

**SIFAT MEKANIK PANEL FERROSEMENT AKIBAT BEBAN LENTUR  
DAN GESER TERPUSAT**

(Skripsi)

Oleh

**TAUFIQURRAHMAN NATA MANGGALA**

**1715011026**



**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2023**

## **ABSTRAK**

### **SIFAT MEKANIK PANEL FEROSEMEN AKIBAT BEBAN LENTUR DAN GESER TERPUSAT**

**Oleh**

**TAUFIQURRAHMAN NATA MANGGALA**

Panel fero semen memiliki sifat mekanik yang dipengaruhi oleh ukuran tulangan, kekuatan mortar, kekakuan bentuk struktur, cara pembuatan dan pengolahannya. Panel fero semen yang diuji dalam penelitian ini berbentuk pelat U dengan rib dipinggir berukuran 120 cm x 80 cm x 8 cm dan tebal permukaan 2,5 cm. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tentang karakteristik sifat mekanis panel fero semen akibat pembebanan berupa lentur dua titik dan geser terpusat. Pengujian juga dilakukan terhadap bahan penyusun panel fero semen seperti pengujian terhadap mortar, tulangan baja, dan kawat ayam. Hasil pengujian terhadap bahan penyusun panel fero semen akan dijadikan sebagai data *input* perhitungan dan dibandingkan dengan hasil analisis teoritisnya. Perbandingan antara hasil pengujian panel fero semen dan hasil analisisnya, diketahui bahwa desain penampang dan bahan penyusun fero semen telah sesuai dan berfungsi dengan baik dalam menahan pembebanan yang diakibatkan oleh dua pembebanan pada benda uji panel fero semen.

Kata kunci : Sifat Mekanik Fero semen, Bahan Penyusun Fero semen, Uji Lentur Dua Titik Pembebanan, Uji Beban Geser Terpusat, Analisis Teoritis Panel Fero semen

## **ABSTRACT**

### ***MECHANICAL PROPERTIES OF FEROCEMENT PANEL DUE TO FLEXURAL AND PUNCHING SHEAR LOADS***

***By***

**TAUFIQURRAHMAN NATA MANGGALA**

*Ferrocement panels have mechanical properties that are influenced by the size of the steel reinforcement, the strength of the mortar, the stiffness of the structure, how it is manufactured and processed. The specimen in this study was in the form of a U-plate with ribs measuring 120 cm x 80 cm x 8 cm and a surface thickness of 2.5 cm. This study aims to determine the mechanical properties of ferrocement panels due to flexural and punching shear loads. Testing is also conducted on the constituent materials of ferrocement panels, such as testing on mortar, steel reinforcement, and chicken mesh. The results of testing on the constituent materials of ferrocement panels will be used as input data for calculations and compared with the results of theoretical analysis. By comparing the results of the ferrocement panel testing and analytical analysis, it is revealed that the design and constituent materials of ferrocement are in accordance and function effectively in resisting the load generated by the dual loading on the ferrocement panel test specimen*

***Keywords :Mechanical Properties of Ferrocement, Constituent Components of Ferrocement, Two-Point Flexural Test, Punching Shear Test, Theoretical Analysis of Ferrocement Panels***

## **MOTTO**

“Jangan menghukum dirimu karna kesalahan ataupun keadaan, kamu tidak bisa mengubah apa yang telah terjadi. Tugasmu yang tersisa hanya pelajari kembali, perbaiki, lalu usahakan jangan terulang lagi.”

“Kesempatan tidak pernah datang dua kali, tapi pasti akan datang jika kita tidak pernah berhenti mencoba.”

*(Penulis)*

“Kebanggaan kita yang terbesar adalah bukan tidak pernah gagal, tapi bangkit kembali setiap kali kita jatuh.”

*(Confusius)*

“Seseorang yang tidak pernah mengalami kegagalan, tidak pernah mencoba sesuatu yang baru.”

*(Albert Einstein)*

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

*(QS. Al Insyirah : 5-6)*

Judul Skripsi : **SIFAT MEKANIK PANEL FEROSEMEN  
AKIBAT BEBAN LENTUR DAN GESER  
TERPUSAT**

Nama Mahasiswa : **Taufiqurrahman Nata Manggala**

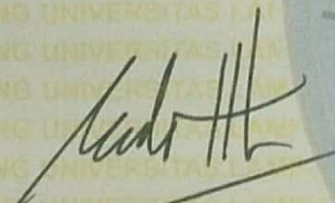
Nomor Pokok Mahasiswa : **1715011026**

Program Studi : **Teknik Sipil**

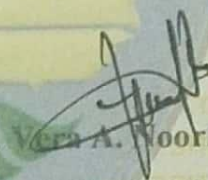
Fakultas : **Teknik**



1. Komisi Pembimbing

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

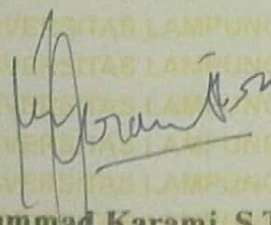
**NIP 19700430 199703 1 003**

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

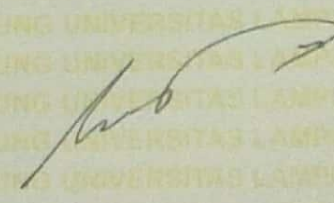
**NIP 19740831 200003 2 002**

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil

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

**NIP 19720829 199802 1 001**

  
**Ir. Laksmi Irianti, M.T.**

**NIP 19620408 198903 2 001**

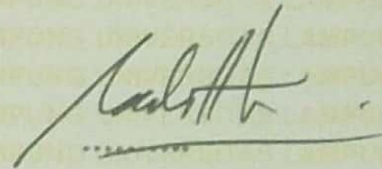


**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

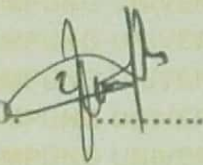
Ketua

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



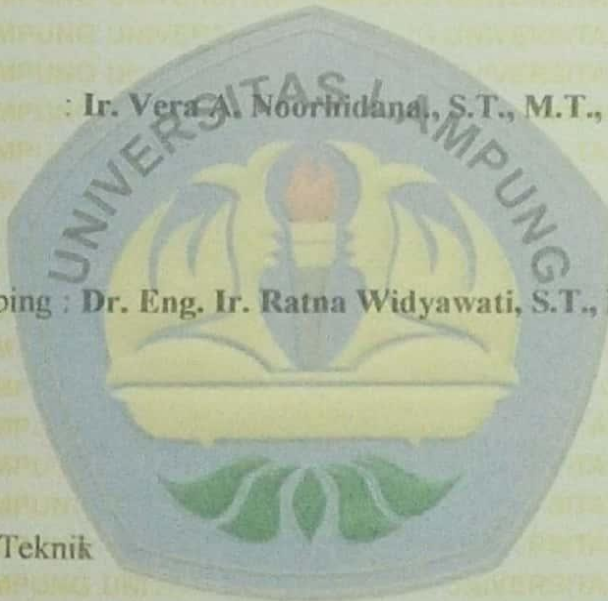
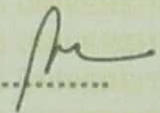
Sekretaris

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

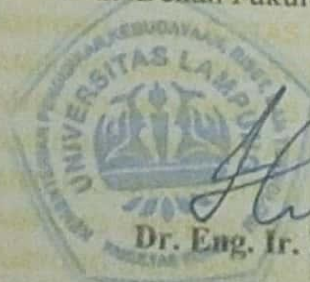


Penguji

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

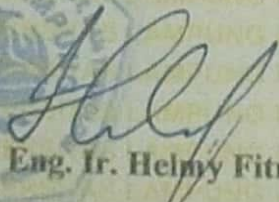


**2. Dekan Fakultas Teknik**



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

NIP 19750928 200112 1 002



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 07 Agustus 2023**

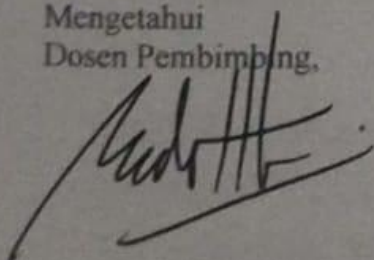


## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi saya yang berjudul "*Sifat Mekanik Panel Fero semen Akibat Beban Lentur Dan Geser Terpusat*" 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 Panel Fero semen Pracetak Untuk Konstruksi Atap Gedung Bentang Panjang*".
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,

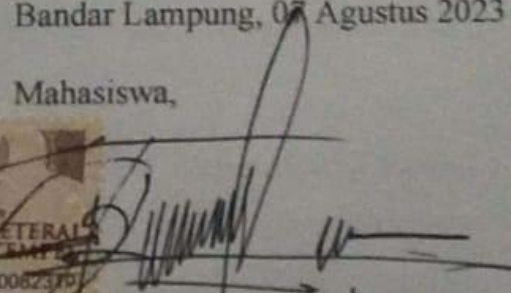


Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.

NIP. 197004301997031003

Bandar Lampung, 07 Agustus 2023

Mahasiswa,



Taufiqurrahman Nata Manggala

NPM. 1715011026

## **PERSEMBAHAN**

Puji syukur kepada Tuhan atas anugerah-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik. Saya berharap sekiranya karya ini dapat bermanfaat. Saya persembahkan karya sederhana ini.

Untuk diri saya sendiri, terima kasih telah bertahan dan berjuang dari awal perkuliahan sampai proses penyelesaian skripsi ini. Untuk kedua orang tua saya yang selalu memberi dukungan moral, material, dan spiritual. Untuk dosen-dosen yang telah memberikan ilmu, wawasan, dan bimbingan yang sangat berharga. Untuk keluarga besar saya yang selalu memberikan masukan sehingga saya selalu termotivasi. Untuk rekan dan kawan seperjuangan yang selalu mendampingi disaat berjuang. Untuk kekasih hati saya yang selalu mendengarkan keluh kesah dan memberikan semangat. Dan untuk teman-teman angkatan 2017 telah menemani dan memberikan dukungan dari awal perkuliahan hingga proses penyelesaian skripsi.



## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada :

1. Bapak Dr. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Bidang Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Bapak Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D., selaku Pembimbing Utama yang sudah memberikan banyak ilmu pengetahuan, saran, kritik, serta semangat dalam membimbing penelitian ini.
5. Ibu Ir. Vera Agustriana N, S.T., M.T., Ph.D., selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan ilmu pengetahuan, saran, kritik, semangat dan bimbingan dalam penelitian ini.
6. Ibu Dr. Eng. Ir. Ratna W, S.T., M.T.IPM., ASEAN ENG., selaku Penguji yang telah memberikan saran, kritik, dan bimbingan dalam penelitian ini.
7. Bapak Iswan, S.T., M.T., selaku Pembimbing Akademik (PA) yang telah memberikan saran, kritik, dan bimbingan dalam akademik.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung atas ilmu bidang sipil yang telah diberikan selama perkuliahan.
9. Keluarga kecil kesayangan, Mama Risnawati, S.E., Papa Ir. Marwani Serta Adik Riski Kurniawan Nata Manggala, yang selalu mendukung dan memberikan do'a selama berkuliah di kampus Teknik Sipil Universitas Lampung.

10. Keluarga besar Sidi M. Isyak (Alm) dan Nyaik Hayuna (Almh), yang telah memberikan dorongan semangat yang luar biasa dalam menyelesaikan studi ini. Terkhususkan untuk Almarhumah Nyaik Hayuna, cucu anda akhirnya sarjana, maaf kemarin selalu menunda-nunda.
11. Keluarga besar Engkong Drs. H. Zulkifli Husin, M.M., M.H., M.BL (Alm) dan Encang Nurullailah, yang telah memberikan dorongan semangat yang luar biasa dalam menyelesaikan studi ini. Terkhususkan untuk Almarhum Engkong Zulkifli, cucu anda telah sarjana dan segera meneruskan cita-cita anda.
12. Fahrizal (jaki), Gerry Adam Nabil (selut), Damas Novalda Suma (kakek), M. Alhimni Rusdi (aldi), AM. Arif Rahman (jhon), M. Dwi Cahyo (cay), Ananda Tritama Harahap (nanda) sebagai kawan kuliah yang senantiasa menemani dari awal perkuliahan dan rekan skripsi terbaik yang telah bersedia membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
13. Zikri Aldino Z.P (zikri), M. Zharfan (hariri), M. Farhan (widi) dan Regan Hanifelian Y. (omo) sebagai kawan sejak dari SMA yang juga memiliki andil yang besar selama perkuliahan.
14. Kekasih hati, Niken Adelia yang selalu menjadi tempat berkeluh kesah, obat hati gundah gulana, dan pemompa semangat.
15. Terimakasih juga kepada rekan-rekanku, angkatan 2017 Teknik Sipil Universitas Lampung yang telah memberikan masukan, kritikan, saran, do'a nya kepada saya selama pengerjaan skripsi.
16. Rekan-rekan yang telah mendukung dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semoga Tuhan selalu melindungi kita semua.

Bandar Lampung, 07 Agustus 2023  
Penulis,

Taufiqurrahman Nata Manggala

## DAFTAR ISI

|                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------|------------|
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                       | <b>I</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                    | <b>V</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL.....</b>                                     | <b>VII</b> |
| <b>I . PENDAHULUAN .....</b>                                 | <b>1</b>   |
| 1.1 Latar Belakang.....                                      | 1          |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                                     | 2          |
| 1.3 Batasan Masalah .....                                    | 2          |
| 1.4 Tujuan Penelitian .....                                  | 3          |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....                                 | 3          |
| <b>II . TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                            | <b>4</b>   |
| 2.1 Pengertian Fero semen.....                               | 4          |
| 2.2 Sifat Mekanik Fero semen .....                           | 5          |
| 2.3 Bahan Pembentuk Fero semen.....                          | 5          |
| 2.3.1.Mortar .....                                           | 6          |
| 2.3.2.Semen Portland .....                                   | 6          |
| 2.3.3.Agregat Halus .....                                    | 7          |
| 2.3.4.Air .....                                              | 8          |
| 2.3.5.Tulangan Dan Kawat Ayam.....                           | 9          |
| 2.3.6.Bahan tambahan ( <i>Admixtures</i> ).....              | 10         |
| 2.4 Pengujian Panel Fero semen .....                         | 10         |
| 2.4.1.Uji Kuat Lentur Mortar .....                           | 10         |
| 2.4.2.Uji Kuat Tekan Mortar.....                             | 11         |
| 2.4.3.Uji Kuat Tarik Kawat Ayam.....                         | 12         |
| 2.4.4.Uji Kuat Tarik Tulangan .....                          | 13         |
| 2.4.5.Uji Lentur Dua Titik Pembebanan Panel Fero semen ..... | 14         |
| 2.4.6.Uji Beban Geser Terpusat Panel Fero semen .....        | 15         |
| 2.5 Analisis Teroris Panel Fero semen .....                  | 17         |
| 2.5.1.Analisis Teroris Panel Fero semen .....                | 19         |
| 2.5.2.Analisis Teroris Panel Fero semen .....                | 23         |
| <b>III . METODOLOGI PENELITIAN .....</b>                     | <b>25</b>  |
| 3.1. Umum .....                                              | 25         |
| 3.2. Bahan .....                                             | 25         |



|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.1.Semen.....                                                     | 25        |
| 3.2.2.Tulangan Dan Kawat Ayam.....                                   | 26        |
| 3.2.3.Agregat Halus (Pasir).....                                     | 27        |
| 3.2.4.Air .....                                                      | 28        |
| 3.2.5.Bahan Tambahan ( <i>Admixtures</i> ).....                      | 29        |
| 3.3. Peralatan.....                                                  | 29        |
| 3.4. Benda Uji .....                                                 | 34        |
| 3.4.1.Benda Uji Mortar Fero semen.....                               | 34        |
| 3.4.2.Benda Uji Panel Fero semen.....                                | 36        |
| 3.5. Pelaksanaan Penelitian.....                                     | 38        |
| 3.5.1.Pelaksanaan Penelitian.....                                    | 38        |
| 3.5.2.Pemeriksaan Bahan dan Peralatan .....                          | 38        |
| 3.5.3.Perencanaan Campuran Fero semen .....                          | 40        |
| 3.5.4.Pembuatan Benda Uji Fero semen .....                           | 40        |
| 3.5.5.Perawatan Benda Uji Fero semen ( <i>Curing</i> ) .....         | 45        |
| 3.5.6.Pengujian Benda Uji Fero semen.....                            | 46        |
| 3.5.7.Analisa Pengujian Fero semen.....                              | 54        |
| 3.5.8.Diagram Alir Penelitian .....                                  | 56        |
| <b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                                 | <b>57</b> |
| 4.1. Umum .....                                                      | 57        |
| 4.2. Hasil Pemeriksaan Bahan .....                                   | 57        |
| 4.3. Perencanaan Campuran Fero semen .....                           | 58        |
| 4.4. Pengujian Mortar Fero semen.....                                | 59        |
| 4.4.1.Pengujian Kuat Lentur Mortar .....                             | 59        |
| 4.4.2.Pengujian Kuat Tekan Mortar.....                               | 61        |
| 4.5. Pengujian Lentur Dua Titik Pembebanan Panel Fero semen.....     | 62        |
| 4.6. Pengujian Geser Beban Geser Terpusat.....                       | 66        |
| 4.7. Analisis Teoritis Panel Fero semen.....                         | 68        |
| 4.7.1.Analisis Teoritis Lentur Panel Fero semen.....                 | 69        |
| 4.7.2.Analisis Teoritis Geser Terpusat Panel Fero semen .....        | 74        |
| 4.7.3.Perbandingan Hasil Pengujian dan Analisis Teoritis Penampang . | 76        |
| <b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>                                 | <b>78</b> |
| 5.1. Kesimpulan .....                                                | 78        |
| 5.2. Saran .....                                                     | 79        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                          | <b>80</b> |
| <b>LAMPIRAN</b>                                                      |           |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar                                                     | Halaman |
|------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Pengujian lentur mortar fero semen .....                | 14      |
| 2. Patahan uji lentur yang akan diuji tekan .....          | 15      |
| 3. Benda uji tulangan kawat ayam .....                     | 16      |
| 4. Pembebanan dua titik tepusat pada benda uji .....       | 19      |
| 5. Tampak samping pembebanan pada benda uji .....          | 20      |
| 6. Tanpa katas pembebanan pada benda uji.....              | 21      |
| 7. Luas akibat pembebanan geser terpusat.....              | 21      |
| 8. Benda uji panel fero semen berbentuk pelat U .....      | 27      |
| 9. Analisis penampang ekuivalen panel fero semen .....     | 27      |
| 10. Semen.....                                             | 31      |
| 11. Tampak samping memanjang penulangan panel .....        | 32      |
| 12. Tampak samping memendek penulangan panel .....         | 32      |
| 13. Tampak atas penulangan panel .....                     | 32      |
| 14. Penulangan panel fero semen.....                       | 32      |
| 15. Pasir.....                                             | 33      |
| 16. Air .....                                              | 34      |
| 17. Bahan tambahan ( <i>Admixtures</i> ).....              | 35      |
| 18. Cetakan yang digunakan pada pengujian fero semen ..... | 36      |
| 19. Mesin molen beton.....                                 | 36      |
| 20. Mesin <i>CTM</i> .....                                 | 37      |
| 21. <i>Loading frame</i> .....                             | 38      |
| 22. <i>Dial gauge</i> .....                                | 38      |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 23. Satu set saringan .....                                            | 39 |
| 24. Oven .....                                                         | 39 |
| 25. Timbangan .....                                                    | 40 |
| 26. Benda uji mortar fero semen.....                                   | 41 |
| 27. Benda uji panel fero semen.....                                    | 43 |
| 28. Potongan arah memanjang benda uji panel fero semen.....            | 43 |
| 29. Potongan arah memendek benda uji panel fero semen.....             | 44 |
| 30. Penimbangan bahan penyusun fero semen .....                        | 48 |
| 31. Pecampuran bahan dengan mesin molen .....                          | 49 |
| 32. Memasukkan campuran mortar kedalam cetakan.....                    | 49 |
| 33. Membuka cetakan mortar.....                                        | 50 |
| 34. Menyiapkan cetakan fero semen.....                                 | 50 |
| 35. Merakit tulangan panel.....                                        | 51 |
| 36. Memasang kawat ayam pada tulangan panel.....                       | 51 |
| 37. Meletakkan rangkaian tulangan pada cetakan. ....                   | 52 |
| 38. Memasukkan campuran fero semen pada cetakan.....                   | 52 |
| 39. Melakukan proses <i>curing</i> .....                               | 53 |
| 40. Skema pengujian lentur mortar fero semen .....                     | 54 |
| 41. Modifikasi pada pengujian lentur mortar fero semen .....           | 55 |
| 42. Skema pengujian tekan mortar fero semen.....                       | 56 |
| 43. Modifikasi pada pengujian tekan mortar fero semen.....             | 56 |
| 44. Skema pengujian lentur dengan dua titik pembebanan.....            | 57 |
| 45. Modifikasi pada pengujian lentur dengan dua titik pembebanan ..... | 58 |
| 46. Skema pengujian geser dengan beban geser terpusat .....            | 59 |

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 47. Modifikasi pada pengujian geser beban geser terpusat..... | 60 |
| 48. Benda uji tarik tulangan yang dipersiapkan .....          | 60 |
| 49. Skema pengujian kuat tarik tulangan .....                 | 61 |
| 50. Benda uji tarik tulangan setelah pengujian .....          | 61 |
| 51. Benda uji tarik kawat ayam yang dipersiapkan .....        | 62 |
| 52. Skema pengujian kuat tarik kawat ayam.....                | 62 |
| 53. Benda uji tarik kawat ayam setelah pengujian.....         | 63 |
| 54. Pengujian kuat lentur mortar.....                         | 69 |
| 55. Pengujian kuat tekan mortar .....                         | 71 |
| 56. Pengujian kuat tekan mortar .....                         | 72 |
| 57. Pola retakan yang timbul pada benda uji panel.....        | 74 |
| 58. Pengujian geser beban terpusat .....                      | 76 |
| 59. Pola retakan pada benda uji panel.....                    | 77 |
| 60. Penggambaran perhitungan penampang ferosemen.....         | 78 |
| 61. Letak sumbu netral penampang ferosemen.....               | 80 |
| 62. Detail potongan penampang perhitungan geser .....         | 83 |

## DAFTAR TABEL

| Tabel                                                             | Halaman |
|-------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Komposisi material pembentuk fero semen.....                   | 7       |
| 2. Variabel pengujian kuat lentur mortar fero semen.....          | 38      |
| 3. Variabel pengujian kuat tekan mortar fero semen .....          | 39      |
| 4. Variabel pengujian untuk panel fero semen.....                 | 41      |
| 5. Hasil pemeriksaan bahan (agregat halus).....                   | 60      |
| 6. Hasil pemeriksaan bahan ( kuat tarik tulangan).....            | 60      |
| 7. Hasil pemeriksaan bahan (kuat tarik kawat ayam) .....          | 60      |
| 8. Komposisi campuran fero semen.....                             | 61      |
| 9. Hasil pengujian lentur dua titik pembebanan.....               | 62      |
| 10. Hasil pengujian kuat tekan mortar .....                       | 63      |
| 11. Ringkasan hasil pengujian lentur panel fero semen.....        | 63      |
| 12. Ringkasan pola retakan pengujian lentur panel fero semen..... | 68      |
| 13. Ringkasan hasil pengujian geser panel fero semen.....         | 69      |
| 14. Perbandingan hasil pengujian dan analisis.....                | 78      |



## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Konstruksi bangunan di Indonesia, tidak lepas dari keberadaan struktur beton atau bahan konstruksi yang berasal dari beton bertulang. Terdapat inovasi material substitusi beton yang dinilai lebih baik, yaitu fero semen [1]. Fero semen adalah struktur beton bertulang tipis yang terdiri dari dua komponen penyusun utama, yaitu matriks dan tulangan [2]. Matriks atau mortar adalah campuran antara semen hidrolis, pasir, air, dan bahan tambahan (*admixtures*) [3]. Matriks ini merupakan material komposit yang berfungsi untuk mengendalikan susut, menetapkan waktu, dan meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Komponen lainnya adalah tulangan, yang terdiri dari tulangan baja dan kawat ayam. Tulangan baja berfungsi sebagai penulangan dan pembentuk rangka fero semen dan kawat ayam berfungsi untuk pereduksi dan pendistribusi tekanan secara merata permukaan fero semen [3].

Terdapat berbagai macam bentuk pengaplikasian struktur fero semen, salah satunya adalah struktur fero semen berupa panel. Panel fero semen sendiri memiliki keunggulan dalam pengerjaannya antara lain : mudah diterapkan diberbagai konstruksi sesuai dengan kreasi perencananya [4], tingkat efisiensi dan ekonomis yang baik [5], memiliki sifat ketahanan terhadap karat [6], Memungkinkan untuk dipabrikasi (metode pra-cetak) sehingga mudah dalam pengerjaan dan penghematan bahan cetakan, mudah diperbaiki jika terjadi kerusakan.

Selain keunggulan dalam pengerjaannya, panel fero semen juga memiliki keunggulan dari sifat mekaniknya. Untuk fero semen sendiri, sifat dan kekuatannya dipengaruhi oleh ukuran tulangan, kekuatan mortar, kekakuan bentuk struktur, cara pembuatan dan pengolahannya [3]. Keunggulan mekanik fero semen antara lain memiliki sifat-sifat seragam dalam dua arah,

memiliki kuat tarik dan kuat lentur yang tinggi, memiliki ratio tulangan yang tinggi, proses retak dan perluasan retak yang berbeda pada beban tarik, daktilitas meningkat sejalan dengan peningkatan rasio tulangan anyam, kedap air tinggi, dan ketahanan terhadap beban kejut [7].

Sehingga pada penelitian ini, penulis mengambil judul penelitian “Sifat Mekanik Panel Fero semen Akibat Beban Lentur Dan Geser Terpusat”. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tentang karakteristik sifat mekanis panel fero semen akibat pembebanan berupa lentur dua titik dan geser terpusat. Pengujian juga dilakukan terhadap bahan penyusun panel fero semen seperti pengujian terhadap mortar, tulangan baja, dan kawat ayam. Kemudian keseluruhan hasil pengujian tadi akan dijadikan sebagai data *input* perhitungan dan dibandingkan dengan hasil analisis teoritisnya.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, Penulis merumuskan permasalahan yang akan diteliti adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sifat mekanik material penyusun komponen panel fero semen.
2. Bagaimana sifat mekanik panel fero semen akibat pengujian beban lentur dua titik dan pengujian beban geser terpusat.
3. Bagaimana perbandingan antara hasil pengujian panel fero semen dengan hasil perhitungan analisis teoritis.

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Semen yang digunakan adalah semen PCC merk Semen Padang.
2. Pengujian kuat tekan dan lentur mortar fero semen, dengan komposisi perbandingan 1 : 2,5 : 0,35 untuk perbandingan semen, pasir dan air.
3. Pengujian kuat tarik kawat, pada benda uji Ø0,5 mm dengan bukaan celah berukuran 1,25 cm x 1,25 cm sebanyak satu lapis.
4. Pengujian kuat tarik tulangan baja, digunakan tulangan Ø6 mm untuk penulangan utama panel.

5. Benda uji panel fero semen berbentuk pelat U dengan rib dipinggir berukuran 120 cm x 80 cm x 8 cm dan tebal permukaan 2,5 cm
6. Pengujian dan perawatan benda uji mortar dan panel fero semen setelah umur beton berusia 28 hari. Hal ini sesuai dengan ketentuan SNI 1974:2011 [11] tentang metode pengujian kuat tekan beton.
7. Hasil pengujian beban lentur dengan dua titik berupa : kuat lentur, beban maksimum, lendutan maksimum, dan pola retakan yang timbul.
8. Hasil pengujian beban geser terpusat berupa : kuat geser terpusat, beban maksimum, dan pola retakan yang timbul.
9. Hasil dari pengujian bahan penyusun fero semen dijadikan data *input* perhitungan analisis teoritis panel fero semen dan dibandingkan dengan hasil pengujian panel fero semen.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui :

1. Sifat mekanik material penyusun komponen panel fero semen.
2. Sifat mekanik panel fero semen akibat pengujian beban lentur dua titik dan pengujian beban geser terpusat.
3. Perbandingan antara hasil pengujian panel fero semen dengan hasil perhitungan analisis teoritis.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Diharapkan penyusunan tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk:

1. Menambah pengetahuan mengenai karakteristik sifat mekanik panel fero semen.
2. Sebagai bahan pertimbangan dan masukan dalam perencanaan fero semen.
3. Sebagai referensi untuk dilakukan penelitian lebih lanjut.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian Fero semen

Fero semen merupakan struktur beton bertulang tipis, dimana biasanya campuran semen hidrolis dan agregat halus yang diperkuat dengan lapisan-lapisan anyaman kawat yang berdiameter kecil dan menerus [1]. Pengerjaan fero semen biasanya diaplikasikan pada konstruksi yang tidak terlalu memerlukan pekerja dengan *skill* tinggi dan tidak memerlukan alat dengan teknologi yang canggih. Dari penelitian yang sudah dilakukan, teknologi fero semen terbukti dapat dengan mudah diterapkan, hasilnya tahan lama, dan lebih ekonomis dalam pengerjaannya.

Fero semen berbeda dari beton bertulang biasa, hal itu bisa diamati dari bahan serta cara pengaplikasian yang sedemikian rupa sehingga memberikan sifat-sifat yang sangat berbeda dengan beton bertulang, sehingga fero semen memiliki keunggulan dibanding dengan struktur beton bertulang. Beberapa keunggulan tersebut misalnya:

1. Memiliki efisiensi penggunaan material yang lebih ringan, tipis dan ekonomis
2. Dapat mengeliminasi tebal dan persentase tulangan optimal yang digunakan
3. Mudah diterapkan diberbagai konstruksi sesuai dengan kreasi perencananya [4]
4. Dapat mereduksi tekanan dari luar dan keretakan yang timbul terhadap beton didistribusikan secara merata [2]
5. Memiliki sifat ketahanan terhadap karat dikarenakan campuran mortar yang terdiri dari semen, pasir, dan air memiliki sifat homogen [6].
6. Memungkinkan untuk dipabrikasi, kemudahan pengerjaan dan penghematan bahan cetakan

7. Mudah diperbaiki jika kerusakan terjadi.

Dalam dunia konstruksi yang semakin berkembang, penggunaan fero semen sebagai bahan konstruksi semakin bermunculan. Hal itu mengakibatkan banyaknya penelitian terhadap fero semen dan penggunaannya sehingga semakin banyak inovasi dan lebih mudah digunakan untuk berbagai kebutuhan di bidang konstruksi.

## **2.2 Sifat Mekanik Fero semen**

Sifat mekanik merupakan sifat yang mempengaruhi kekuatan mekanik dan kemampuan suatu material ketika diberikan pelakuan mekanis pada material tersebut. Beberapa sifat mekanik suatu material antara lain : ketangguhan, kekuatan, kemampuan pengerasan dan kekerasan, sifat lunak, kerapuhan, dan keuletan [8]. Sifat dan kekuatan mekanik fero semen dipengaruhi oleh ukuran tulangan, kekuatan mortar, kekakuan bentuk struktur, cara pembuatan dan pengolahannya [3]. Sifat mekanik fero semen antara lain sifat-sifat seragam dalam dua arah, memiliki kuat tarik dan kuat lentur yang tinggi, memiliki ratio tulangan yang tinggi, proses retak dan perluasan retak yang berbeda pada beban tarik, daktilitas meningkat sejalan dengan peningkatan rasio tulangan anyam, kedap air tinggi, dan ketahanan terhadap beban kejut [7].

## **2.3 Bahan Pembentuk Fero semen**

Bahan pembentuk fero semen terdiri dari 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, dan bahan tambah (*admixtures*). Sedangkan komponen lain adalah tulangan, yang terdiri dari tulangan baja dan kawat ayam (wiremesh). Tulangan baja berfungsi sebagai penulangan dan pembentuk rangka fero semen, serta kawat ayam berfungsi untuk pereduksi dan pendistribusi tekanan secara merata permukaan fero semen. Dapat dilihat

pada Tabel 1, penjabaran komposisi material pembentuk fero semen sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi material pembentuk fero semen

| Sifat                  | Uraian                           | Keterangan                          |
|------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Komposisi Mortar       | Jenis semen Portland             | Disesuaikan dengan tujuan pemakaian |
|                        | Perbandingan Semen : Pasir (C/S) | Perbandingan berat (1 - 2,5)        |
|                        | Perbandingan Air : Semen (W/C)   | Perbandingan berat (0,35 - 0,65)    |
| Penulangan Kawat Anyam | Jenis kawat                      | Segiempat, heksagonal, wajak        |
|                        | 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                        |

### 2.3.1. Mortar

Mortar adalah campuran antara semen *portland*, agregat halus (pasir), air, dan *admixture* tambahan lainnya. Dalam pemilihan material dan pencampuran mortar, dilakukan dengan seksama. Hal itu dikarenakan, mortar mempunyai pengaruh yang sangat besar pada sifat mekanik fero semen. Menurut Tabel 1, Komposisi mortar untuk fero semen sebaiknya memiliki perbandingan berat semen terhadap pasir antara 1 – 2,5 dan perbandingan berat air terhadap semen (*water cement ratio*) antara 0,35 – 0,65.

### 2.3.2. Semen Portland

Semen Portland atau Portland Cement (PC) adalah semen hidrolis yang berfungsi sebagai perekat diantara bahan-bahan penyusun lainnya. Komposisi utama dari semen jenis ini adalah kalsium silikat dan almunium sulfat yang bersifat hidrolis, dibuat dengan cara menggiling keduanya secara bersamaan sehingga menjadi serbuk halus mineral kristalin. Hidrasi dari semen portland merupakan proses kimiawi berupa rekristalisasi yang dapat menghasilkan kekuatan

dalam bentuk kristal-kristal yang saling mengunci, sehingga terbentuk gel semen yang apabila mengeras mempunyai kekuatan tinggi. Semen *Portland* sendiri terbagi atas beberapa jenis yaitu Semen *Portland Pozzoland (PPC)*, Semen *Portland Ordinary (OPC)*, dan Semen *Portland Composite (PCC)*.

Semen *Portland Pozzoland (PPC)* adalah semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozzolan halus. Dalam perancangan pabrik semen ini akan digunakan proses kering dalam proses produksinya. Proses kering ini dipilih karena lebih ekonomis dibandingkan proses produksi semen lainnya.

Semen *Portland Ordinary (OPC)* adalah semen hidrolis yang terdiri dari campuran batu kapur dan bahan baku lainnya seperti *argillaceous*, *calcareous*, dan gipsum. Semen ini memiliki kekuatan awal yang lebih tinggi dibandingkan dengan semen lainnya. Semen ini menghasilkan lebih banyak panas selama proses hidrasi, sehingga kurang cocok untuk aplikasi pengecoran massal di mana panas berlebih dapat menyebabkan keretakan.

Semen *Portland Composite (PCC)* adalah semen hidrolis yang terbuat dari penggilingan terak (dinker) semen portland dengan gipsum atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lainnya. Semen ini dapat digunakan untuk berbagai macam konstruksi umum pada berbagai macam mutu beton pada bangunan perumahan, bangunan bertingkat, jembatan, jalan raya, landasan pacu pesawat udara, bendungan, bangunan irigasi, pembuatan acian dan bahan bangunan dan lain-lain.

### **2.3.3. Agregat Halus**

Agregat adalah butiran mineral yang merupakan hasil disintegrasi alami dari batuan atau batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Untuk fero semen, agregat yang digunakan adalah agregat halus, dikarenakan ukuran tebal fero semen yang berkisar antara 10 mm



sampai dengan 50 mm. Oleh karena itu, fero semen tergolong struktur yang lebih ringan jika dibandingkan dengan beton bertulang pada umumnya selain dikarenakan ukuran profilnya sendiri.

Ukuran gradasi agregat halus atau pasir harus lolos dari saringan no.4 dan tertahan pada saringan no.100 saringan standar amerika. Untuk menguji kadar zat organik dalam agregat, dilakukan pengujian menggunakan larutan NaOH 3% sehingga menghasilkan warna standar yang diperbolehkan. Standar penggunaan pasir oleh *American Concrete Institute* (ACI) commite 304 adalah pasir yang lolos saringan no 50 (0,30 mm) berkisar antara 15 % sampai dengan 30 %. Namun bagaimanapun, ukuran partikel maksimum harus dikontrol oleh kendala konstruksi seperti ukuran jaringan kawat dan jarak antar jaringan kawat.

Mutu suatu agregat juga ditentukan oleh kandungan lumpur yang bercampur dan ikut pada saat pengambilan dari sumber penambangan material. Jumlah kandungan lumpur yang diijinkan dalam agregat halus adalah maksimal 5% dari seluruh berat agregat karena bila terlalu banyak akan sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton.

#### **2.3.4. Air**

Air adalah salah satu bahan dasar pembuatan mortar yang penting. Air bereaksi dengan semen membuat pasta beton dan juga menjadi pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam dan lainnya), asalkan memenuhi syarat mutu yang ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton atau mortar.

Menurut ACI Commite 549 [2], Air yang digunakan dalam campuran mortar harus bersih dan tidak mengandung zat kimia merugikan. Airnya harus bebas dari bahan organik, lumpur, minyak, gula, klorida, dan bahan bersifat asam. Air harus mempunyai  $\text{pH} \geq 7$  untuk

meminimalkan penurunan pH dalam adukan mortar. Air garam tidak diperbolehkan, tetapi air minum yang berklorinasi dapat digunakan. Air dengan konsentrasi tinggi dari zat terlarut juga harus dihindari.

#### **2.3.5. Tulangan Dan Kawat Ayam**

Tulangan pada beton digunakan untuk menahan gaya-gaya yang bekerja pada beton, baik itu untuk pembebanan, puntir, maupun lentur yang akan mengakibatkan retak dan patah pada beton. Tulangan yang digunakan pada fero semen dibedakan menjadi dua, yaitu tulangan baja dan kawat ayam. Tulangan baja difungsikan sebagai penulangan dan pembentuk rangka fero semen, serta kawat ayam difungsikan sebagai pereduksi dan pendistribusi tekanan yang diberikan tersebar merata permukaan fero semen.

Tulangan baja merupakan material utama yang diperhitungkan sebagai penahan gaya tarik pada konstruksi beton bertulang. Hal ini dikarenakan sifat beton normal yang lemah terhadap gaya tarik sehingga digunakan tulangan baja untuk menahannya. Pemakaian tulangan baja juga dimaksudkan untuk meningkatkan kekuatan beton dan menghindari patah getas pada beton akibat pembebanan.

Kawat ayam adalah salah satu bahan pengisi beton fero semen yang, terbuat dari barisan paralel berbagai material dan paduan logam yang dirangkai saling berpotongan dengan cara di las atau dianyam, dalam jumlah banyak dan berbentuk lembaran yang dapat digulung. Terdapat berbagai jenis kawat ayam yang dapat dibedakan berdasarkan bahan, bentuk, cara pengikatan dan ketebalan.

Umumnya jaringan kawat memiliki bentuk heksagonal atau persegi. Secara struktural, jaringan yang berbentuk heksagonal tidak seefisien jaringan yang berbentuk persegi karena jaringannya tidak terlalu mengorientasi dalam segala arah dari tegangan pokok (maksimum). Akan tetapi, jaringan heksagonal sangat fleksibel dan dapat digunakan dalam elemen ganda melengkung [9].

### 2.3.6. Bahan tambahan (*Admixtures*)

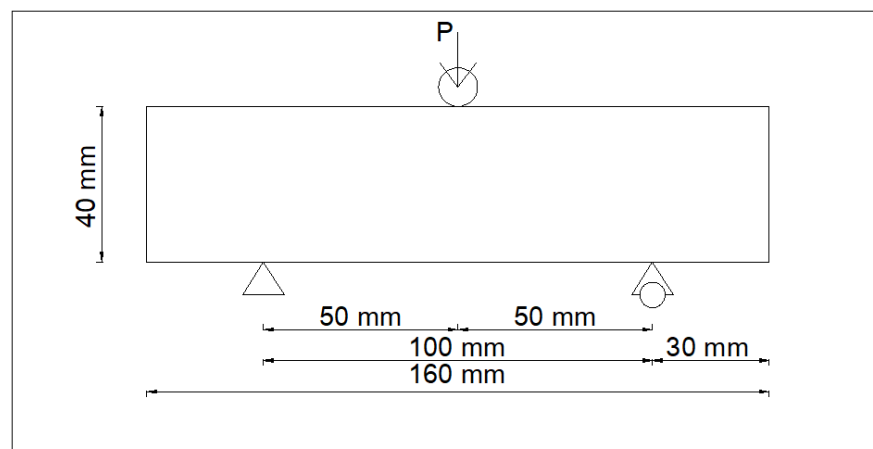
Bahan tambahan (*admixtures*) adalah bahan yang ditambahkan dalam campuran beton saat proses pengadukan, bertujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya. Bahan tambahan ini bisa berupa cairan atau bubuk, diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit, berfungsi untuk mengubah sifat beton agar lebih cocok untuk pekerjaan tertentu ataupun untuk menghemat biaya. Kadar bahan tambahan yang digunakan harus pas untuk campuran beton agar sifat beton tidak semakin buruk karena kadar yang berlebihan. Bahan tambahan *Admixtures* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu bahan tambahan kimiawi (*chemical*) dan bahan tambah mineral (*additive*).

## 2.4 Pengujian Panel Ferosemen

Pengujian yang akan dilakukan pada panel, meliputi pengujian struktur penyusun ferosemen dan pengujian yang dilakukan pada panel itu sendiri. Uji

### 2.4.1. Uji Kuat Lentur Mortar

Pengujian ini bertujuan untuk menghitung nilai kuat lentur pada benda uji mortar ferosemen yang dibuat. Benda uji memiliki dimensi dengan ukuran 160 mm x 40 mm x 40 mm, berdasarkan referensi BS EN 1015 : 2019 [10]. Penggambaran dan perletakan benda uji dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengujian lentur mortar ferosemen

Untuk menghitung nilai kuat lentur pada mortar menggunakan rumus sebagai berikut :

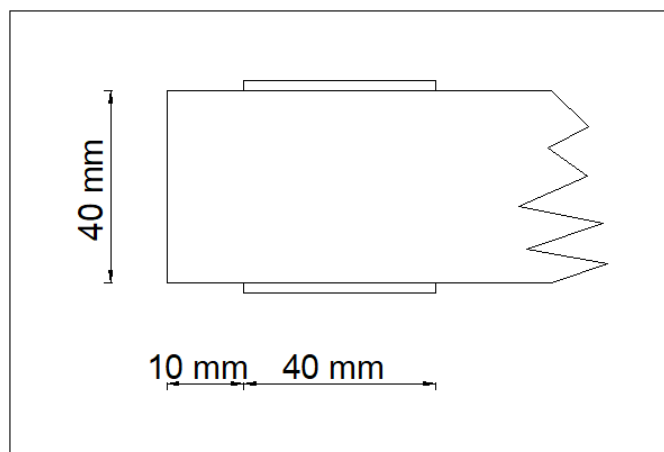
$$\sigma = \frac{3 PL}{2 bh^2} \dots\dots\dots 1$$

Keterangan :

$\sigma_l$  adalah kuat lentur yang diukur dalam satuan MPa, P adalah beban maksimum yang diukur dalam satuan N, L adalah panjang bentang antar tumpuan yang diukur dalam satuan mm, b adalah lebar benda uji yang diukur dalam mm, dan h adalah tinggi benda uji yang diukur dalam mm.

#### 2.4.2. Uji Kuat Tekan Mortar

Uji kuat tekan adalah pengujian yang dilakukan untuk menentukan nilai kuat tekan pada mortar ferosemen. Uji kuat tekan juga dapat diartikan sebagai gaya maksimum per satuan luas yang bekerja pada benda uji. Pengujian yang dilakukan menggunakan patahan benda uji kuat lentur ferosemen yang sudah patah akibat uji lentur. Hal ini berdasarkan referensi BS EN 1015 : 2019 [10]. Pengujian kuat tekan menggunakan alat CTM (Compression Testing Machine). Dapat dilihat pada Gambar 2, bentuk benda uji tekan mortar ferosemen.



Gambar 2. Patahan uji lentur yang akan diuji tekan

Menurut SNI 1974 : 2011 [11], untuk menghitung kuat tekan dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

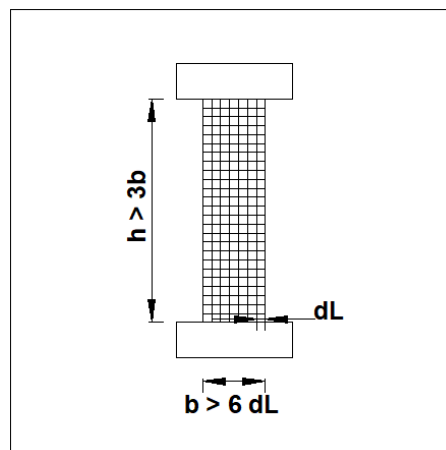
$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots 2$$

Keterangan :

$f'_c$  adalah kuat tekan beton yang diukur dalam satuan MPa, P adalah gaya tekan maksimum yang diukur dalam satuan N, dan A adalah satuan luas pembebanan benda uji yang diukur dalam satuan  $\text{mm}^2$ .

#### 2.4.3. Uji Kuat Tarik Kawat Ayam

Uji kuat tarik kawat ayam adalah pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat tarik tulangan kawat menggunakan alat yang sama dengan alat uji tarik tulangan, yaitu UTM (*Universal Testing Machine*). Menurut ACI Committee 549 [2], lebar benda uji pada pengujian jaring kawat tidak boleh kurang dari enam kali bukaan jaring kawat. Sedangkan panjang benda uji pada pengujian jaring kawat tidak boleh kurang dari tiga kali lebarnya atau 6 inci ( $\pm 150$  mm). Pada Gambar 3, dapat dilihat ukuran benda uji tulangan kawat ayam.



Gambar 3. Benda uji tulangan kawat ayam

Untuk menghitung kekuatan tarik dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Tegangan tarik putus kawat ayam ( $f_{y_w}$ )

$$f_{y_w} = \frac{P}{A_r} \dots\dots\dots 3$$

Regangan kawat ayam ( $\epsilon_r$ )

$$\epsilon_r = \frac{\Delta l}{l} \times 100 \% \dots\dots\dots 4$$

Modulus elastisitas kawat ayam

$$E_r = \frac{\sigma_r}{\epsilon_r} \dots\dots\dots 5$$

Keterangan :

$f_{y_w}$  adalah tegangan kawat ayam yang diukur dalam MPa, P adalah beban tarik yang diukur dalam satuan N, dan  $A_r$  adalah luas penampang dengan satuan  $\text{mm}^2$ .

$\epsilon_r$  adalah regangan kawat ayam yang dihitung dalam persen (%),  $\Delta l$  adalah pertambahan panjang yang diukur dalam satuan mm, dan  $l$  adalah panjang benda uji sebelum dibebani yang diukur dalam satuan mm.

$E_r$  adalah modulus elastisitas kawat ayam yang diukur dalam satuan MPa,  $\sigma_r$  adalah tegangan kawat ayam yang diukur dalam satuan MPa, dan  $\epsilon_r$  adalah regangan kawat ayam yang diukur dalam satuan persen (%).

#### 2.4.4. Uji Kuat Tarik Tulangan

Uji kuat tarik tulangan adalah pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat tarik, kuat tarik leleh dan kuat tarik putus tulangan. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat UTM atau *Universal Testing Machine*.

Berdasarkan SNI 07-2529-1991 [12], untuk menghitung kekuatan tarik dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Tegangan tarik putus ( $f_u$ )

$$f_u = \frac{P_{maks}}{A_{SO}} \dots\dots\dots 6$$

Tegangan tarik leleh ( $f_y$ )

$$f_y = \frac{P_y}{A_{SO}} \dots\dots\dots 7$$

Regangan maksimum

$$\epsilon_{max} = \frac{l_u - l_o}{l_o} \times 100\% \dots\dots\dots 8$$

Keterangan :

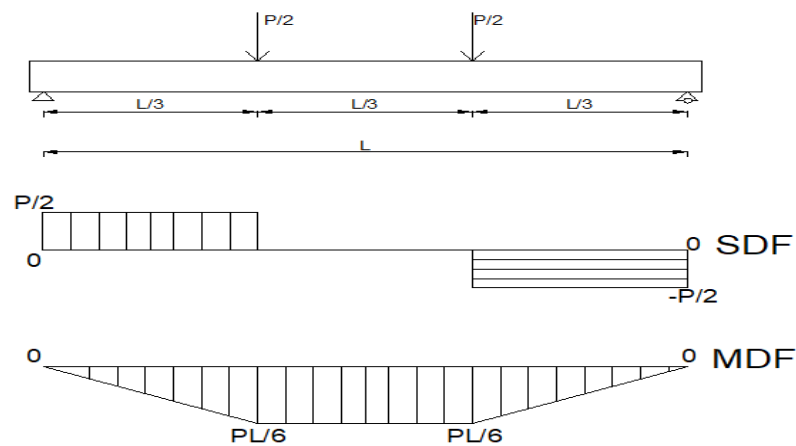
$f_u$  dan  $f_y$  adalah tegangan tarik putus dan leleh yang diukur dalam MPa,  $P_{maks}$  dan  $P_y$  adalah beban tarik maksimum dan beban tarik leleh yang diukur dalam satuan N, dan  $A_{SO}$  adalah luas penampang benda uji semula dengan satuan  $mm^2$ .

$\epsilon_{max}$  adalah regangan tulangan yang dihitung dalam persen (%),  $l_u$  adalah panjang sesudah dibebani yang diukur dalam satuan mm, dan  $l_o$  adalah panjang benda uji sebelum dibebani yang diukur dalam satuan mm.

#### 2.4.5. Uji Lentur Dua Titik Pembebanan Panel Fero semen

Kekuatan lentur adalah kemampuan benda menahan gaya atau beban dalam arah tegak lurus sumbu benda uji yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dalam arah tegak lurus yang diberikan, sampai benda uji patah. Pengujian kuat lentur dengan dua titik pembebanan dilakukan berdasarkan referensi SNI 4431 : 2011 [13] tentang cara uji kuat lentur beton dengan dua titik pembebanan. Dimana lendutan yang terjadi akan berada pada posisi pusat 1/3 panjang bentang bagian tengah. Hasil pengujian kuat lentur ini adalah beban ultimit yang mampu ditahan oleh panel fero semen, deformasi vertikal (lendutan) dan pola retakan yang terjadi akibat pembebanan. Beban dan lendutan yang didapat, digambarkan dalam bentuk kurva hubungan beban-lendutan yang nantinya akan dipergunakan untuk

menghitung kuat lentur (*toughness*). Pembebanan dua titik terpusat pada benda uji dan diagram lentur serta momen digambarkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pembebanan dua titik terpusat pada benda uji.

Untuk perhitungan kuat lentur dua titik pembebanan pada benda uji menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma_l = \frac{M}{W} \dots\dots\dots 9$$

Dimana,

$$M = \frac{PL}{6} \dots\dots\dots 10$$

Keterangan :

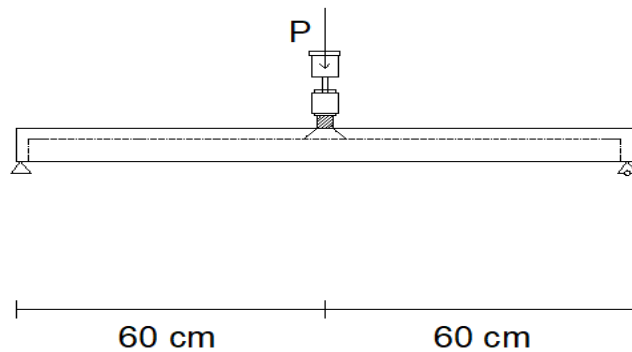
$\sigma_l$  adalah kuat lentur yang diukur dalam satuan MPa,  $M$  adalah momen yang diukur dalam satuan Nmm,  $W$  adalah momen tahanan panel yang diukur dalam satuan  $\text{mm}^3$ ,  $P$  adalah beban maksimum pada panel yang diukur dalam satuan N, dan  $L$  adalah panjang bentang antar tumpuan yang diukur dalam satuan mm.

#### 2.4.6. Uji Beban Geser Terpusat Panel Ferosemen

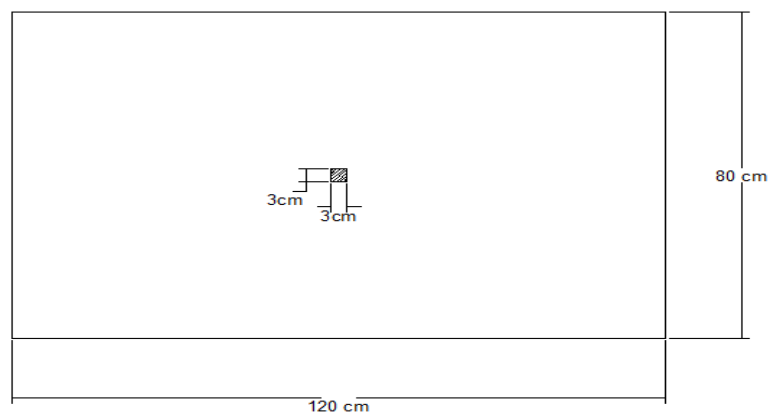
Penelitian yang akan dilakukan berdasarkan pengujian yang dilakukan oleh Asma dkk [14]. Pengujian dilakukan pada panel berbentuk pelat yang diberikan pembebanan berupa beban daerah terpusat (*punch*)



berukuran 3cm x 3cm di tengah bentang. Pengujian ini bertujuan untuk melihat kegagalan atau keruntuhan geser setempat (ponds) dari benda uji yang diberikan pembebanan tersebut. Dapat terlihat pada Gambar 5 dan 6, Kondisi pembebanan geser terpusat pada panel fero semen.

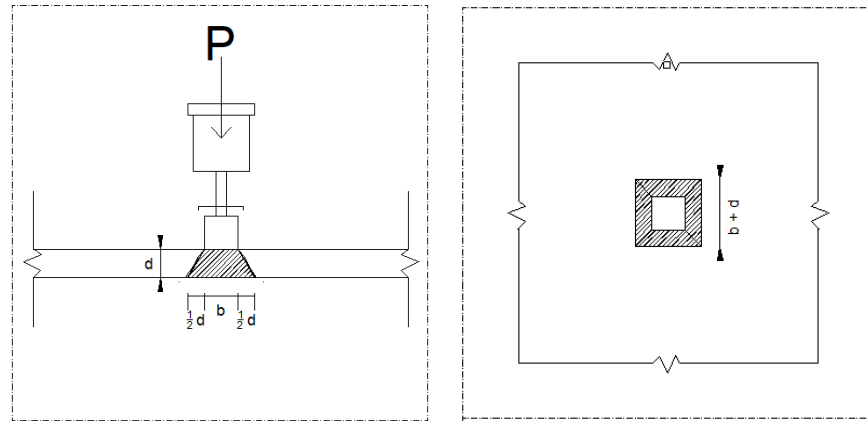


Gambar 5. Tampak samping pembebanan pada benda uji.



Gambar 6. Tampak atas pembebanan pada benda uji.

Hasil dari uji geser beban geser terpusat ini adalah pola retakan akibat pembebanan dan beban *punch* maksimum. Retak akibat geser terpusat (*punching shear*) memiliki pola retakan yang radial (menyebar keseluruh permukaan) dan tangensial disekeliling muka pembebanan, sehingga seakan-akan menembus panel dengan bentuk seperti konus [15]. Dari beban *punch* maksimum, didapatkan nilai kuat geser dengan menghitung luas akibat pembebanan. Dapat dilihat potongan benda uji, akibat pembebanan pada Gambar 7.



Gambar 7. Luas akibat pembebanan geser terpusat

Untuk perhitungan kuat geser terpusat pada benda uji menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma_{shear} = \frac{P}{A_{shear}} \dots\dots\dots 11$$

Dimana,

$$A_s = 2d^2 \sqrt{\frac{5}{4}} + 4db \sqrt{\frac{5}{4}} \dots\dots\dots 12$$

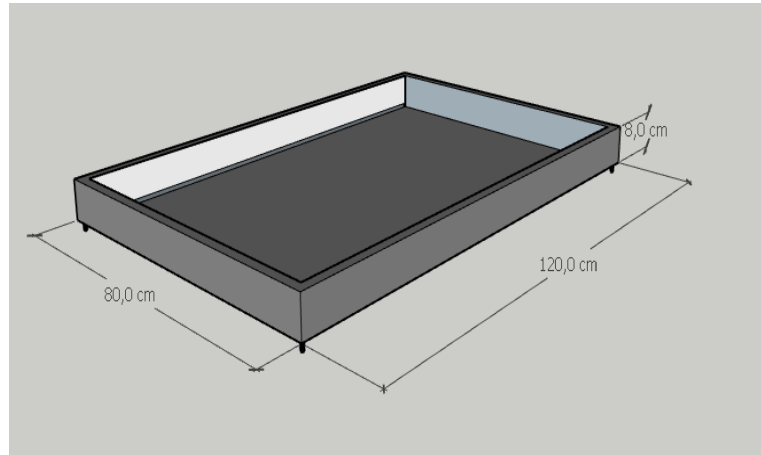
Keterangan :

$\sigma_s$  adalah kuat geser (*Punching Shear*) yang diukur dalam satuan MPa,  $A_s$  adalah Luas akibat pembebanan geser yang diukur dalam satuan  $\text{mm}^2$ ,  $P$  adalah beban terpusat maksimum panel yang diukur dalam satuan N,  $d$  adalah tebal panel yang diukur dalam satuan mm dan  $b$  adalah lebar pembebanan terpusat yang diukur dalam satuan mm.

## 2.5 Analisis Teroris Panel Fero semen

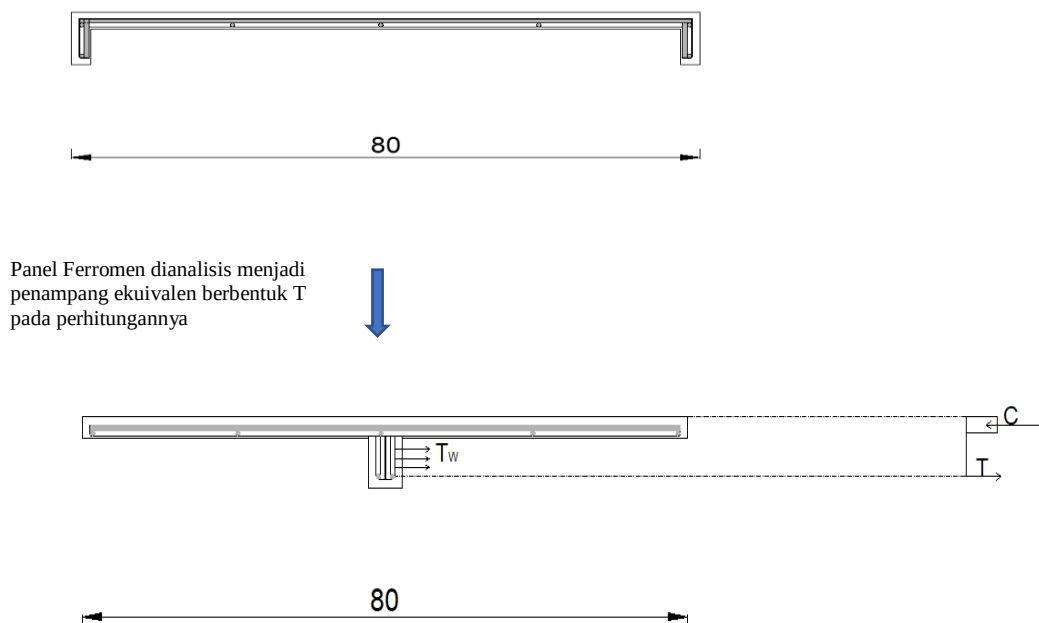
Benda uji panel fero semen berbentuk pelat U dengan rib yang memiliki ukuran 120 cm x 80 cm x 8 cm dengan tebal permukaan 2,5 cm. Panel tersebut pada perencanaannya digolongkan sebagai konstruksi fero semen atap lipat. Berdasarkan analisis teknisnya, penampang melintang fero semen pada umumnya dapat ditransformasikan ke dalam suatu penampang ekuivalen. Tujuan hal tersebut ditujukan agar momen inersia pada sumbu netral dan luas total penampang sama dengan penampang sebenarnya sehingga

mempermudah analisis dalam bentuk penampang yang lebih kompleks [3]. Dapat dilihat pada Gambar 8, bentuk benda uji panel ferosemen yang berbentuk pelat U.



Gambar 8. Benda uji panel ferosemen berbentuk pelat U

Pada benda uji panel ferosemen diatas, diletakkan pembebanan pada arah memanjang, sehingga penampang panel ferosemen pada arah memendek dianalisis dengan penampang ekuivalen yang berbentuk seperti penampang T. Hal itu dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Analisis penampang ekuivalen panel ferosemen

Analisis teoritis penampang fero semen yang akan dilakukan yaitu analisis teoritis terhadap pengujian lentur dan geser.

### 2.5.1. Analisis Teoritis Panel Fero semen

Analisis teoritis lentur panel fero semen berdasarkan referensi dari buku “pengantar fero semen” oleh Djausal [3]. Analisis teoritis lentur dimulai dari :

#### 1. Menghitung volume fraksi tulangan tekan dan tarik

$$V_f = \frac{(n_w \times \pi \times d_w^2)}{(4 \times h_f c)} \times \left(\frac{1}{DT}\right) \dots\dots\dots 13$$

$$V_s = \left(\frac{\pi \times d_s^2}{4 \times h_f c \times b}\right) \dots\dots\dots 14$$

$$V_{fr} = V_f + V_s \left(\frac{f_{ys}}{f_{yw}}\right) \dots\dots\dots 15$$

$$V_m = (1 - V_{fr}') \dots\dots\dots 16$$

Keterangan :

$V_f$  adalah volume fraksi tulangan kawat ayam dengan mortar,  $n_w$  adalah banyak lapisan kawat ayam ,  $d_w$  adalah diameter tulangan kawat ayam (mm),  $h_f c$  adalah tebal permukaan (mm),  $DT$  adalah jarak antar celah tulangan kawat ayam (mm),  $V_s$  adalah volume fraksi tulangan baja dengan mortar,  $d_s$  adalah diameter tulangan baja (mm),  $V_s$  adalah volume fraksi tulangan total dengan mortar,  $f_{ys}$  adalah kuat tarik tulangan baja (MPa),  $f_{yw}$  adalah kuat tarik tulangan kawat ayam (MPa), dan  $V_m$  volume fraksi mortar.

#### 2. Menentukan sumbu netral sementara pada potongan panel

Daerah tekan

$$= (f_c' \times V_m' + f_{yw} \times V_{fr}') b' x h' \dots\dots\dots 17$$

Daerah tarik

$$= (f_{yw} \times V_{fr}) b w \times h w \dots\dots\dots 18$$

Keterangan :

$f_m'$  adalah kuat tekan mortar (MPa),  $V_m'$  adalah volume fraksi mortar,  $b'$  adalah lebar daerah tekan (mm),  $h'$  adalah tebal daerah tekan (mm),  $b_w$  adalah lebar daerah tarik (mm),  $h_w$  adalah tebal daerah tarik (mm),  $V_{fr}'$  adalah volume fraksi tulangan total dengan mortar daerah tekan,  $V_{fr}$  adalah volume fraksi tulangan total dengan mortar daerah tarik, dan  $f_{yw}$  adalah kuat tarik tulangan kawat ayam (MPa).

### 3. Menghitung reduksi tulangan

$$N_o = \frac{E_f}{E_m} \dots\dots\dots 19$$

$$E_m = 4700\sqrt{f_m'} \dots\dots\dots 20$$

$$V_{fre} = V_f + V_s\left(\frac{E_s}{E_f}\right) \dots\dots\dots 21$$

$$V_{fr'e} = V_{f'} + V_{s'}\left(\frac{E_s}{E_f}\right) \dots\dots\dots 22$$

Keterangan :

$N_o$  adalah reduksi modulus elastisitas tulangan kawat ayam dan mortar,  $E_f$  adalah modulus elastisitas tulangan kawat ayam (MPa),  $E_m$  adalah modulus elastisitas mortar (MPa),  $f_m'$  adalah kuat tekan mortar (MPa),  $V_{fr}'$  adalah volume fraksi tulangan total dengan mortar daerah tekan,  $V_{fr}$  adalah volume fraksi tulangan total dengan mortar daerah tarik, dan  $E_s$  adalah modulus elastisitas tulangan baja (MPa).

### 4. Menghitung permukaan reduksi, statis momen dan garis netral

$$F_r = b' \times h' \times (1 + N_o \times V_{fr'e}) + b_w \times h_w \times (1 + N_o \times V_{fre}) \dots\dots\dots 23$$

$$S_r = b' \times h' \times (1 + N_o \times V_{fr'e})\left(h - \frac{h'}{2}\right) + b_w \times h_w \times (1 + N_o \times V_{fre})\left(\frac{h_w}{2}\right) \dots\dots\dots 24$$

$$Y_r = \frac{S_r}{F_r} \dots\dots\dots 25$$

Keterangan :

Fr adalah luas permukaan reduksi ( $\text{mm}^2$ ), No adalah reduksi modulus elastisitas tulangan kawat ayam dan mortar,  $b'$  adalah lebar daerah tekan (mm),  $h'$  adalah tebal daerah tekan (mm),  $b_w$  adalah lebar daerah tarik (mm),  $h_w$  adalah tebal daerah tarik (mm),  $S_r$  adalah statis momen penampang ( $\text{mm}^3$ ),  $V_{fr}'$  adalah volume fraksi tulangan total dengan mortar daerah tekan, dan  $V_{fr}$  adalah volume fraksi tulangan total dengan mortar daerah tarik,  $Y_r$  adalah garis netral penampang (mm).

5. Menghitung momen inersia, momen tahanan, dan kemampuan menahan lentur

$$I_r = \left( \frac{1}{12} x b_1 x h_1^3 + A_1 \left( h - y_r - \frac{h_1}{2} \right)^2 \right) x (1 + N_o x V_{fr}') + \left( \frac{1}{12} x b_w x h_w^3 + A_w \left( y_r - \frac{h_w}{2} \right)^2 \right) x (1 + N_o x V_{fr}) \dots\dots\dots 26$$

$$W_r = \frac{I_r}{Y_r} \dots\dots\dots 27$$

$$M_u = (f_{yw} x V_{fr}) x b_w x h_w x \left( y_r - \frac{h_w}{2} \right) + (f_{yw} x V_{fr}') x b_1 x h_1 x \left( y_r - \frac{h_1}{2} \right) \dots\dots\dots 28$$

Keterangan :

$I_r$  adalah momen inersia penampang ( $\text{mm}^4$ ),  $W_r$  adalah momen tahanan penampang ( $\text{mm}^3$ ),  $M_u$  adalah kemampuan penampang menahan lentur (N),  $N_o$  adalah reduksi modulus elastisitas tulangan kawat ayam dan mortar,  $b'$  adalah lebar daerah tekan (mm),  $h'$  adalah tebal daerah tekan (mm),  $b_w$  adalah lebar daerah tarik (mm),  $h_w$  adalah tebal daerah tarik (mm),  $S_r$  adalah statis momen penampang ( $\text{mm}^3$ ),  $V_{fr}'$  adalah volume fraksi tulangan total dengan mortar daerah tekan, dan  $V_{fr}$  adalah volume fraksi tulangan total dengan mortar daerah tarik,  $Y_r$  adalah garis netral penampang (mm).

## 6. Menghitung beban lentur maksimum dan tegangan lentur

Fase B (kondisi retak pertama)

$$SL = \frac{4Vf}{dw} \dots\dots\dots 29$$

$$\sigma_{cr} = 24,5 \times SL + S_{mu} \dots\dots\dots 30$$

$$q = 6 \times \frac{\sigma_{cr} \times W}{L_{bersih}} \dots\dots\dots 31$$

Fase C (kondisi maksimum)

Menghitung tegangan lentur dapat menggunakan rumus pada pers.

9, untuk menghitung beban maksimum dapat menggunakan rumus :

$$q = \frac{M_u}{\frac{1}{6} \times L_{bersih}} \dots\dots\dots 32$$

Keterangan :

M adalah momen yang diukur dalam satuan Nmm, P adalah beban maksimum pada panel yang diukur dalam satuan N, dan l adalah panjang bentang antar tumpuan yang diukur dalam satuan mm.

## 7. Menghitung lebar dan jarak retakan

Lebar retakan

$$W_{maks} = \frac{158,5}{E_f} \times (175 + 3,69(f_{yw} - 345 SL)) \dots\dots\dots 33$$

Jarak retakan

$$L_{avg} = \frac{1,5}{1,6} \times \frac{W_m}{SL} \dots\dots\dots 34$$

Keterangan :

Wmaks adalah lebar retakan yang diukur dalam satuan mm, Ef adalah modulus elastisitas tulangan kawat ayam (MPa), dan fyw adalah kuat tarik tulangan kawat ayam (MPa)

### 2.5.2. Analisis Teroritis Panel Fero semen

Analisis teoritis geser terpusat panel fero semen berdasarkan referensi dari SNI 2847:2019 [16]. Analisis teoritis geser menggunakan persamaan pondasi dua arah (ponds). Analisis geser terpusat panel dimulai dari :

#### 1. Menghitung beban geser terpusat panel fero semen

$$V_{c1} = 0,17 \times \left[1 + \frac{2}{\beta_c}\right] \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d_e$$

$$V_{c2} = 0,083 \times \left[\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right] \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d_e$$

$$V_{c3} = 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d_e \dots\dots\dots 35$$

Dipilih nilai terkecil dari 3 persamaan tersebut untuk menjadi beban geser terpusat maksimum panel.

$$V_u = \phi V_c \dots\dots\dots 36$$

Keterangan :

$V_c$  adalah gaya geser terpusat yang diukur dalam satuan N,  $b_o$  adalah keliling dari penampang kritis panel diukur dalam satuan mm,  $d_e$  tinggi efektif penampang panel diukur dalam satuan mm,  $\beta_c$  adalah rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek dari beban terpusat maksimum,  $\alpha_s$  dianggap kolom dalam sehingga diberi nilai 40, dan  $V_u$  adalah gaya geser ultimate terpusat (*punching*) diukur dalam satuan N.

#### 2. Menghitung kuat geser terpusat panel fero semen

$$\sigma_{shear} = \frac{P}{A_{shear}} \dots\dots\dots 11$$

Dimana,

$$A_s = 2d^2 \sqrt{\frac{5}{4}} + 4db \sqrt{\frac{5}{4}} \dots\dots\dots 12$$



Keterangan :

$\sigma_{\text{shear}}$  adalah tegangan geser terpusat (*punching shear*) yang mampu ditahan penampang penampang diukur dalam satuan MPa, P adalah gaya tekan ultimate (*punching*) diukur dalam satuan N, dan  $A_{\text{shear}}$  adalah luas akibat pembebanan diukur dalam satuan  $\text{mm}^2$

Analisis yang dilakukan terhadap penampang panel ferosemen bertujuan untuk membandingkan hasil pengujian panel dengan perhitungan teoritis menggunakan rumus perhitungan yang tertera, sehingga dapat dicari hubungan antara keduanya dan dapat dijadikan kesimpulan.

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Umum**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Inti Jalan Raya dan Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Metode yang digunakan pada penelitian adalah metode eksperimental. Pembuatan panel fero semen dikerjakan di Laboratorium Inti Jalan Raya, kemudian melakukan beberapa pengujian yang dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi. Panel fero semen yang dibuat berbentuk pelat U dengan rib memiliki dimensi 120 cm x 80 cm x 8 cm dan memiliki tebal permukaan 2,5 cm. Komposisi yang digunakan untuk campuran adalah semen dan agregat halus atau pasir (C/S) sebesar 1 : 2,5 dan faktor air semen (W/C) sebesar 0,35. Pengujian dilakukan terhadap bahan penyusun dan panel fero semen sendiri. Hasil pengujian akan dijadikan data *input* untuk perhitungan analisis teoritis penampang dan dijadikan nilai pembanding agar dicari hubungan antara keduanya dan dapat dijadikan kesimpulan dari pengujian.

#### **3.2. Bahan**

Dalam penelitian ini, panel fero semen dibuat dari beberapa bahan atau material. Bahan-bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

##### **3.2.1. Semen**

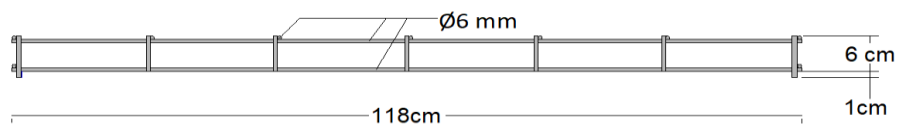
Semen merupakan bahan ikat yang penting dalam konstruksi beton, yang bersifat hidrolis, yaitu akan mengalami proses pengerasan jika dicampur air yang digunakan untuk mengikat bahan material menjadi satu kesatuan yang kuat. Jenis semen yang digunakan pada penelitian ini adalah *Portland Composite Cement* dengan merek Semen Padang.



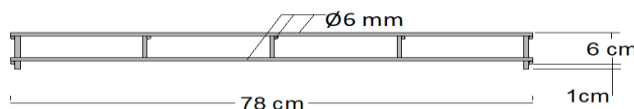
Gambar 10. Semen

### 3.2.2. Tulangan Dan Kawat Ayam

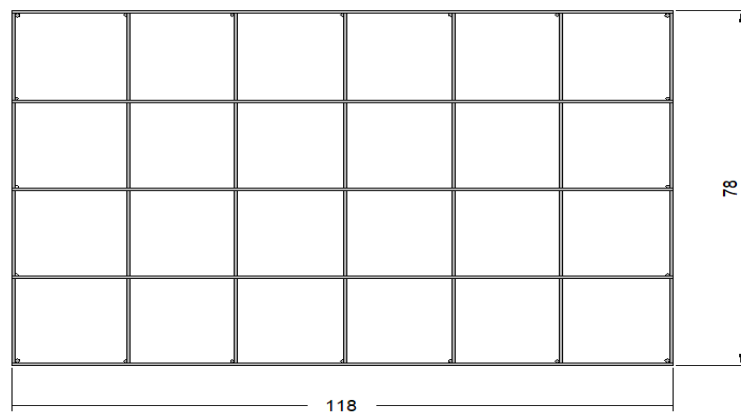
Penggunaan tulangan pada penelitian ini, menggunakan tulangan polos berdiameter 6 mm yang disusun membentuk kerangka panel fero semen. Kemudian untuk kawat ayam (*wiremesh*), pada penelitian ini menggunakan jaring berbentuk segi empat dengan karakteristik diameter kawat  $\varnothing 0,5$  mm, dan ukuran bukaan 1,25 cm x 1,25 cm, serta dipasang secara merata sepanjang permukaan sesuai dengan jumlah lapisan jaring kawat yang telah direncanakan yaitu 1 lapis. Dapat dilihat bentuk penulangan panel fero semen pada Gambar 11, 12, 13, dan 14.



Gambar 11. Tampak samping memanjang penulangan panel



Gambar 12. Tampak samping memendek penulangan panel



Gambar 13. Tampak atas penulangan panel



Gambar 14. Penulangan panel fero semen

### 3.2.3. Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus merupakan bahan batuan yang berasal dari hasil disintegrasi batuan atau batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu dengan ukuran butir kecil ( $\leq 5$  mm). Pemilihan agregat halus diperhatikan secara serius sebab sangat terkait dengan kualitas pekerjaan dan biaya yang diperlukan. Agregat halus (pasir) harus melewati beberapa tahap pengujian yaitu, pengujian berat volume, berat jenis dan penyerapan, kadar air, kadar lumpur dengan penyaringan, kandungan zat organik dalam pasir, dan gradasi agregat halus. Pasir yang digunakan pada penelitian ini berasal dari gunung sugih, yang merupakan jenis pasir kali (sungai).



Gambar 15. Pasir

#### 3.2.4. Air

Air adalah komponen utama pembentuk mortar. Air beraksi dengan semen, menghasilkan pasta beton dan menjadi bahan pelumas antar butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Pada penelitian ini, air yang digunakan berasal dari daerah sekitar Laboratorium Inti Jalan Raya, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Air yang digunakan dalam penelitian harus memenuhi persyaratan air yang baik untuk pembuatan beton seperti harus bersih dan tidak mengandung zat kimia merugikan. Airnya harus bebas dari bahan organik, lumpur, minyak, gula, klorida, bahan bersifat asam, dan bahan kimia yang dapat merusak beton dan tulangan baja.



Gambar 16. Air

### 3.2.5. Bahan Tambahan (*Admixtures*)

Bahan Tambahan atau *Admixtures* yang digunakan pada penelitian ini adalah bahan tambahan cair merek dagang Sika. Bahan tambahan yang digunakan termasuk ke dalam jenis tipe c yang berfungsi sebagai mempercepat durasi pengikatan dan pengerasan mortar. Alasan dipilih bahan tambahan atau *admixtures* tersebut dikarenakan pekerjaan pelat fero semen menggunakan metode pracetak, yang biasanya membutuhkan waktu pengikatan mortar yang lebih cepat, sehingga cetakan yang dipakai bisa secara terus menerus dipakai tanpa harus menunggu dengan waktu yang lama.



Gambar 17. Bahan Tambahan (*Admixtures*)

### 3.3. Peralatan

Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

#### 1. Cetakan Fero semen

Cetakan yang digunakan pada pengujian fero semen terdiri dari cetakan untuk benda uji mortar dan panel fero semen. Cetakan untuk benda uji mortar fero semen sesuai dengan standar BS EN 1015 : 2019 [14] dan telah tersedia di dalam Laboratorium Bahan dan Konstruksi.

Untuk panel fero semen, dibuatkan cetakan yang sesuai dengan ukuran panel dikarenakan panel fero semen dibuat dengan metode pracetak/sistem cetak. Cetakan Fero semen dibuat dari bahan besi yang dirangkai lalu

disambung dengan baut untuk membuat panel fero semen berukuran 120 cm x 80 cm x 8 cm. Gambar cetakan panel dapat dilihat pada Gambar 15.



a. Cetakan uji mortar



b. Cetakan panel fero semen

Gambar 18. Cetakan yang digunakan pada pengujian fero semen

## 2. Mesin Molen Beton

Mesin molen beton adalah alat yang berfungsi sebagai pembantu proses pengadukan campuran beton sehingga hasil adukan menjadi lebih merata, serta efisien terhadap waktu dan tenaga.



Gambar 19. Mesin molen beton

## 3. *Compression Testing Machine (CTM)*

*Compression Testing Machine (CTM)* adalah alat yang berfungsi sebagai penguji kuat tekan beton. Kapasitas beban maksimum yang dimiliki *Compression Testing Machine (CTM)* yang digunakan memiliki

kapasitas beban maksimum 1500 kN dengan ketelitian 5 kN, serta kecepatan pembebanan sebesar 0,14 – 0,34 MPa/det.



Gambar 20. Mesin *CTM*

#### 4. *Universal Testing Machine (UTM)*

*Universal Testing Machine (UTM)* adalah alat yang berfungsi sebagai penguji kuat tarik tulangan dan kawat ayam (*wiremesh*). Alat UTM yang akan digunakan diatur agar mempunyai penambahan tegangan sebesar 10 MPa setiap detik dan pembacaan gaya dapat dilakukan dengan ketelitian 10% dari gaya tarik maksimum [15].



Gambar 20. Mesin *UTM*

#### 5. *Loading Frame*

Alat ini berupa *frame* dari profil baja yang cukup kaku dan kuat, serta



dilengkapi tumpuan yang dapat diatur posisinya. Alat ini digunakan sebagai tempat/perletakan benda uji pada saat pengujian kuat lentur.



Gambar 21. *Loading frame*

#### 6. Dial Gauge

*Dial Gauge* atau dikenal juga sebagai *Dial Indicator* adalah alat yang berfungsi sebagai pengukur kerataan permukaan bidang datar. Pada penelitian ini, *dial gauge* berfungsi sebagai pencatat nilai defleksi yang ditimbulkan pada pengujian kuat lentur.



Gambar 22. *Dial gauge*

#### 7. Satu Set Saringan

Saringan yang digunakan disini adalah saringan yang berfungsi mengukur gradasi agregat halus. Ukuran saringan yang diperlukan adalah

9,50 mm sampai 0,15 mm. Pengukuran gradasi agregat halus bertujuan untuk mencari angka modulus kehalusan agregat halus.



Gambar 23. Satu set saringan

#### 8. Oven

Oven berfungsi untuk mengeringkan material yang akan di uji pada penelitian ini. Oven yang digunakan berada memiliki kapasitas suhu maksimum 110°C dengan daya sebesar 2800 Watt.



Gambar 24. Oven

#### 9. Timbangan

Timbangan berfungsi untuk mengukur berat material yang akan digunakan pada penelitian ini. Beberapa timbangan yang diperlukan dalam penelitian ini seperti : Timbangan berukuran kecil berkapasitas maksimum 12 kg dengan ketelitian 1 gram, timbangan berukuran sedang berkapasitas maksimum 50 kg dengan ketelitian 10 gram dan timbangan

berukuran besar dengan kapasitas maksimum 100 kg dengan ketelitian 50 gram.



Gambar 25. Timbangan

#### 10. Alat Bantu Tambahan

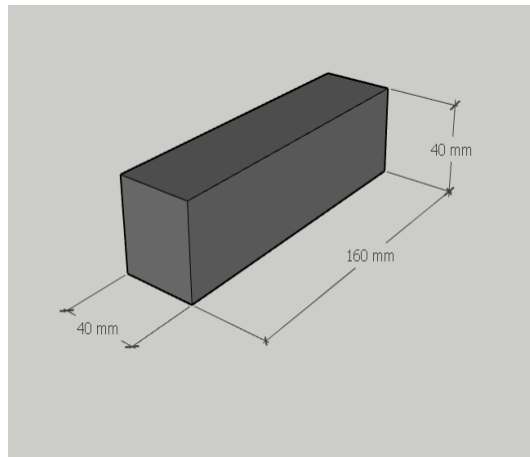
Digunakan beberapa alat untuk membantu dan memperlancar pelaksanaan penelitian, antara lain piknometer, *dial crack*, tang potong, gunting kawat, palu karet, sekop, sendok semen, ember, kontainer, gelas ukur, dan alat tulis.

### 3.4. Benda Uji

Pada penelitian ini, benda uji yang dibuat meliputi benda uji mortar dan benda uji panel fero semen. Kedua jenis benda uji tersebut akan dilakukan beberapa pengujian. Benda uji mortar fero semen akan mengalami pengujian kuat lentur dan kuat tekan, sedangkan benda uji panel fero semen akan mengalami pengujian kuat lentur dan kuat geser.

#### 3.4.1. Benda Uji Mortar Fero semen

Benda uji mortar fero semen memiliki ukuran 160 mm x 40 mm x 40 mm. Benda uji mortar fero semen memiliki komposisi material penyusun, yaitu : 1 : 2,5 untuk semen dan pasir, serta *water ratio* yang dipakai sebesar 0,35. Dapat dilihat pada Gambar 26, bentuk benda uji mortar fero semen.



Gambar 26. Benda uji mortar fero semen

Pengujian mortar fero semen yang akan dilakukan berupa uji kuat lentur pembebanan satu titik di tengah bentang dan kuat tekan. Pengujian terdiri dari beberapa variabel yang akan disajikan dalam bentuk Tabel 2. Dan 3.

Tabel 2. Variabel pengujian kuat lentur mortar fero semen

| Komposisi Mortar<br>Semen : Pasir : Air | Jenis pengujian                      | Kode  | Benda<br>Uji |
|-----------------------------------------|--------------------------------------|-------|--------------|
| 1 : 2,5 : 0,35                          | Uji kuat lentur<br>mortar fero semen | A.0.1 | 1            |
|                                         |                                      | A.0.2 | 1            |
|                                         |                                      | A.0.3 | 1            |
|                                         |                                      | A.0.4 | 1            |
|                                         |                                      | A.0.5 | 1            |
|                                         |                                      | A.0.6 | 1            |
| Jumlah benda uji                        |                                      |       | 6            |

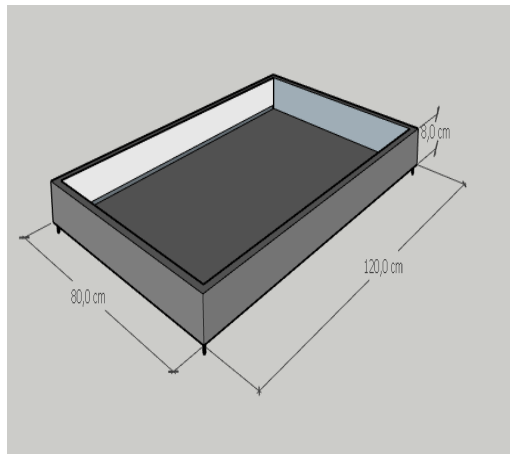
Tabel 3. Variabel pengujian kuat tekan mortar fero semen

| Benda Uji                            | Jenis pengujian                     | Kode  | Benda Uji |
|--------------------------------------|-------------------------------------|-------|-----------|
| Hasil Patahan<br>Benda Uji<br>Mortar | Uji kuat tekan<br>mortar fero semen | A.1.1 | 2         |
|                                      |                                     | A.1.2 | 2         |
|                                      |                                     | A.1.3 | 2         |
|                                      |                                     | A.1.4 | 2         |
|                                      |                                     | A.1.5 | 2         |
|                                      |                                     | A.1.6 | 2         |
| Jumlah benda uji                     |                                     |       | 12        |

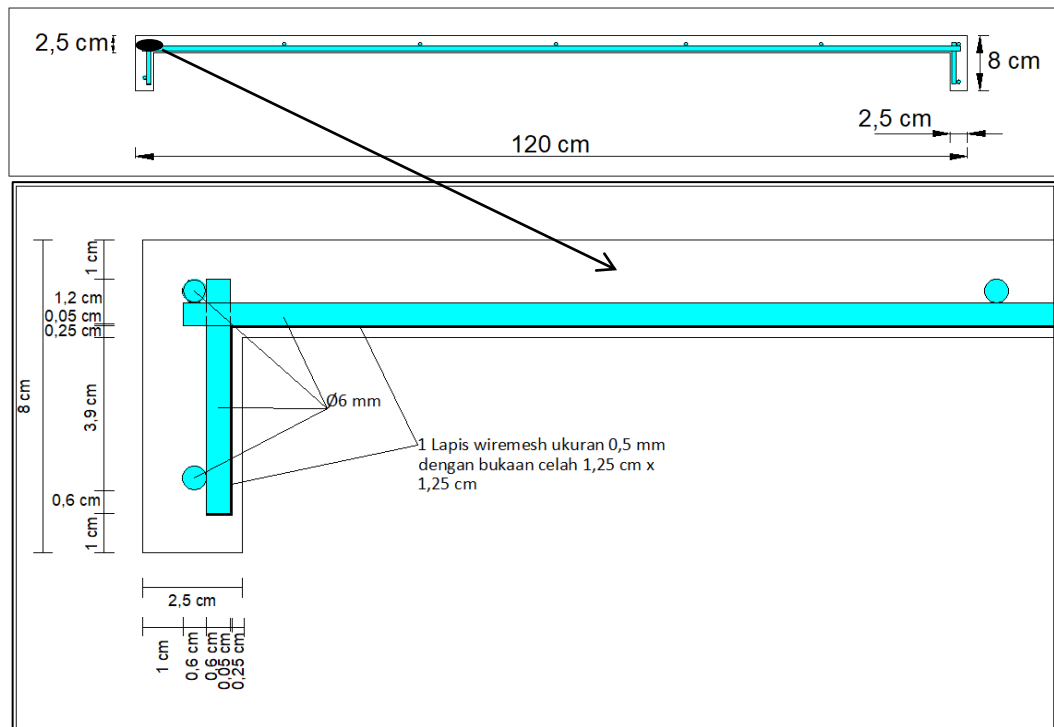
### 3.4.2. Benda Uji Panel Fero semen

Benda uji panel fero semen berbentuk pelat U dengan rib yang memiliki dimensi sebesar 120 cm x 80 cm x 8 cm dan tebal permukaan 2,5 cm. Komponen benda uji panel fero semen terdiri dari dua komponen utama, yaitu: campuran mortar dan tulangan. Campuran mortar yang digunakan memiliki komposisi yang sama dengan benda uji mortar yaitu komposisi campuran sebesar 1 : 2,5 : 0,35 untuk campuran semen : pasir : air.

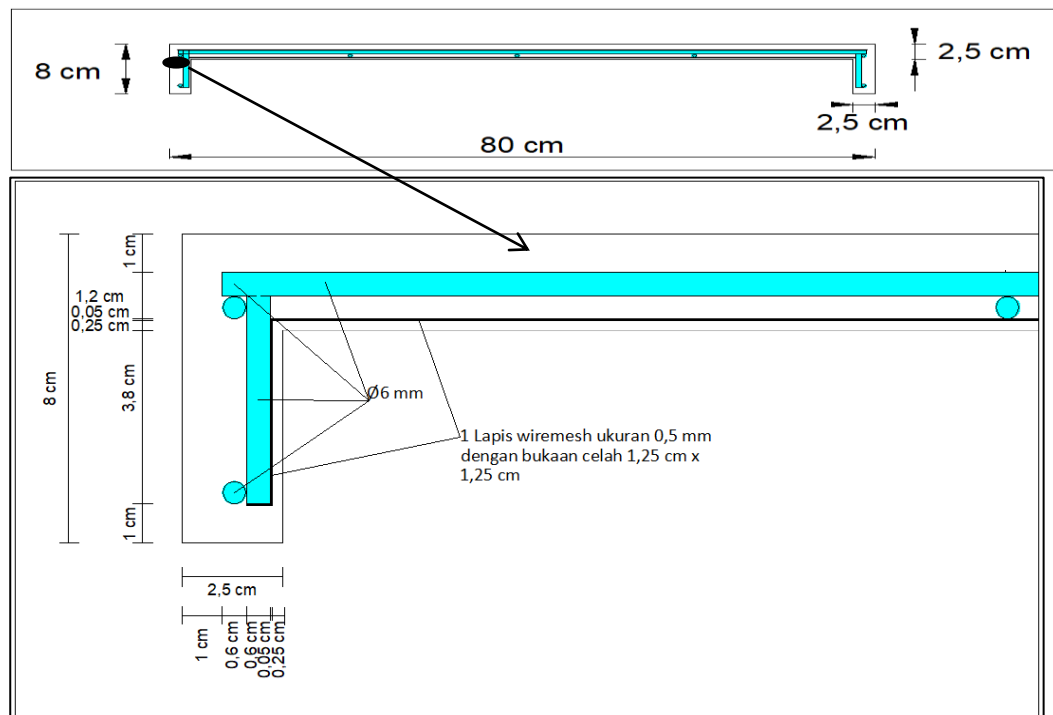
Untuk tulangan yang digunakan pada benda uji panel fero semen, berdiameter Ø6 mm yang dirakit seperti pada gambar penulangan pada Gambar 12, 13, dan 14. Setelah tulangan dirakit, kawat ayam berdimensi Ø0,5 mm dengan jarak antar celah 1,25 x 1,25 cm sebanyak satu lapis dipasang menyeluruh pada bagian dalam menutupi permukaan penulangan panel fero semen. Bentuk benda uji panel fero semen beserta tampak potongannya dijelaskan pada Gambar 27, 28, dan 29.



Gambar 27. Benda uji panel fero semen



Gambar 28. Potongan arah memanjang benda uji panel ferosemen



Gambar 29. Potongan arah memendek benda uji panel ferosemen

Untuk pengujian kuat lentur dan kuat geser benda uji panel ferosemen, dilakukan beberapa macam perlakuan terhadap pengujiannya. Pengujian yang

dilakukan berupa pengujian kuat lentur 2 titik pembebanan, pengujian kuat lentur beban merata, dan pengujian kuat geser beban geser terpusat. Pengujian terdiri dari beberapa variable yang akan disajikan dalam bentuk Tabel 4.

Tabel 4. Variabel pengujian untuk panel fero semen

| <b>Komposisi Mortar<br/>Semen : Pasir : Air</b> | <b>Jenis Pengujian</b>        | <b>Kode</b> | <b>Benda Uji</b> |
|-------------------------------------------------|-------------------------------|-------------|------------------|
| 1 : 2,5 : 0,35                                  | Uji lentur 2 titik pembebanan | B.1.1       | 2                |
|                                                 | Uji beban geser terpusat      | B.2.1       | 2                |
| Jumlah benda uji                                |                               |             | 4                |

### 3.5. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dibagi atas beberapa tahapan, yaitu : persiapan bahan dan peralatan, pemeriksaan bahan dan peralatan, perencanaan campuran fero semen, pembuatan benda uji fero semen, perawatan fero semen, pengujian fero semen, dan analisa hasil pengujian fero semen. Pelaksanaan penelitian dilakukan di dua tempat dengan tahapan yang berbeda-beda, yaitu Laboratorium Inti Jalan Raya untuk tahapan persiapan bahan dan peralatan sampai dengan perawatan fero semen. Kemudian, Laboratorium Bahan Konstruksi untuk tahapan pengujian fero semen sampai analisa hasil pengujian fero semen.

#### 3.5.1. Pelaksanaan Penelitian

Pesiapan bahan dan peralatan merupakan tahapan penting untuk memulai suatu penelitian. Pada tahapan ini, bisa dimulai dengan memeriksa ketersediaan bahan dan peralatan di lapangan (Laboratorium) agar penelitian dapat berjalan dengan baik dan lancar.

#### 3.5.2. Pemeriksaan Bahan dan Peralatan

Pemeriksaan bahan dan peralatan dilakukan agar bahan dan alat yang dipakai pada saat penelitian dalam kondisi baik dan sesuai standar yang telah ditentukan. Pemeriksaan yang dilakukan antara lain:

a) Semen

Pemeriksaan terhadap semen tidak dilakukan, dikarenakan semen yang digunakan telah memenuhi persyaratan standar semen Portland normal (standar pabrikasi).

b) Agregat Halus

Pemeriksaan terhadap agregat halus berupa:

1. Kadar air agregat halus
2. Berat jenis dan penyerapan agregat halus
3. Berat volume agregat halus
4. Kadar lumpur agregat halus dengan saringan
5. Kandungan zat organis dalam pasir
6. Gradasi agregat halus

c) Air

Pemeriksaan terhadap bahan atau material air terdapat pada persyaratan ACI Committee 549 [2], yaitu air bisa kita lihat secara visual, tampak jernih, tidak berwarna, dan tidak berbau.

d) Tulangan dan Kawat ayam (*Wiremesh*)

Pemeriksaan terhadap tulangan dan kawat ayam (*wiremesh*) bisa dilakukan dengan cara melihat kondisi fisiknya. Kondisi tersebut dilihat dari kondisi fisik seperti karat dan bengkok, lalu melihat kesesuaian dimensi penggunaannya. Untuk pengujian tarik tulangan dan kawat ayam atau *wiremesh* dilakukan di Laboratorium Baja Universitas Lampung. Pengujian dilakukan menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*). Hasil pengujian kuat tarik tulangan dan kawat ayam digunakan untuk perhitungan teoritis kemampuan panel fero semen.

e) Bahan Tambahan (*Admixtures*)

Pemeriksaan pada *admixtures* berupa pemeriksaan terhadap tutup pelindung (*seal*), kemudian kesesuaian fungsi penggunaan bahan tambahan dengan campuran mortar yang akan digunakan.



#### f) Peralatan

Pemeriksaan peralatan yang digunakan dalam penelitian berupa pemeriksaan terhadap fungsi dan kondisi peralatan. Fungsi dan kondisi peralatan sangat mempengaruhi hasil dari pengujian, sehingga diperlukan penyesuaian dan modifikasi peralatan. Terdapat beberapa modifikasi peralatan yang digunakan pada pengujian ini. Hal itu disebabkan untuk menyesuaikan peralatan yang ada dengan benda uji ataupun menyesuaikan kondisi pengujian dengan kondisi di lapangan yang sebenarnya.

#### 3.5.3. Perencanaan Campuran Fero semen

Komposisi campuran mortar yang dipakai dalam penelitian ini adalah campuran semen dan agregat halus (pasir) sebesar 1 : 2,5 dan faktor air semen (W/C) sebesar 0,35 serta penambahan bahan tambahan berupa sebanyak 2% dari berat semen.

#### 3.5.4. Pembuatan Benda Uji Fero semen

Benda uji dibuat berdasarkan variasi benda uji fero semen pada Tabel 4, 5, dan 6. Langkah - langkah dalam pembuatan benda uji fero semen adalah sebagai berikut :

##### a) Penimbangan bahan-bahan

Bahan-bahan untuk pembuatan benda uji fero semen, ditimbang sesuai dengan komposisi yang ditentukan dalam perencanaan. Perbandingan komposisi bahan yang akan digunakan berdasarkan perbandingan berat atau perbandingan volume. Proses ini menggunakan peralatan berupa timbangan sebagai alat ukur berat material dan harus dilakukan dengan cermat.



Gambar 30. Penimbangan bahan penyusun fero semen

#### b) Pencampuran bahan

Setelah proses penimbangan bahan selesai, proses selanjutnya adalah proses pencampuran bahan. Proses ini menggunakan alat bantu berupa molen untuk mengaduk bahan-bahan dasar pembentuk fero semen. Campuran bahan dasar pembentuk fero semen atau disebut mortar harus tercampur rata sampai homogen. Hal itu bisa dilihat secara visual yaitu, warnanya tampak rata, tidak terlalu cair dan tidak terlalu kental, serta tidak tampak secara visual adanya pemisah butir. Campuran mortar yang homogen sangat berpengaruh terhadap kualitas fero semen yang telah direncanakan.



Gambar 31. Pecampuran bahan dengan mesin molen

c) Pencetakan benda uji

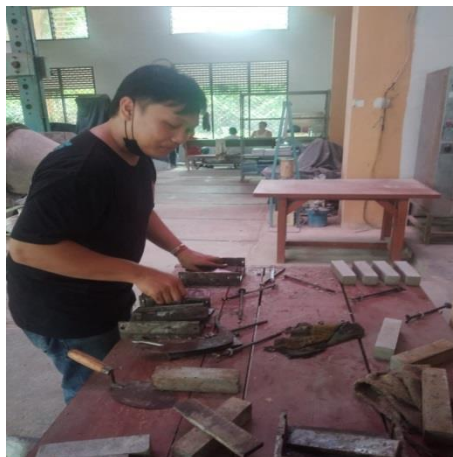
1. Pembuatan benda uji mortar ferosemen

- Menyiapkan cetakan yang telah disediakan sebelumnya. Cetakan dibersihkan dari debu atau kotoran yang menempel, kemudian diberi pelumas berupa oli untuk memudahkan proses pelepasan ferosemen saat kering.
- Memasukkan campuran mortar ferosemen ke dalam cetakan hingga permukaan cetakan tertutup penuh, padat dan merata. Pemadatan mortar dilakukan dengan cara mengetuk bagian luar cetakan dengan palu karet.



Gambar 32. Memasukkan campuran mortar kedalam cetakan

- Membuka cetakan benda uji mortar yang sudah kering dan dibiarkan selama  $\pm 24$  jam



Gambar 33. Membuka cetakan mortar.

## 2. Pembuatan benda uji panel fero semen

- Menyiapkan cetakan benda uji yang telah dibuat sebelumnya. Cetakan dibersihkan dari debu atau kotoran yang menempel, kemudian diberi pelumas berupa oli untuk memudahkan proses pelepasan fero semen saat kering.



Gambar 34. Menyiapkan cetakan fero semen

- Merakit tulangan sesuai dengan perencanaan penulangan. Tulangan berdiameter Ø6 mm dirakit berdasarkan gambar penulangan pada Gambar 11, 12, dan 13.



Gambar 35. Merakit tulangan panel

- Memasang jaring kawat (*wiremesh*) ke dalam tulangan yang telah dirakit, kemudian dikat dengan kawat bendrat. Jaring kawat dipasang menutupi tulangan secara merata. Lapisan kawat yang telah direncanakan sebelumnya adalah 1 lapis.



Gambar 36. Memasang kawat ayam pada tulangan panel

- Meletakkan rangkaian tulangan dan jaring kawat ke dalam cetakan yang sudah disiapkan.



Gambar 37. Meletakkan rangkaian tulangan pada cetakan.

- Memasukkan campuran fero semen ke dalam cetakan hingga permukaan cetakan tertutup penuh, padat dan merata. Dilakukan pemadatan dengan cara mengetuk-ngetuk cetakan fero semen menggunakan palu karet. Tujuannya adalah agar campuran bisa masuk merata ke dalam cetakan sehingga tidak terdapat rongga saat fero semen mengering.



Gambar 38. Memasukkan campuran ferosemen pada cetakan.

- Membuka cetakan benda uji yang sudah kering setelah  $\pm 24$  jam

#### 3.5.5. Perawatan Benda Uji Ferosemen (*Curing*)

Proses *curing* adalah proses perawatan yang dilakukan dengan cara memberikan air pada permukaan benda uji ferosemen. Tujuannya adalah untuk mencegah kehilangan kelembapan yang terlalu cepat pada ferosemen, sehingga tidak mengakibatkan susut dan keretakan pada permukaan ferosemen. *Curing* pada ferosemen juga membantu proses hidrasi semen berlangsung secara optimal, sehingga mutu beton yang direncanakan dapat tercapai.



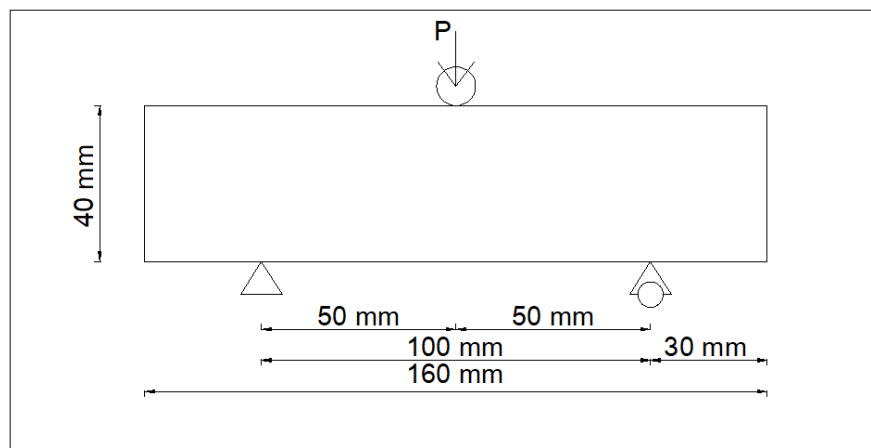
Gambar 39. Melakukan proses *curing*

### 3.5.6. Pengujian Benda Uji Fero semen

#### a) Uji kuat lentur mortar fero semen

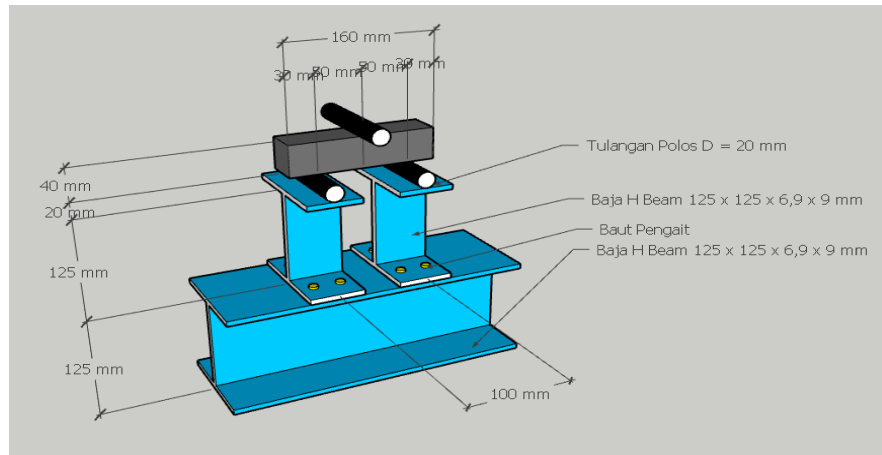
Uji kuat lentur mortar fero semen dilakukan menggunakan alat CTM digital (*Compression Testing Machine*). Standar pengujian berdasarkan referensi BS EN 1015 : 2019 [10]. Pengujian ini akan dilakukan pada 3 buah benda uji mortar fero semen dengan beberapa modifikasi peralatan pada pengujiannya. Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Berikut langkah - langkah pengujian kuat lentur mortar fero semen :

1. Meletakkan benda uji diatas dua perletakan modifikasi pada alat CTM seperti pada Gambar 40 dan 41.
2. Mengatur pembebanan menjadi satu titik pembebanan pada jarak  $L/2$  bentang.
3. Menghidupkan alat CTM digital dengan penambahan beban yang konstan. Pembebanan dilakukan sampai benda uji tidak sanggup lagi menahan beban (patah)
4. Melakukan pencatatan hasil pengujian benda uji. Hasil yang didapatkan berupa : beban maksimum yang menyebabkan benda uji runtuh (*collapse*) dan lendutan yang terjadi.



Gambar 40. Skema pengujian lentur mortar fero semen





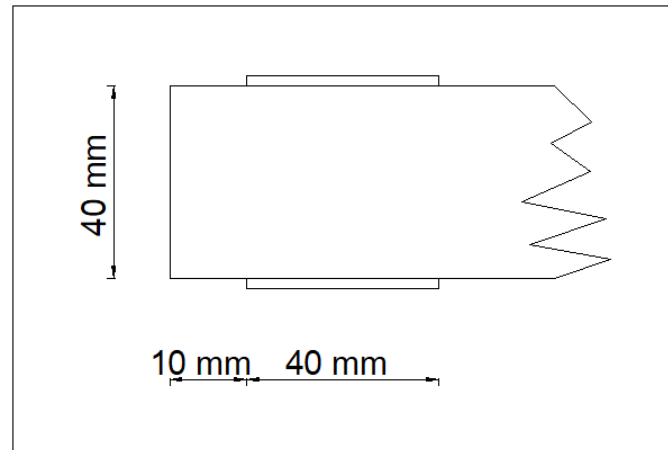
Gambar 41. Modifikasi pada pengujian lentur mortar ferosemen

#### b) Uji tekan mortar ferosemen

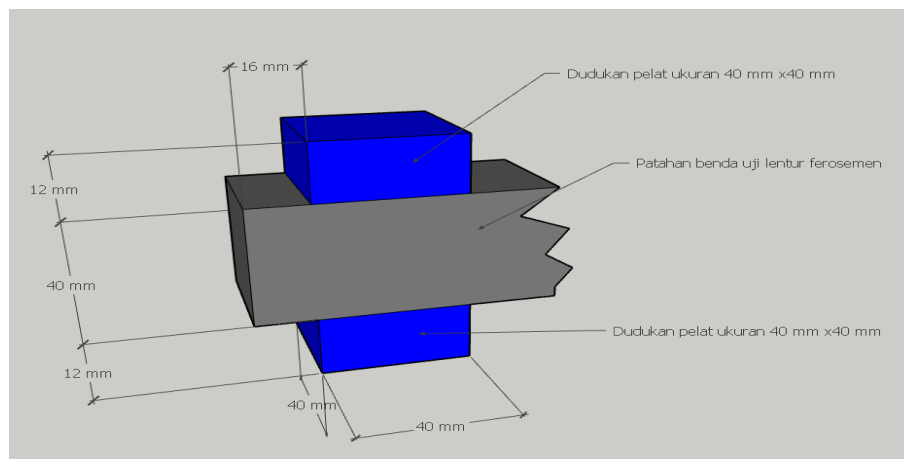
Uji kuat tekan mortar ferosemen dilakukan menggunakan alat CTM digital (*Compression Testing Machine*). Standar pengujian berdasarkan referensi BS EN 1015 : 2019 [10]. Pengujian ini akan dilakukan pada 6 buah patahan benda uji mortar ferosemen dengan modifikasi peralatan pada pengujiannya. Berikut langkah - langkah pengujian kuat lentur mortar ferosemen :

1. Menimbang benda uji hasil patahan uji lentur mortar ferosemen.
2. Meletakkan benda uji pada alat CTM secara sentris menggunakan dudukan modifikasi berupa pelat berukuran 40 mm x 40 mm seperti pada Gambar 42 dan 43.
3. Menghidupkan alat CTM digital dengan penambahan beban yang konstan. Pembebanan dilakukan sampai benda uji mengalami retak dan kondisi benda uji tidak sanggup lagi menahan beban.
4. Melakukan pencatatan hasil pengujian benda uji berupa beban maksimum.





Gambar 42. Skema pengujian tekan mortar ferosemen.



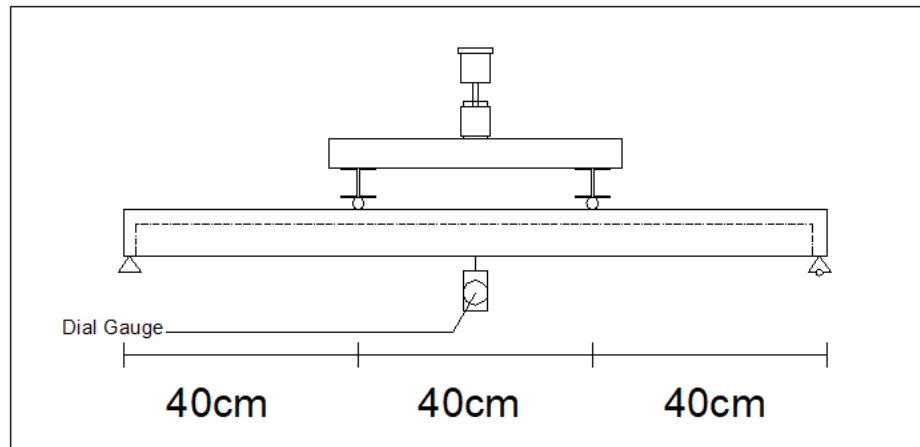
Gambar 43. Modifikasi pada pengujian tekan mortar ferosemen

### c) Uji lentur dua titik pembebanan panel ferosemen

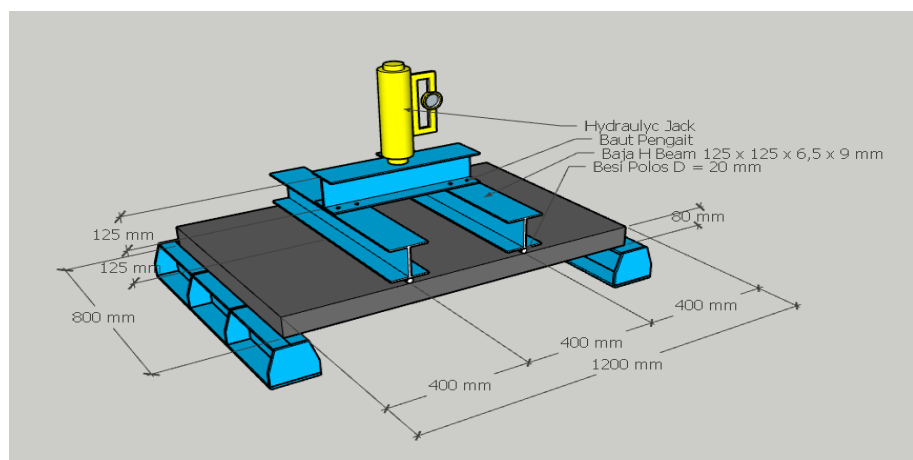
Standar pengujian ini berdasarkan SNI 4431 : 2011 [13] untuk cara uji kuat lentur pada dua perletakkan. Uji kuat lentur dua titik pembebanan ini dilakukan menggunakan alat *Loading Frame* sebagai perletakan. Pengujian ini akan dilakukan pada 4 buah benda uji ferosemen, dengan masing-masing 2 buah untuk variasi pemasangan kawat ayam (*wiremesh*) 1 lapis dan 2 lapis. Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Berikut langkah - langkah pengujian kuat lentur dengan dua titik pembebanan :

1. Meletakkan benda uji diatas dua perletakan pada alat *Loading Frame* seperti pada Gambar 44 dan 45.

2. Mengatur pembebanan menjadi dua titik pembebanan pada jarak  $L/3$  bentang.
3. Mengatur letak Dial Gauge di bawah benda uji. Dial Gauge diletakkan di tengah bentang pada masing-masing bentang  $L/3$ .
4. Menghidupkan *Hydraulic Jack* dengan penambahan beban yang konstan. Pembebanan dilakukan sampai benda uji mengalami retak dan kondisi benda uji tidak sanggup lagi menahan beban (mengalami kegagalan).
5. Melakukan pencatatan hasil pengujian benda uji. Hasil yang didapatkan berupa : beban maksimum yang menyebabkan benda uji runtuh (*collapse*) dan data lendutan dari pembacaan *dial*.



Gambar 44. Skema pengujian lentur dengan dua titik pembebanan.

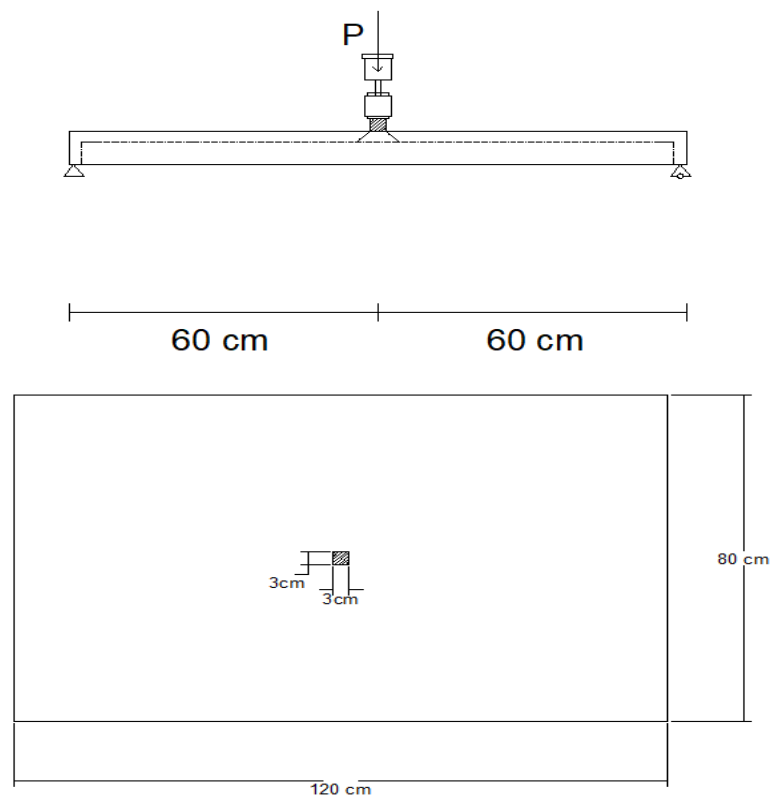


Gambar 45. Modifikasi pada pengujian lentur dengan dua titik pembebanan.

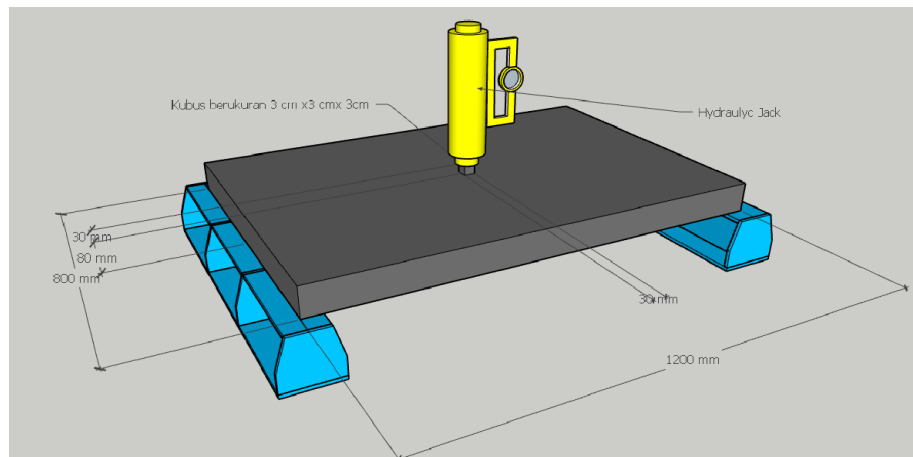
d) Uji kuat geser beban geser terpusat panel fero semen

Standar pengujian ini berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Asma dkk [14]. Uji kuat geser dengan beban geser terpusat ini dilakukan menggunakan alat *Loading Frame* sebagai perletakan pembebanan benda uji. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur tingkat ketahanan geser benda uji terhadap penambahan beban daerah terpusat. Pengujian ini akan dilakukan pada 4 buah benda uji fero semen, dengan masing-masing 2 buah untuk variasi pemasangan kawat ayam (*wiremesh*) 1 lapis dan 2 lapis. Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Berikut langkah - langkah pengujian kuat geser dengan beban geser terpusat :

1. Meletakkan benda uji diatas dua perletakan pada alat *Loading Frame* seperti pada Gambar 46 dan 47.
2. Mengatur pembebanan dengan memberikan beban daerah berupa kubus berukuran 3 cm x 3 cm x 3 cm, tepat di tengah permukaan benda uji.
3. Menghidupkan mesin *hydraulic jack* dengan penambahan beban yang konstan. Pembebanan dilakukan sampai benda uji mengalami retak dan kondisi benda uji tidak sanggup lagi menahan beban (mengalami kegagalan).
4. Melakukan pencatatan hasil pengujian benda uji. Hasil yang didapatkan berupa : beban *punching* maksimum, banyak retakan yang terjadi, kedalaman retakan yang terbentuk, dan pola retakan yang ditimbulkan akibat lendutan.



Gambar 46. Skema pengujian geser dengan beban geser terpusat.

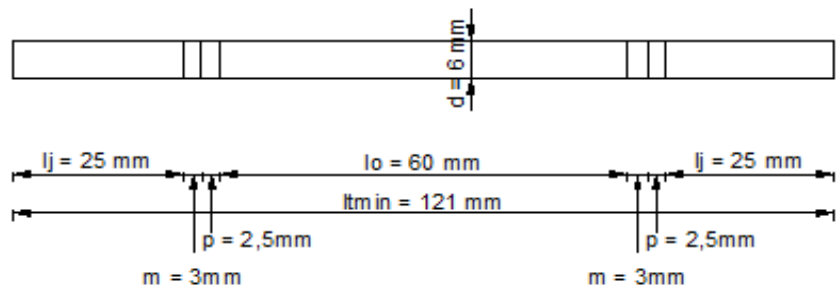


Gambar 47. Modifikasi pada pengujian geser beban geser terpusat.

#### e) Uji kuat tarik tulangan

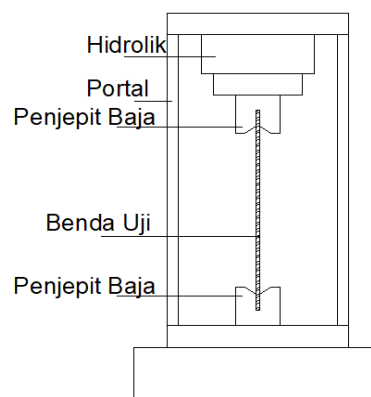
Pada pengujian kuat tarik tulangan ini, pengujian dilakukan pada tulangan utama yang terdapat pada panel. Tulangan memiliki dimensi dengan diameter 6 mm. Berikut ini merupakan langkah-langkah pengujian kuat tarik pada tulangan:

1. Mempersiapkan benda uji tulangan sesuai SNI 07-2529-1991 [12]. Benda uji yang dipersiapkan untuk pengujian kuat tarik tulangan memiliki dimensi seperti pada Gambar 48.



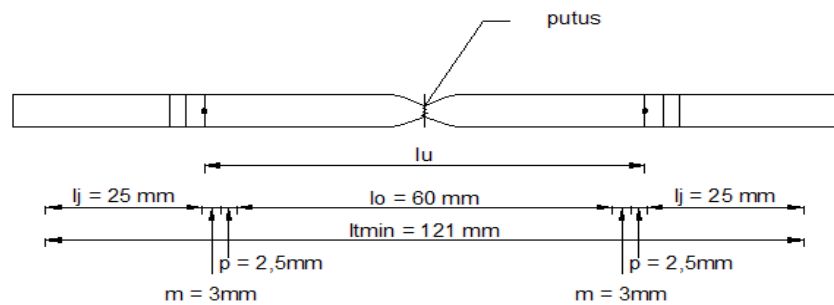
Gambar 48. Benda uji tarik tulangan yang dipersiapkan

2. Memasang batang baja yang telah disiapkan pada alat uji UTM (*Universal Testing Machine*). Skema pengujian yang dilakukan digambarkan pada Gambar 49.



Gambar 49. Skema pengujian kuat tarik tulangan

3. Membebani (menarik batang baja yang telah dijepit) dan mencatat beban yang mengakibatkan batang baja tersebut leleh dan putus.
4. Menyambung batang baja yang telah putus dan mengukur panjang total sebagai panjang setelah putus ( $l_u$ ). Dijelaskan pada Gambar 50.

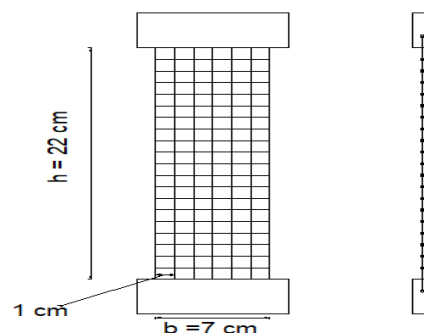


Gambar 50. Benda uji tarik tulangan setelah pengujian.

f) Uji kuat tarik kawat ayam

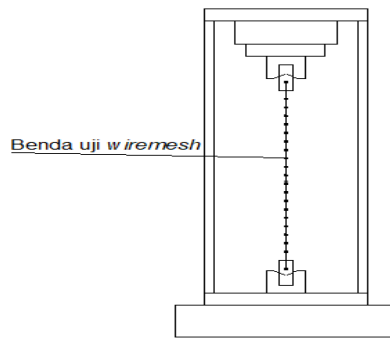
Uji kuat tarik kawat ayam dilakukan berdasarkan penelitian oleh Tanawade dkk [9]. Pengujian dilakukan pada wiremesh dengan bukaan celah 1,25 x 1,25 cm dan berdiameter Ø0,5 mm. Berikut merupakan langkah-langkah pengujian kuat tarik :

1. Mempersiapkan benda uji wiremesh. Berdasarkan ACI Committee 549 [2], lebar benda uji pada pengujian jaring kawat tidak boleh kurang dari enam kali bukaan jaring kawat. Sedangkan panjang benda uji pada pengujian jaring kawat tidak boleh kurang dari tiga kali lebarnya atau 6 inci ( $\pm 150$  mm). Benda uji yang dipersiapkan dapat dilihat pada Gambar 51.



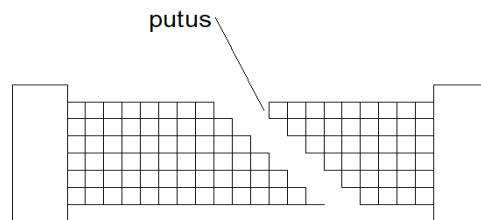
Gambar 51. Benda uji tarik kawat ayam yang dipersiapkan.

2. Memasang benda uji pada penjepit yang telah disiapkan, lalu dipasangkan pada alat uji UTM (*Universal Testing Machine*). Dapat dilihat pada Gambar 52.



Gambar 52. Skema pengujian kuat tarik kawat ayam

3. Membebani (menarik batang baja yang telah dijepit) dan mencatat beban yang mengakibatkan kawat ayam tersebut leleh dan putus. Dijelaskan pada Gambar 53.



Gambar 53. Benda uji tarik kawat ayam setelah pengujian.

### 3.5.7. Analisa Pengujian Fero semen

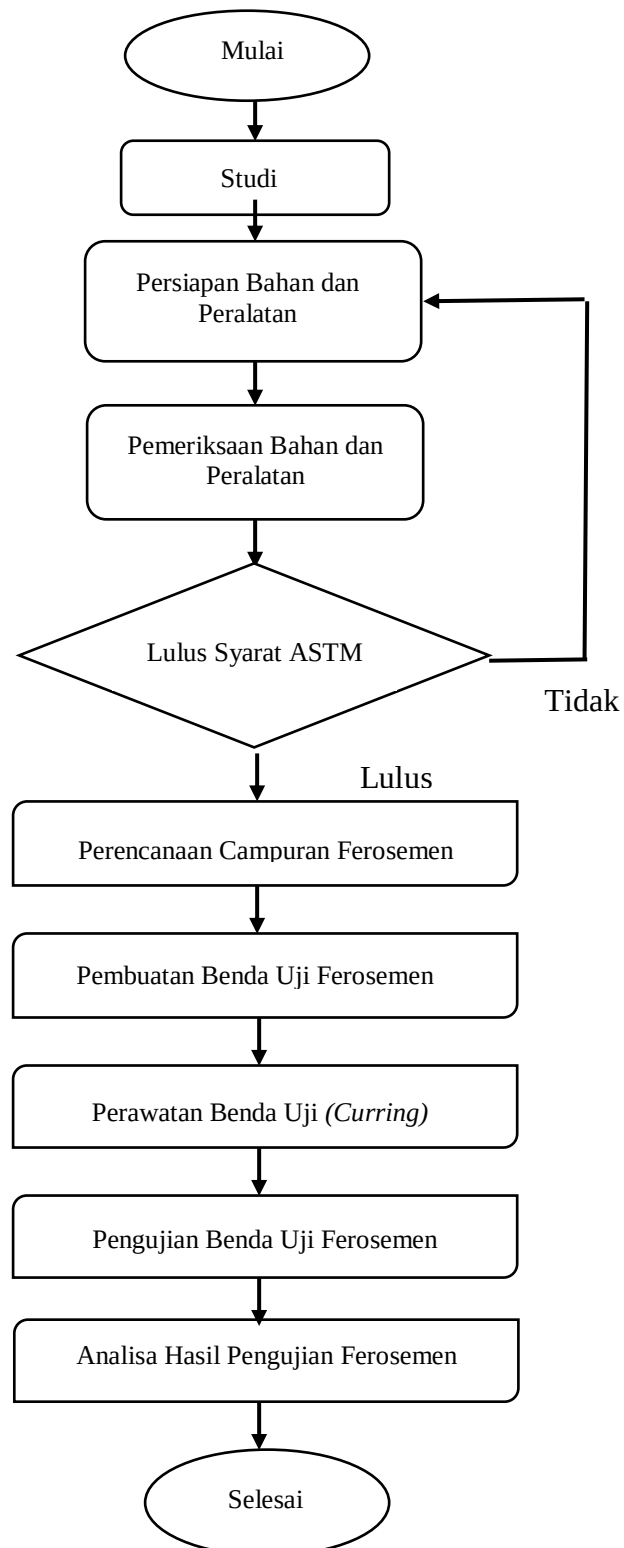
Analisa hasil pengujian fero semen dilakukan sebagai berikut:

- a) Uji kuat lentur mortar fero semen
  1. Mengolah data hasil pengujian berupa beban maksimum yang menyebabkan benda uji runtuh (*collaps*) dan data lendutan.
  2. Menghitung nilai kuat lentur dengan satu titik pembebanan yang disajikan dalam bentuk tabel.
- b) Uji kuat tekan mortar fero semen
  1. Mengolah data hasil pengujian berupa beban maksimum
  2. Menghitung nilai kuat tekan yang disajikan dalam bentuk tabel.
- c) Uji lentur dua titik pembebanan panel fero semen
  1. Mengolah data hasil pengujian berupa beban maksimum yang menyebabkan benda uji runtuh (*collaps*), data lendutan dari pembacaan dial dan pola retak yang timbul akibat pembebanan.

2. Menghitung nilai kuat lentur dengan 2 titik pembebanan yang disajikan dalam bentuk kurva hubungan beban-lendutan dan tabel.
  3. Membuat perbandingan hasil pengujian dengan perhitungan analisis teoritis penampang panel fero semen.
- d) Uji geser dengan beban daerah terpusat panel fero semen
1. Mengolah data hasil pengujian berupa beban *punch* maksimum, dan pola retakan yang ditimbulkan akibat pembebanan.
  2. Membuat perbandingan hasil pengujian dengan perhitungan analisis teoritis penampang panel fero semen.



### 3.5.8. Diagram Alir Penelitian



## V . KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Pada pengujian panel fero semen yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Sifat mekanik material penyusun komponen fero semen dapat dilihat dari hasil pengujian kuat lentur dan tekan mortar, kuat tarik tulangan baja dan kuat tarik kawat ayam.
2. Hasil pengujian material penyusun komponen fero semen tersebut adalah sebagai berikut : kuat lentur mortar sebesar 7,77 MPa; kuat tekan mortar sebesar 30,91 MPa; kuat tarik tulangan baja sebesar 394,65 MPa; dan kuat tarik kawat ayam sebesar 452,08 MPa.
3. Sifat mekanik panel fero semen terhadap pengujian beban lentur dapat dilihat dari hasil pengujian berupa beban, lendutan, tegangan lentur dan pola retakan yang timbul akibat pembebanan pada setiap fase pengujian.
4. Hasil pengujian lentur panel fero semen pada fase B (kondisi retak pertama), didapatkan berupa beban sebesar 5,4677 kN, lendutan sebesar 3,24 mm, dan kuat lentur sebesar 10,0222 MPa. Kemudian pada fase C (kondisi beban *ultimate*) didapatkan hasil pengujian yang didapat berupa beban sebesar 8,5830 kN, lendutan sebesar 16,79 mm, dan kuat lentur sebesar 15,7326 MPa. Untuk jarak retakan terpendek sebesar 7,5 cm dan lebar retakan sebesar 0,85 cm.
5. Sifat mekanik panel fero semen terhadap pengujian beban geser terpusat dapat dilihat dari hasil pengujian berupa beban *punching* maksimum, kuat geser dan pola retakan yang timbul akibat pembebanan.
6. Hasil pengujian beban geser terpusat berupa beban *punching* maksimum sebesar 5,4677 kN, kuat geser sebesar 1,1373 MPa dan pola retakan dibawah panel yang menunjukkan bahwa panel mengalami kegagalan akibat *punching shear*.

7. Perbandingan antara hasil pengujian panel fero semen dan hasil analisisnya didapatkan, hasil pengujian panel yang lebih besar dibandingkan hasil analisisnya. Hal ini menunjukkan bahwa desain penampang dan bahan penyusun fero semen telah sesuai dan berfungsi dengan baik dalam menahan pembebanan yang diakibatkan oleh dua pembebanan pada benda uji panel fero semen.

## **5.2. Saran**

Penelitian ini diharapkan dapat dilanjutkan oleh peneliti selanjutnya dengan memperhatikan beberapa variable penelitian seperti:

1. Variasi kawat ayam dapat ditambahkan lagi, sehingga bisa diketahui desain struktur terbaik untuk panel fero semen dalam menahan pembebanan lentur.
2. Lebar pembebanan dapat diperbanyak dan diperluas, sehingga dapat macam-macam pola retakan atau keruntuhan secara lebih detail.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sumanto. 2012. “Analisa Hubungan Persentase Tulangan Terhadap Variasi Tebal Elemen Lentur Fero semen”. Batam: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Internasional Batam.
- [2] ACI Committee 549. 1999. “*Guide For The Design, Construction and Repair of Ferrocement*”. Detroit, USA: American Concrete Institute.
- [3] Djausal, Anshori. 2004. “Pengantar Fero semen”. Bandar Lampung: Pusat Pengembangan Fero semen Indonesia.
- [4] Syarief, Rislal. 2011. “Sistem Pabrikasi Pada Pelaksanaan Struktur Fero semen”. Bandar Lampung: Jurnal Arsitektur Universitas Bandar Lampung.
- [4] Munandar, A.R. 2022. “Perilaku Lentur Panel Pracetak Fero foam Concrete Dengan Satu Titik Pembebanan”. Banda Aceh: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
- [6] Abdullah. 2014. ”Beton Busa Sebagai Bahan Konstruksi Bangunan Teknik Sipil”. Banda Aceh: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
- [7] Husada, Wensly. 2018. “Pengaruh Perkuatan Ferrocement Dengan Kawat Ayam Pada Struktur Beton”. Medan: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- [8] Suarsana, I.K.T. 2017. “Diktat Pengetahuan Material Teknik”. Bali: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.
- [9] Tanawade and Modhera. 2017. “*Tensile Behaviour of Welded Wire Mesh and Hexagonal Metal Mesh for Ferrocement Application*”. IOP Science.
- [10] BSEN 1015 - 11 : 2019. 2019. “*Methods Of Test For Mortar For Masonry. Determination Of Flexural And Compressive Strength Of Hardened Mortar*”. UK: British Standard Institution
- [11] SNI 174 : 2011. 2011. “Metode Penguji Kuat Tekan Beton”. Badan Standarisasi Nasional.
- [12] SNI 07-2529-1991.1991. “Metode Pengujian Kuat Tarik Baja Beton”. Badan Standarisasi Nasional.

- [13] SNI 4431 : 2011. 2011. “Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan”. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [14] Awal. A.S.M.A. 2007. “*Flexural strenght and punch shear resistence of ferocement slab*”. Bangladesh: Department of Farm Strucrure, Bangladesh Agricultural University.
- [15] Abdillah. M.F. 2019. “Studi Perumusan *Punching Shear* (Geser Ponds) Pada Sistem Struktur Flate Plate Tanpa Perlindungan Geser”. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil, lingkungan dan kebumian, Institut Teknologi Surabaya.
- [16] SNI 2847 : 2019. 2019. “Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung”. Badan Standarisasi Nasional.