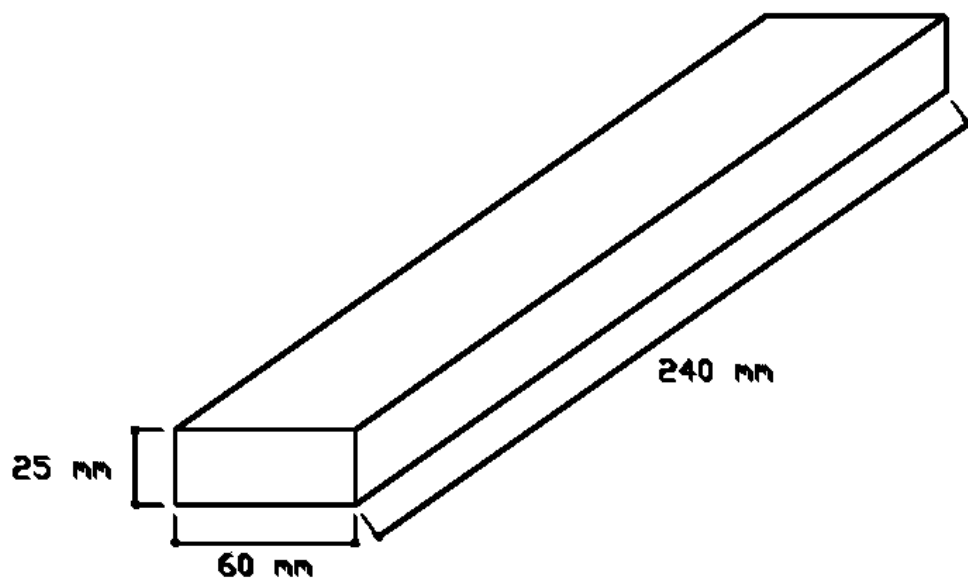
3.3.9 Alat Bantu Tambahan

Digunakan beberapa alat lainnya untuk membantu pelaksanaan penelitian, antara lain gerinda, bor, sekop, cangkul, sendok semen, ember, kontainer, *stopwatch*, kamera, gelas ukur, piknometer, satu set saringan, obeng, skrup, tang rakit dan potong, mistar dan alat tulis.

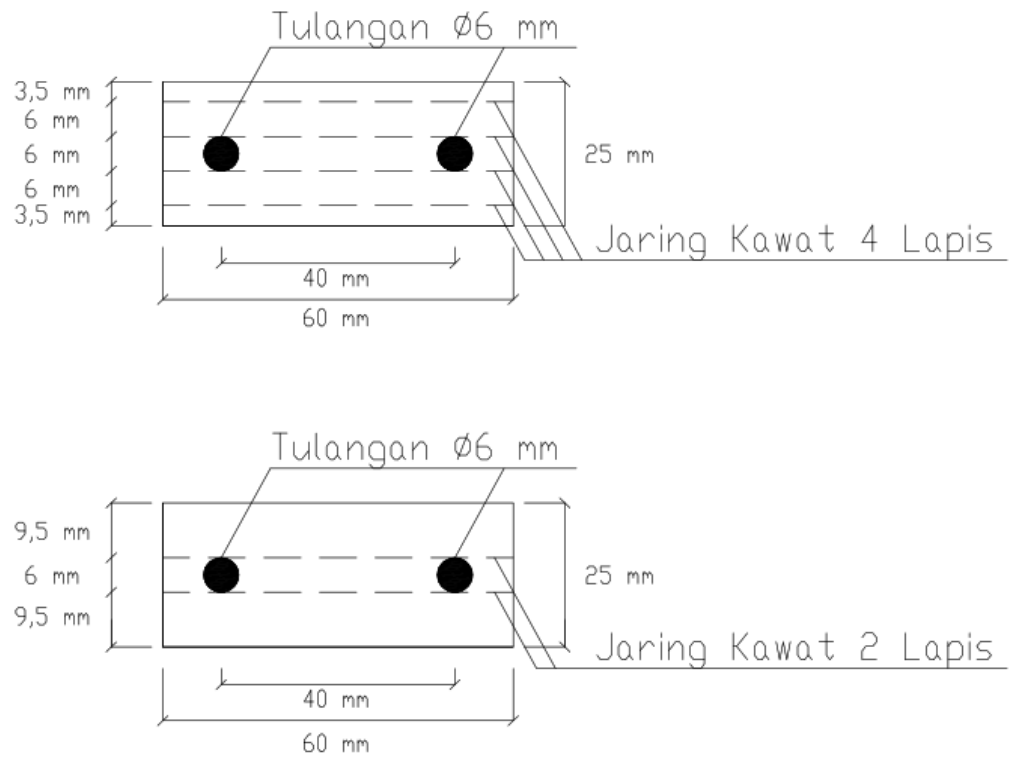
3.4 Benda Uji

3.4.1 Benda Uji Plat Ferosemen

Benda uji plat ferosemen memiliki ukuran 240 mm x 60 mm x 25 mm. Benda uji plat ferosemen akan digunakan pada pengujian kuat lentur dengan pembebanan 2 titik. Pengujian kuat lentur dilakukan pada benda uji berumur 28 hari.



Gambar 18. Benda uji plat ferosemen.



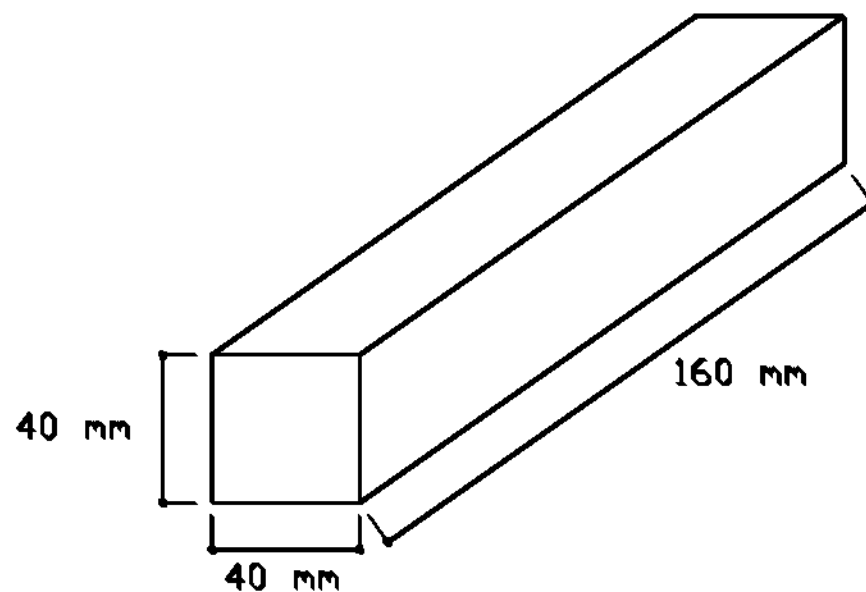
Gambar 19. Detail penulangan.

Tabel 5. Variasi benda uji plat ferosemen

Vf Fiber <i>Polypropylene</i>	Jumlah Lapisan Jaring Kawat	Tulangan	Kode	Benda Uji
0%	2 Lapis	Tanpa tulangan	PLT.0%.2.A	3
		Tulangan diameter 6 mm	PLT.0%.2.B	3
	4 Lapis	Tanpa tulangan	PLT.0%.4.A	3
		Tulangan diameter 6 mm	PLT.0%.4.B	3
1%	2 Lapis	Tanpa tulangan	PLT.1%.2.A	3
		Tulangan diameter 6 mm	PLT.1%.2.B	3
2%	2 Lapis	Tanpa tulangan	PLT.2%.2.A	3
		Tulangan diameter 6 mm	PLT.2%.2.B	3
JUMLAH BENDA UJI				24

3.4.2 Benda Uji Mortar Ferosemen

Benda uji mortar ferosemen memiliki ukuran 160 mm x 40 mm x 40 mm. Benda uji mortar ferosemen akan digunakan pada pengujian kuat lentur dengan 1 titik pembebanan dan pengujian kuat tekan. Khusus pengujian kuat tekan, dilakukan menggunakan potongan hasil uji kuat lentur dengan luas tekan 40 mm x 40 mm. Pengujian kuat lentur dan kuat tekan dilakukan pada benda uji berumur 28 hari.



Gambar 20. Benda uji mortar ferosemen.

Tabel 6. Variasi benda uji mortar ferosemen

Vf Fiber <i>Polypropylene</i>	Kode	Benda Uji
0%	PRS.0	3
1%	PRS.1	3
2%	PRS.2	3
JUMLAH BENDA UJI		9

Tabel 7. Benda uji kuat tekan mortar ferosemen

Keterangan	Benda Uji
Hasil potongan benda uji PRS.0	6
Hasil potongan benda uji PRS.1	6
Hasil potongan benda uji PRS.2	6
JUMLAH BENDA UJI	18

3.5 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung. Penelitian ini terbagi dalam beberapa tahapan, yaitu: persiapan bahan dan peralatan, pemeriksaan bahan dan peralatan, persiapan dan pembuatan cetakan benda uji, perencanaan campuran benda uji, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian benda uji dan analisis hasil pengujian benda uji.

3.5.1 Persiapan Bahan dan Peralatan

Bahan dan semua material serta peralatan yang dibutuhkan harus terlebih dahulu dipersiapkan. Persiapan ini dilakukan agar penelitian dapat berjalan dengan baik.

3.5.2 Pemeriksaan Bahan dan Peralatan

Bahan dan peralatan yang akan digunakan dalam penelitian harus dalam kondisi baik dan sesuai standar yang telah ditentukan. Pemeriksaan yang dilakukan antara lain:

3.5.2.1 Semen

Pemeriksaan terhadap semen dilakukan dengan cara:

- Berat jenis semen
- Waktu pengikatan awal dan akhir

3.5.2.2 Agregat Halus

Pemeriksaan terhadap agregat halus dilakukan dengan cara:

- Kadar air agregat halus
- Berat jenis dan penyerapan agregat halus
- Berat volume agregat halus
- Kadar lumpur agregat halus dengan saringan
- Kandungan zat organis dalam pasir
- Gradasi agregat halus

3.5.2.3 Air

Pemeriksaan secara visual yaitu dengan melihat bahwa air tampak jernih, tidak berwarna dan tidak berbau sesuai dengan persyaratan yang terdapat dalam ACI Committee 549.

3.5.2.4 Tulangan dan Jaring Kawat (*Wiremesh*)

Pemeriksaan secara visual yaitu dengan melihat kondisi tulangan dan jaring kawat berkarat atau tidak, dilakukan pengujian kuat tarik tulangan dan jaring kawat. Berikut merupakan langkah-langkah pengujian kuat tarik tulangan:

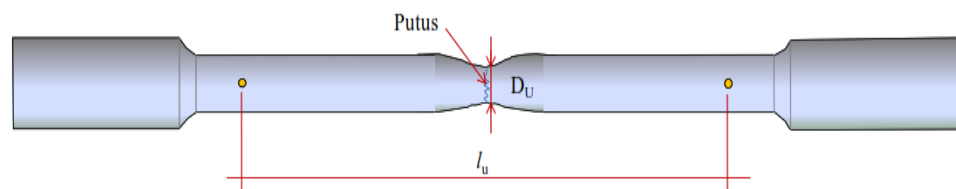
- Mengukur panjang dan menentukan parameter benda uji

Tabel 8. Parameter benda uji (satuan mm)

d	D min	lj min	m	p	R	Batang percobaan Dp 5			Batang percobaan Dp10		
						Lo	Lo+2m	Lt min	Lo	Lo+2m	Lt min
6	8	25	3	2,5	3	30	36	91	60	66	121
8	10	30	4	3	4	40	48	114	80	88	154
10	12	35	5	3	5	50	60	136	100	110	186
12	15	40	6	4	6	60	72	160	120	132	220
14	17	45	7	4,5	7	70	84	183	140	154	253
16	20	50	8	5,5	8	80	96	207	160	176	287
18	22	55	9	6	9	90	108	230	180	198	320
20	24	60	10	6	10	100	120	252	200	220	352
25	30	70	12,5	7,5	12,5	125	150	305	250	275	430

Sumber: SNI 07-2529-1991 [20].

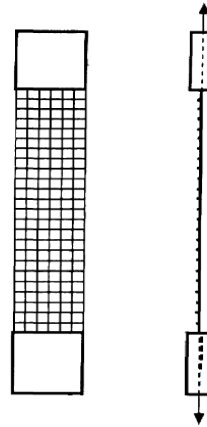
- Menandai batang baja yang telah diukur sesuai dengan parameter benda uji.
- Memasang batang baja yang telah disiapkan pada alat uji.
- Membebani (menarik batang baja yang telah dijepit) dan mencatat beban yang mengakibatkan batang baja tersebut leleh dan putus.
- Menyambung batang baja yang telah putus dan mengukur panjangnya sebagai panjang setelah putus (l_u).



Gambar 21. Benda uji setelah pengujian.

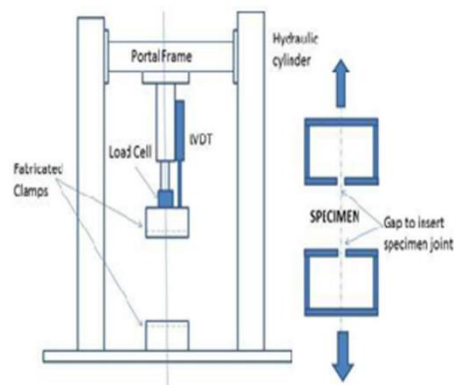
Berikut merupakan pengujian jaring kawat (*wiremesh*) berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tanawade and Modhera [21]:

- Benda uji
Berdasarkan ACI Committee 549, lebar benda uji tidak boleh kurang dari enam kali bukaan jaring kawat. Panjang benda uji tidak boleh kurang dari tiga kali lebarnya atau 6 inci [3].



Gambar 22. Benda uji jaring kawat..

- Alat uji dan skema pengujian jaring kawat



Gambar 23. Alat uji dan skema pengujian jaring kawat.
Sumber: Tanawade and Modhera [21].

3.5.2.5 Fiber *Polypropylene*

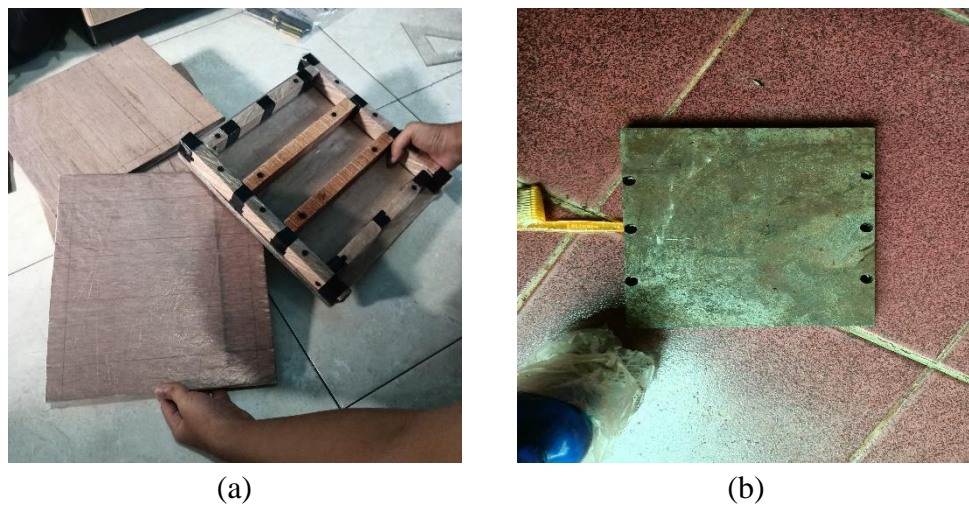
Pemeriksaan secara visual terhadap fiber *polypropylene* yang akan digunakan.

3.5.2.6 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini harus berfungsi dengan baik dan tidak rusak.

3.5.3 Persiapan dan Pembuatan Cetakan Benda Uji

Pembuatan cetakan dilakukan sesuai dengan ukuran benda uji yang direncanakan. Pada benda uji plat ferosemen ukuran 240 mm x 60 mm x 25 mm, dilakukan pembuatan cetakan menggunakan kayu kaso dan dialasi dengan *multiplex*. Benda uji mortar ferosemen ukuran 160 mm x 40 mm x 40 mm, menggunakan cetakan yang sudah ada di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung.



Gambar 24. Persiapan cetakan benda uji (a) pembuatan cetakan plat ferosemen, (b) membersihkan cetakan mortar ferosemen.

3.5.4 Perencanaan Campuran Benda Uji

Perencanaan campuran berupa semen, air dan agregat halus. Perencanaan ini sangat penting untuk menghasilkan mutu beton yang diinginkan. Dalam penelitian ini menggunakan komposisi campuran perbandingan berat semen dan agregat halus (pasir) sebesar 1 : 2,5 dan perbandingan berat air terhadap semen (W/C) sebesar 0,35. Ditambahkan fiber *polypropylene* pada campuran mortar sesuai dengan volume fraksi yang telah direncanakan.

3.5.5 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji berdasarkan variasi benda uji yang dapat dilihat pada Tabel 6, Tabel 7 dan Tabel 8. Langkah-langkah dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

3.5.5.1 Penimbangan Bahan

Menimbang bahan-bahan untuk pembuatan benda uji sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan dan direncanakan. Pada penelitian ini penimbangan bahan ditentukan menurut perbandingan berat.



(a)



(b)



(c)

Gambar 25. Menimbang bahan-bahan (a) pasir, (b) semen, (c) fiber.

3.5.5.2 Pencampuran Bahan

Proses pencampuran bahan-bahan harus dilakukan sedemikian rupa sampai mortar benar-benar homogen, warnanya tampak rata, tidak terlalu cair dan tidak terlalu kental, seta tidak tampak secara visual adanya pemisah butir. Campuran mortar yang homogen dapat menghasilkan fero semen dengan kualitas baik.



Gambar 26. Pencampuran bahan.

3.5.5.3 Menambahkan Fiber *Polypropylene*

Tahapan ini harus dilakukan dengan hat-hati dan diusahakan fiber ditambahkan secara merata sehingga tidak terjadi pengumpulan fiber (*balling effect*) yang dapat mempengaruhi kekuatan fero semen. Penambahan jumlah fiber berdasarkan dengan *volume fraction* yang telah ditentukan.



Gambar 27. Menambahkan fiber *polypropylene*.

3.5.5.4 Pencetakan Benda Uji

- Menyiapkan cetakan benda uji yang telah dibuat sebelumnya.
- Letakkan jaring kawat dan tulangan diameter 6 mm kedalam cetakan secara merata dan tersusun sesuai dengan variasi yang telah direncanakan.



Gambar 28. Meletakkan jaring kawat dan tulangan.

- Memasukkan campuran mortar kedalam cetakan benda uji hingga penuh.



Gambar 29. Memasukkan campuran mortar.

- Lakukan pemadatan menggunakan palu karet dengan tujuan agar tidak terjadi segregasi dan ferosemen tidak berongga. Setelah cetakan penuh dan padat, selajutnya permukaan benda uji diratakan.



Gambar 30. Pemadatan dengan palu karet.

- Setelah permukaan diratakan, benda uji dibiarkan selama \pm 24 jam. Setelah itu cetakan dapat dibuka dan dilanjutkan dengan memberikan kode pada masing-masing benda uji.



Gambar 31. Melepaskan cetakan.

3.5.6 Perawatan Benda Uji

Perawatan dilakukan dengan cara merendam benda uji kedalam bak perendam. Perawatan benda uji dilakukan dengan tujuan untuk memastikan reaksi hidrasi semen dapat berlangsung secara optimal. Perawatan dapat menjaga ferosemen agar tidak mengalami susut yang berlebihan dikarenakan kehilangan kelembapan yang terlalu cepat, sehingga dapat menyebabkan keretakan.



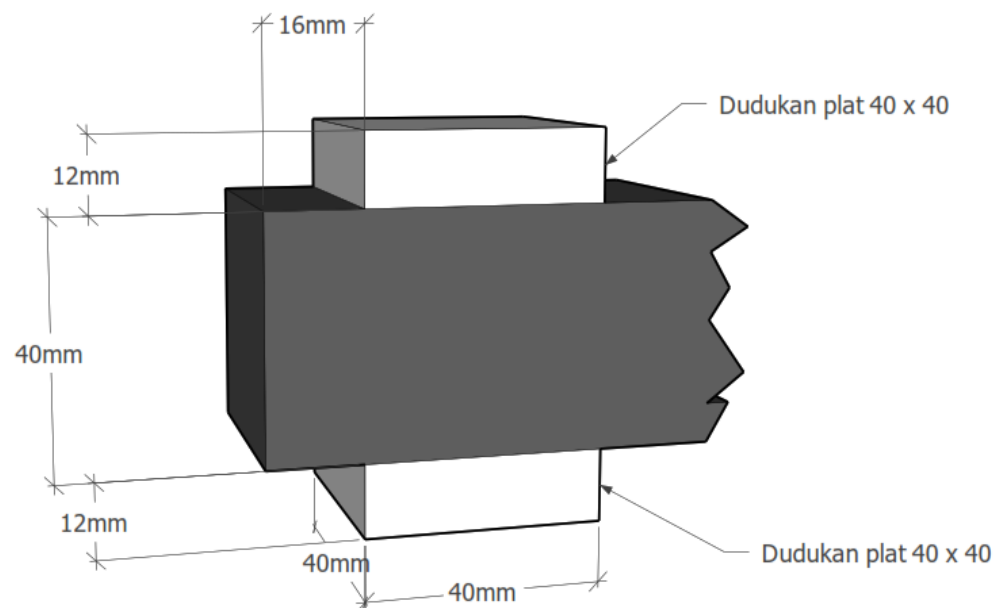
Gambar 32. Perawatan benda uji (*curing*).

3.5.7 Pengujian Benda Uji

3.5.7.1 Pengujian Kuat Tekan

Uji kuat tekan pada penelitian ini dilakukan pada potongan hasil kuat lentur benda uji mortar ferosemen, dengan luas tekan 40 mm x 40 mm. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan alat *Digital Compression Testing Machine* (CTM). Skema perletakkan pengujian kuat tekan pada mortar sudah diatur di dalam BS EN 1015-11 : 2019 [18]. Pengujian kuat tekan dilakukan pada benda uji berumur 28 hari. Berikut merupakan langkah-langkah pengujian kuat tekan:

- Diawali dengan menimbang benda uji.
- Meletakkan benda uji secara sentris pada alat *Digital Compression Testing Machine* (CTM).
- Menghidupkan *Digital Compression Testing Machine* (CTM) dan pembebanan dilakukan sampai benda uji tidak sanggup lagi menahan beban (mengalami kegagalan).
- Melakukan pembacaan pembebanan benda uji.

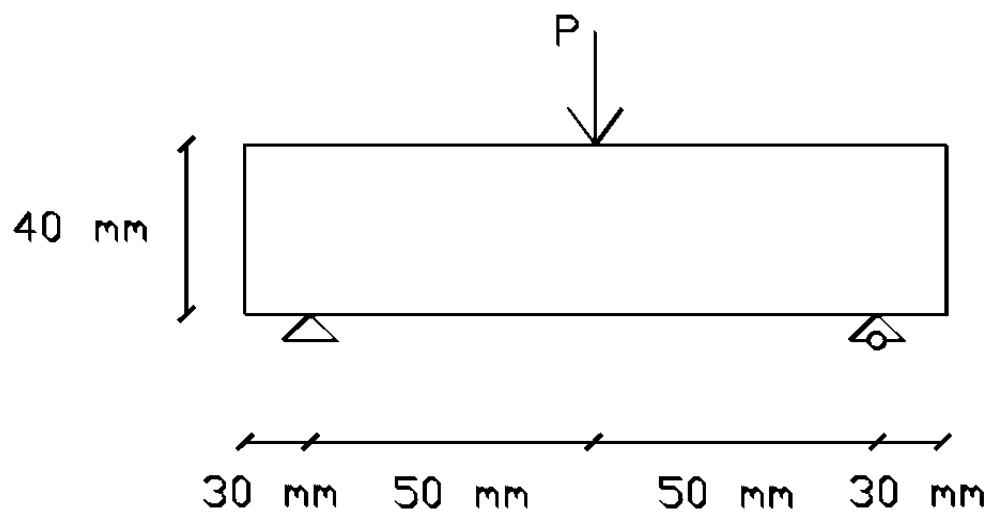


Gambar 33. Skema pengujian kuat tekan hasil kuat lentur dengan luas tekan 40 mm x 40 mm.

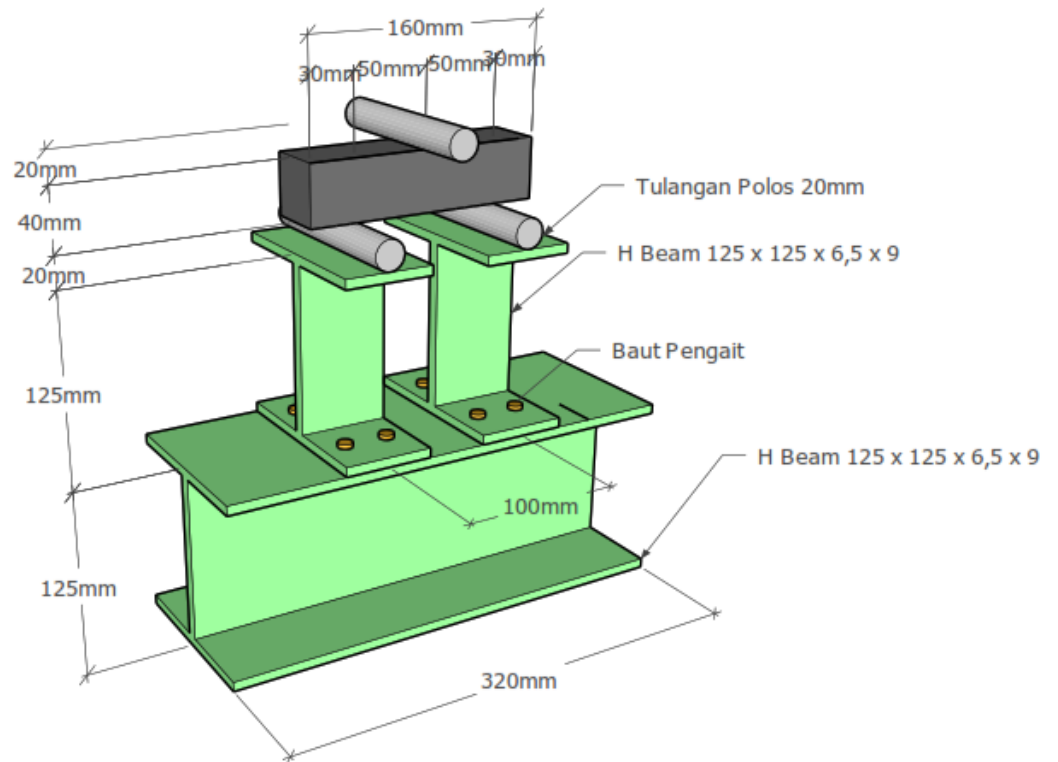
3.5.7.2 Pengujian Kuat Lentur Pembebanan 1 Titik

Uji kuat lentur pembebanan 1 titik dilakukan pada benda uji mortar dengan ukuran 160 mm x 40 mm x 40 mm. Pengujian kuat lentur dilakukan dengan menggunakan alat *Digital Compression Testing Machine* (CTM). Skema perletakan pengujian kuat lentur pembebanan 1 titik pada mortar sudah diatur di dalam BS EN 1015-11 : 2019 [18]. Pengujian kuat lentur dilakukan pada benda uji berumur 28 hari. Berikut merupakan langkah-langkah pengujian kuat lentur pembebanan 1 titik:

- Diawali dengan menimbang benda uji.
- Letakkan benda uji di atas dua perletakan modifikasi seperti pada Gambar 34 dan Gambar 35.



Gambar 34. Skema pengujian kuat lentur pembebanan 1 titik.



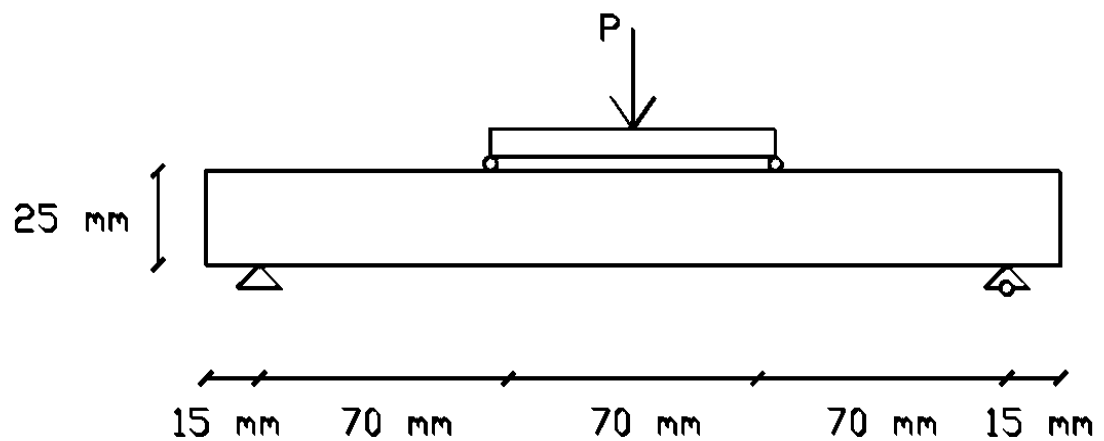
Gambar 35. Skema modifikasi perletakan pada pengujian kuat lentur pembebanan 1 titik.

- Mengatur pembebanan menjadi pembebanan 1 titik di tengah bentang.
- Menghidupkan *Digital Compression Testing Machine* (CTM) dan pembebanan dilakukan sampai benda uji mengalami retak dan patah, serta kondisi benda uji tidak sanggup lagi menahan beban (mengalami kegagalan).
- Melakukan pencatatan hasil pengujian benda uji. Hasil yang didapatkan berupa beban maksimum yang menyebabkan benda uji runtuh (*collaps*).

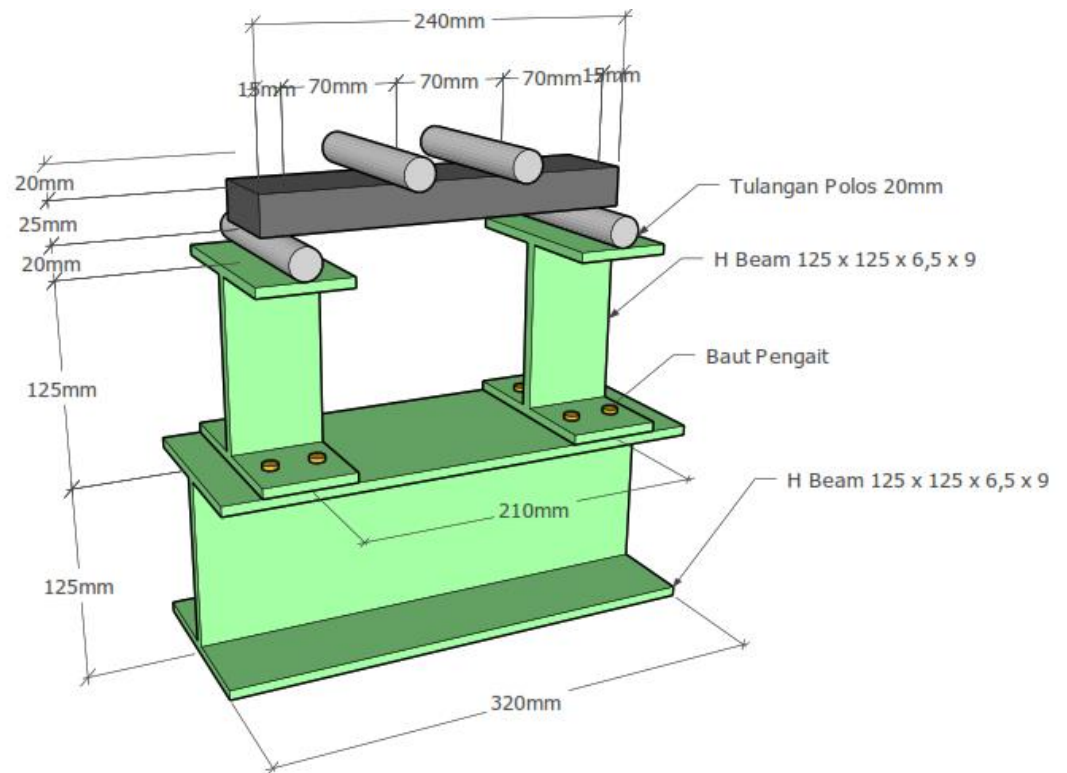
3.5.7.3 Pengujian Kuat Lentur Pembebanan 2 Titik

Uji kuat lentur pembebanan 2 titik pada penelitian ini dilakukan pada benda uji plat ferosemen dengan ukuran 240 mm x 60 mm x 25 mm. Pengujian kuat lentur dilakukan dengan menggunakan alat *Digital Compression Testing Machine* (CTM). Pengujian kuat lentur dilakukan pada benda uji berumur 28 hari. Berikut merupakan langkah-langkah pengujian kuat lentur pembebanan 2 titik:

- Diawali dengan menimbang benda uji.
- Letakkan benda uji di atas dua perletakan modifikasi seperti pada Gambar 36 dan Gambar 37.



Gambar 36. Skema pengujian kuat lentur pembebanan 2 titik.



Gambar 37. Skema modifikasi perletakan pada pengujian kuat lentur pembebanan 2 titik.

- Mengatur pembebanan menjadi 2 titik pada jarak $L/3$ bentang.
- Menghidupkan *Digital Compression Testing Machine* (CTM) dan pembebanan dilakukan sampai benda uji mengalami retak dan patah, serta kondisi benda uji tidak sanggup lagi menahan beban (mengalami kegagalan).
- Melakukan pencatatan hasil pengujian benda uji. Hasil yang didapatkan berupa beban maksimum yang menyebabkan benda uji runtuh dan besar lendutan yang dihasilkan oleh benda uji saat diberikan pembebanan.

3.5.8 Analisis Hasil Pengujian Benda Uji

Analisis hasil pengujian dilakukan sebagai berikut:

3.5.8.1 Pengujian Kuat Tekan

- Mengolah data hasil pengujian berupa beban tekan maksimum.
- Menghitung dan menganalisis kuat tekan pada benda uji mortar ferosemen dan disajikan dalam bentuk kurva dan tabel.
- Membuat perbandingan nilai kuat tekan pada benda uji mortar ferosemen sesuai dengan variasi yang telah direncanakan sebelumnya.

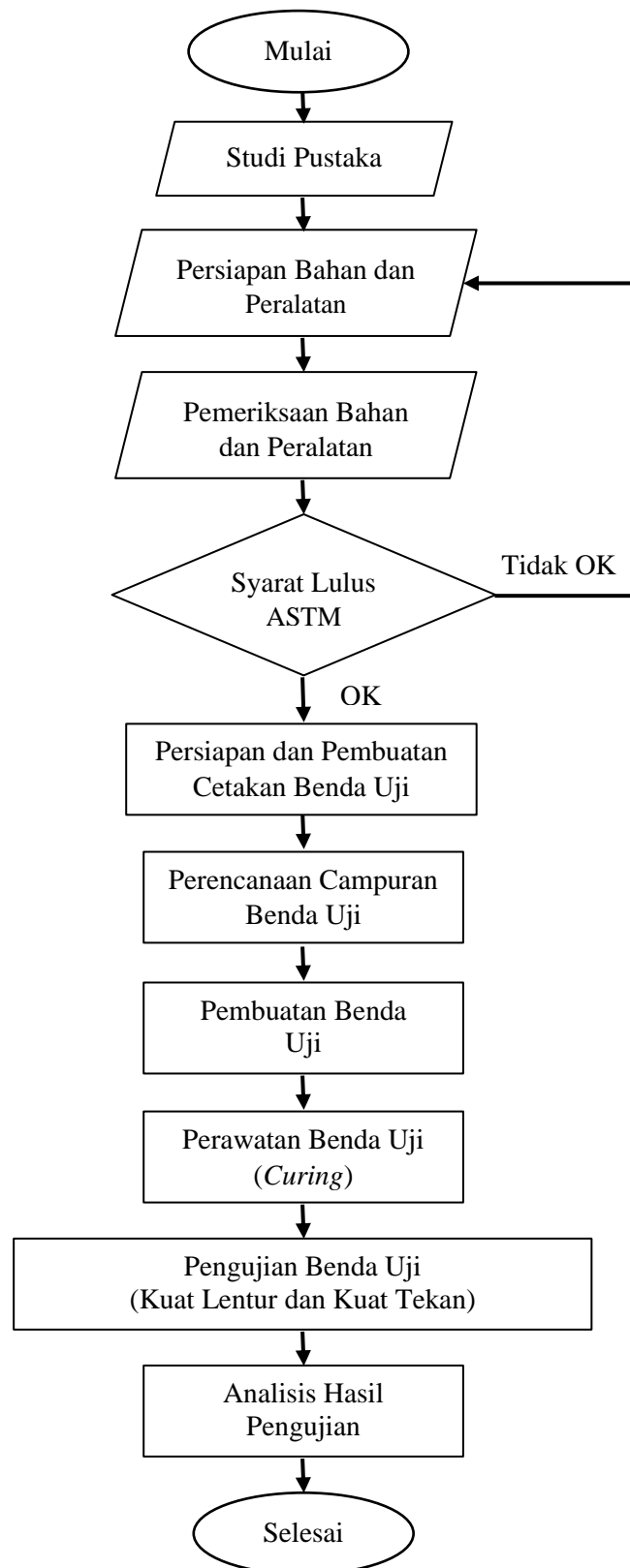
3.5.8.2 Pengujian Kuat Lentur Pembebanan 1 Titik

- Mengolah data hasil pengujian berupa beban maksimum yang menyebabkan benda uji runtuh (*collaps*).
- Menghitung dan menganalisis kuat lentur pembebanan 1 titik pada benda uji mortar ferosemen dan disajikan dalam bentuk tabel.
- Membuat perbandingan nilai kuat lentur pada benda uji mortar ferosemen sesuai dengan variasi yang telah direncanakan sebelumnya.

3.5.8.3 Pengujian Kuat Lentur Pembebanan 2 Titik

- Mengolah data hasil pengujian berupa beban maksimum yang menyebabkan benda uji runtuh (*collaps*).
- Menganalisis hubungan antara beban dan lendutan dalam pengujian pembebanan 2 titik dan disajikan dalam bentuk kurva hubungan beban-lendutan.
- Menganalisis nilai beban maksimum pada pembebanan 2 titik benda uji plat ferosemen dan membandingkan dengan nilai beban maksimum hasil pengujian.
- Membuat perbandingan nilai *volume fraction* (V_r) tulangan dan jaring pada benda uji plat ferosemen sesuai dengan variasi yang telah direncanakan sebelumnya.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 38. Diagram alir penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian benda uji mortar ferosemen dan plat ferosemen, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kuat lentur optimum pada benda uji mortar ferosemen terdapat pada penambahan PPF 1%. Nilai kuat lentur pada benda uji mortar ferosemen penambahan PPF 2% mengalami penurunan.
2. Nilai kuat tekan optimum pada benda uji mortar ferosemen terdapat pada penambahan PPF 1%. Nilai kuat tekan pada benda uji mortar ferosemen penambahan PPF 2% mengalami penurunan.
3. Nilai beban maksimum tertinggi pada benda uji plat ferosemen terdapat pada kode benda uji PLT.0%.4.B (*volume fraction* PPF 0%, dengan tulangan diameter 6 mm serta 4 lapis jaring kawat).
4. Peningkatan nilai kuat lentur dan kuat tekan pada benda uji mortar ferosemen dikarenakan fiber pada campuran mortar dapat mencegah proses retak dan kehancuran mortar, serta benda uji masih sangat mungkin menerima pembebanan lebih lanjut hingga fiber tersebut putus dari mortar
5. Penurunan kuat lentur dan kuat tekan pada benda uji mortar ferosemen terjadi dikarenakan bertambahnya *volume fraction* fiber *polypropylene*, membuat *workability* menurun akibatnya fiber tidak tersebar secara merata dan membentuk *air void* atau rongga udara sehingga dapat mengurangi kekuatan lentur dan tekan pada benda uji mortar ferosemen.

6. Tulangan memiliki peranan yang sangat penting pada benda uji plat ferosemen. Saat dilakukan pembebanan pada benda uji plat ferosemen yang memiliki tulangan di dalamnya, plat ferosemen mengalami retak secara perlahan dan tidak disertai bunyi cukup keras. Setelah pembebanan benda uji tidak terbagi menjadi beberapa bagian, hal ini terjadi karena tulangan dapat menahan gaya tarik. Dibandingkan dengan benda uji plat ferosemen tanpa tulangan, plat ferosemen mengalami patah secara cepat dan disertai bunyi cukup keras. Setelah pembebanan, benda uji terlihat terbagi menjadi beberapa bagian.
7. Jaring kawat memiliki peranan pada pengujian benda uji plat ferosemen. Walaupun saat dilakukan pengamatan pada benda uji plat ferosemen yang menggunakan 2 lapis dan 4 lapis tidak terlihat secara signifikan perbedaannya, tetapi jika dilihat dari hasil pengujian dan perhitungan, penambahan lapisan jaring kawat mempengaruhi nilai kuat lentur pada benda uji plat ferosemen.

5.2 Saran

Untuk menindaklanjuti penelitian ini maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut, guna melengkapi data-data dari pengembangan penelitian ini. Saran-saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Perencanaan campuran komposisi, dan ketelitian dalam proses penimbangan bahan, sangat menentukan kualitas benda uji yang akan dihasilkan.
2. Perlu dilakukan uji coba komposisi (*trial*), sebelum dilaksanakan penelitian agar memperoleh hasil pengujian yang lebih akurat sesuai dengan rencana yang telah direncanakan.
3. Dalam pelaksanaan pencampuran fiber, peletakkan dan penyebaran fiber harus diperhatikan dengan baik dan perlahan agar tidak terjadi penggumpalan fiber satu dengan yang lainnya (*balling effect*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ACI Committee 549 IR-93. 1999. *Guide For The Design, Construction and Repair of Ferrocement*. American Concrete Institute.
- [2] Syarief, R. 2015. *Sistem Pabrikasi Pada Struktur Ferosemen*. Jurnal Arsitektur Universitas Bandar Lampung, 118–138.
- [3] Helmi, M. dan Alami, F. (2006). *Potensi Struktur Ferrocement Untuk Rumah Pracetak*. Proceeding Seminar Nasional Teknologi Beton Dalam Rekayasa Konstruksi. Bandar Lampung, 29 Maret.
- [4] Djausal, A. 2004. *Pengantar Ferosemen*. Bandar Lampung: Pusat Pengembangan Ferosemen Indonesia.
- [5] Frick, H. and Koesmartadi, C. 2018. *Ilmu Bahan Bangunan*. Badan Penerbit UNM.
- [6] Santoso, A. and Widodo, S. 2010. *Efek Penambahan Polypropoylene Terhadap Daya Lekat dan Kuat Lentur Pada Rehabilitasi Struktur Beton dengan Self-Compacting Mortar (SCRM)*. Inersia, 6 (2), 121–133.
- [7] Kartini, W. 2007. *Penggunaan Serat Polypropylene Untuk Meningkatkan Kuat Tarik Belah Beton*. Rekayasa Perencanaan, 4 (1), 1–13.
- [8] Nugraha, dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. CV Andi Offset, 768.
- [9] Elsanosi, A. 2019. *Low Cost Ferrocement Composite Roof/Floor System*. Civil Engineering Beyond Limits, 1 (1), 1–4.
- [10] Mulyono, Tri. 2015. *Teknologi Beton*. CV Andi Offset, 574.
- [11] Annisa, M., Helmi, M., Irianti, L., Prayitno. 2016. *Pengaruh Penambahan Serat Bendrat Terhadap Kuat Lentur Nominal Balok Beton Bertulang*. Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya, 3 (2), 139–144.

- [12] ACI Comimittee 544 IR-82. 1999. *Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete*. American Concrete Institute.
- [13] Arde. 2005. *Penggunaan Polypropylene Fiber Ditinjau Terhadap Mekanisme Tekan dan Lentur Pada Campuran Beton Normal*. Jurnal Arsitektur UPN Veteran Jawa Timur.
- [14] Usman, F., Shaharudin, S., and Abd Ghani, M.F. 2014. *Effect of Polypropylene Fiber on the Flexural Strength of Ferrocement*. *Applied Mechanics and Materials*, 554 (June 2014), 199–202.
- [15] Usman, F., Shaharuddin, S., Mahmudah, N., and Olivia, M. 2019. *Effect of Adding Polypropylene Fibres to Flexural Strength of Ferrocement*. Atlantis Press, 187 (IcoSITE), 40–43.
- [16] SNI 1974. 2011. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standarisasi Nasional.
- [17] SNI 4154. 2014. *Metode Uji Kekuatan Lentur Beton (Menggunakan Balok Sederhana dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang)*. Badan Standarisasi Nasional.
- [18] BS EN 1015-11. 2019. *Methods of Test for Mortar*. BSI Standards Publication.
- [19] Naaman A, E. 2000. *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*. Techno Press 3000.
- [20] SNI 07-2529. 1991. *Metode Pengujian Kuat Tarik Baja Beton*. Badan Standarisasi Nasional.
- [21] Tanawade, A.G., and Modhera, C.D. 2017. *Tensile Behaviour of Welded Wire Mesh and Hexagonal Metal Mesh for Ferrocement Application*. . IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 225, 012069.
- [22] Saifudin, A., As'ad, S., and Sunarmasto. 2015. *Pengaruh. Dosis, Aspek Rasio, dan Distribusi Serat Terhadap. Kuat Lentur dan Kuat Tarik Belah Beton Berserat*. E-Jurnal Matriks Teknik Sipil, 3 (2), 369–376.