

**LAPORAN
PENELITIAN *PROFESSORSHIP*
UNIVERSITAS LAMPUNG**



**SIFAT MEKANIK DAN *FATIGUE* PANEL FERROSEMEN PRACETAK
UNTUK APLIKASI KONSTRUKSI ATAP**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021**

**HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN *PROFESSORSHIP*
UNIVERSITAS LAMPUNG**

Judul Penelitian	: Sifat Mekanik dan <i>Fatigue</i> Panel Fero semen untuk Konstruksi Atap.
Manfaat sosial ekonomi	: Pengembangan teknologi fero semen untuk aplikasi atap bangunan yang lebih ringan, awet dan ekonomis.
Ketua Peneliti	
a. Nama Lengkap	: Ir. Masdar Helmi, S.T., DEA. Ph.D.
b. SINTA ID	: 6041417
c. Jabatan Fungsional	: Lektor Kepala
d. Program Studi	: Teknik Sipil
e. Nomor HP	: 081377771465
f. Alamat surel (e-mail)	: masdar.helmi@eng.unila.ac.id
Anggota Peneliti (1)	
a. Nama Lengkap	: Vera Agustriana, S.T., MT., Ph.D.
b. SINTA ID	: 6667225
c. Program Studi	: Teknik Sipil
Anggota Peneliti (2)	
a. Nama Lengkap	: Prof. Dr. Mohammad Badaruddin, S.T., M.Sc.
b. SINTA ID	: 257014
c. Program Studi	: Teknik Mesin
Anggota Peneliti (3)	
a. Nama Lengkap	: Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.
b. SINTA ID	: 6643378
c. Program Studi	: Teknik Mesin
Jumlah mahasiswa yang terlibat	: 3 mahasiswa
Jumlah alumni yang terlibat	: Tidak ada
Jumlah staf yang terlibat	: 1 orang
Lokasi kegiatan	: Laboratorium Fakultas Teknik Unila
Lama kegiatan	: 6 bulan
Biaya Penelitian	: Rp 50.000.000,-
Sumber dana	: DIPA BLU Unila.

Bandar Lampung, 20 September 2021

Mengetahui,
a.n. Dekan FT Unila
WD. Bid. Akademis dan Kerjasama

Ketua Peneliti

Ir. Irza Sukmana S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197008122001121001

Ir. Masdar Helmi S.T., DEA., Ph.D.
NIP. 197004301997031003

Menyetujui,
Ketua LPPM Unila

Dr. Ir. Lusmeilia Afriani. D.E.A.
NIP. 196505101993032008

RINGKASAN

Ferosemen dibuat dari adukan mortar dan diberi beberapa lapisan kawat jala (*wiremesh*) sebagai tulangan utama dan dapat dipasang tulangan baja sebagai tulangan pembentuk dan pengaku rangka sebelum dicor. Secara umum material pembentuk ferosemen terdiri dari campuran mortar (semen, pasir, dan air), kawat jala, dan tulangan pengaku. Pengembangan teknologi ferosemen di Indonesia telah dilakukan lebih dari 40 tahun lalu. Pada mulanya ferosemen diterapkan pada bangunan-bangunan tepi pantai seperti bangunan pemecah gelombang. Setelah tahun 1978, teknologi ferosemen telah mengalami banyak perkembangan yaitu diterapkannya ferosemen sebagai bahan untuk konstruksi perahu, masjid, bangunan monumental, irigasi, dan pada pembangunan rumah pracetak.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan ilmu pengetahuan tentang karakteristik panel ferosemen akibat beban lentur statis dan juga akibat beban dinamis (*fatigue*). Tujuan lainnya adalah untuk mengembangkan teknik pabrikan dan instalasi panel ferosemen dalam satu bagian konstruksi atap. Penelitian ini merupakan bagian dari roadmap pengembangan teknologi ferosemen dan aplikasinya. Hasil penelitian selain digunakan untuk publikasi di jurnal internasional, juga dapat digunakan sebagai pertimbangan para praktisi konstruksi dalam merencanakan dan menggunakan panel ferosemen untuk struktur atap bangunan.

Proses penelitian baru sampai tahapan pembuatan desain struktur atap dan rencana instalasi panel ferosemen di atas kerangka tersebut. Panel ferosemen yang akan digunakan sebagai atap masjid sudah selesai di pabrikan sebanyak 400 panel. Namun belum diinstalasi karena kerangka atapnya masih dalam proses pabrikan. Pengujian material yang digunakan untuk membuat panel ferosemen sudah dilakukan di laboratorium. Pengujian sifat-sifat mekanik dan *fatigue* masih dalam tahap persiapan pabrikan benda uji karena terkendala peralatan pengaduk mortar khusus yang harus di beli terlebih dahulu.

Luaran penelitian ini berupa paper yang dipublikasikan pada seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA) 2021. Sedangkan publikasi internasional belum dapat dilakukan karena menunggu hasil pengujian mekanik dan *fatigue* benda uji ferosemen. Luaran tambahan penelitian berupa aplikasi teknologi prototipe panel ferosemen (TKT 7) untuk konstruksi atap bangunan Masjid Al-Fatih FT UNILA seluas 400 m² sedang dalam proses konstruksi dan jumlah mahasiswa yang terlibat dalam penelitian untuk skripsi menjadi 3 mahasiswa.

Kata kunci: sifat mekanik, sifat *fatigue*, ferosemen, mortar, fiber polypropylene.

DAFTAR ISI

	Hal
RINGKASAN.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Teknologi ferosemen dan aplikasinya.....	3
2.2 Fiber Polypropylene.....	4
2.3 Studi Pendahuluan tentang Ferosemen.....	5
BAB III. METODE PENELITIAN.....	7
3.1 Desain Struktur dan Panel Ferosemen.....	7
3.2 Uji Mekanik.....	8
3.3 Uji Fatigue.....	9
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	Error! Bookmark not defined.
4.1 Desain Struktur Atap dan Panel Ferosemen.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.1 Desain Struktur Masjid.....	11
4.1.2 Desain Struktur Atap.....	13
4.1.3 Desain Panel Ferosemen.....	16
4.2 Analisis Struktur Bangunan Masjid dan Kekuatan Panel Ferosemen.....	17
4.2.1 Analisis Struktur Bangunan.....	17
4.2.2 Analisis Struktur Atap.....	29
4.2.3 Analisis Kekuatan Panel Ferosemen.....	32
4.3 Pabrikasi Panel Ferosemen.....	33
4.4 Progres instalasi panes ferosemen di Atap Masjid.....	33
4.4 Pabrikasi Panel Ferosemen dan Struktur Atap.....	36
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA.....	40
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	41
Lampiran 1: Halaman Profil Sinta Tim Peneliti.....	42
Lampiran 2. Publikasi.....	44

BAB 1. PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi ferosemen di Indonesia telah dilakukan lebih dari 40 tahun lalu. Pada mulanya ferosemen diterapkan pada bangunan-bangunan tepi pantai seperti bangunan pemecah gelombang. Setelah tahun 1978, teknologi ferosemen telah mengalami banyak perkembangan yaitu diterapkannya ferosemen sebagai bahan untuk konstruksi perahu, masjid, bangunan monumental, irigasi, dan pada pembangunan rumah pracetak (Djausal et al, 2001).

Pada umumnya ferosemen dibuat dari campuran semen, pasir, air dan kawat baja jala halus serta tulangan baja sebagai penguat (Naaman, 2000). Namun, proses pembuatannya sedikit berbeda dengan teknik pengerjaan beton bertulang. Selain itu, pembuatan ferosemen hanya memerlukan volume bahan yang relatif lebih sedikit dibandingkan dengan beton bertulang (Djausal, 2004). Fungsi kawat jala halus sebagai penahan mortar pada saat masih basah dan penahan beban tarik setelah kering. Umumnya kawat jala halus persegi banyak digunakan karena dapat menahan beban tarik pada arah longitudinal, transversal, maupun arah diagonal 45° (Naaman, 2000).

Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dunia maka kebutuhan tempat tinggal juga semakin meningkat sehingga ferosemen juga mulai digunakan untuk konstruksi bangunan rumah sebagai pengganti dinding batu bata (Anand et al., 2019). Oleh karena itu, Selain waktu pengerjaannya yang lebih singkat, biaya yang lebih murah, ferosemen juga memiliki kekuatan yang lebih besar bila dibandingkan dengan dinding batu bata dan juga mudah dalam proses pembuatan dan perbaikan (Helmi dan Alami, 2006). Pembangunan 500 unit rumah dengan bahan ferosemen pernah dilakukan di 2 kota, yaitu Tabasco dan Sonora di negara Mexico (Olvera et al., 1998).

Ferosemen yang memiliki karakteristik baik terhadap beban kejut dan penyebaran keretakan mulai digunakan untuk berbagai aplikasi lain seperti lapisan elemen struktur, perkuatan struktur beton bertulang atau juga dinding bata dan lantai (Lalaj et al, 2015; Rahman dkk, 2013). Selain digunakan dalam membuat struktur bangunan, ferosemen juga berpotensi untuk bahan alternatif konstruksi menyerupai balok baja (Irwansyah dkk, 2018). Ferosemen juga bisa digunakan untuk perkuatan struktur

kolom (Erfan et al, 2019; Kaish et al, 2018; Masud et al, 2016, Subandono dkk, 2011). Pada penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa penggunaan ferosemen pada bagian luar kolom beton bertulang dapat meningkatkan kekuatan beban aksial dan mengubah pola kehancurannya. Studi karakteristik lentur ferosemen untuk struktur pontoon yang bersentuhan terus dengan air juga sudah dilakukan Rismawan dkk (2014). Salah satu kelemahan ferosemen untuk struktur di atas air ini adalah *mesh* (kawat jala) berbahan bajanya mudah berkarat pada saat kondisi lembab atau basah. Salah satu cara mengatasi kelemahan ini adalah dengan penggunaan *mesh* bahan *polypropylene* yang tidak mengalami karat akibat air (Mughal et al, 2019).

Mortar ferosemen yang terbuat dari campuran pasir, semen dan air memiliki kelemahan dalam menahan tegangan tarik. Tegangan tarik ini bisa terjadi akibat beban dinamis dari getaran, perubahan suhu, dan penyusutan. Apabila tegangan tarik tersebut melampaui kekuatan mortar, maka akan mengakibatkan retak dan mortar tidak lagi kedap air (Afridi et.al., 2019). Untuk mengontrol penyebaran retak ini agar tidak meluas, maka digunakan fiber sebagai tulangan mikronya. Salah satu upaya mengatasi ini adalah dengan penambahan serat polypropylene dalam adukan mortar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan ilmu pengetahuan tentang karakteristik panel ferosemen akibat beban lentur statis dan juga akibat beban dinamis (fatigue). Tujuan lainnya adalah untuk mengembangkan teknik pabrikan dan instalasi panel ferosemen dalam satu bagian konstruksi berupa atap. Penelitian ini merupakan bagian dari roadmap pengembangan teknologi ferosemen dan aplikasinya. Hasil penelitian selain digunakan untuk publikasi di jurnal internasional, juga dapat digunakan sebagai pertimbangan para praktisi konstruksi dalam merencanakan dan menggunakan panel ferosemen untuk struktur atap bangunan. Pada tahapan selanjutnya, hasil penelitian ini bisa diajukan untuk memperoleh HKI/ paten di tahun depan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teknologi fero semen dan aplikasinya

Fero semen merupakan salah satu teknologi konstruksi bidang teknik sipil yang cocok untuk diterapkan dalam berbagai bentuk konstruksi. Fero semen dibuat dari mortar (campuran semen dan pasir) dan tulangan berupa jaring kawat (*mesh reinforced*) yang dikerjakan menggunakan tenaga manusia (manual) membentuk suatu konstruksi tipis (2–5 cm) (Naaman, 2000). Beberapa keunggulan dari fero semen diantaranya adalah : tahan lama sebab bahan yang digunakan tidak mudah busuk , berkarat atau retak; tahan terhadap beban kejut dan ledakan karena fleksibilitas fero semen yang besar, mampu menahan retak karena menggunakan tulangan jaring (Lalaj et al, 2015). Selain keuntungan teknis, fero semen sangat cocok diterapkan di negara berkembang karena bahan dasarnya mudah diperoleh, mudah dibentuk sesuai dengan keinginan pengguna, teknologi fero semen mudah dipelajari, dan bila terjadi kerusakan sebagian struktur akan mudah dan cepat memperbaikinya. Dengan demikian teknologi fero semen sangat memungkinkan untuk diterapkan pada masyarakat sebagai salah satu bentuk konstruksi yang mudah dikerjakan dan relatif murah (Djausal et al, 2001).

Bahan penyusun atau pembentuk fero semen pada umumnya dapat dibagi menjadi dua komponen utama, yaitu matriks dan tulangan (Djausal, 2004). Matriks adalah pengikat semen hidrolis yang mengandung agregat halus, pada umumnya disebut dengan mortar. Matriks memiliki fungsi untuk mengendalikan susut, menetapkan waktu, dan meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Matriks terdiri dari semen *portland*, agregat halus (pasir), air, dan bahan tambah (*addmixtures*). Sedangkan komponen utama lainnya yaitu tulangan untuk fero semen umumnya berbentuk lapisan kawat jala (*wiremesh*). Karakter dari setiap komponen ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Penerapan teknologi fero semen di Indonesia terus berkembang untuk berbagai jenis konstruksi. Pada mulanya digunakan pada bangunan-bangunan pantai, tetapi setelah tahun 1978, mengalami perkembangan hingga ke sektor irigasi. Penerapan lainnya dapat dilihat pada beberapa bangunan kubah masjid, konstruksi kapal atau ponton, bangunan monumental dan rumah pracetak (Naaman, 2000; Djausal et. al, 2001; Helmi dan Alami, 2006; Lalaj et al, 2015).

Tabel 1. Komposisi bahan dan penulangan pembentuk fero semen

No	Sifat	Uraian	Keterangan
1	Penulangan kawat anyam/ anyam	garis tengah	0,5 mm sampai dengan 1,5 mm
		macam kawat	anyam, anyam segi-4, anyam wajik
		jarak bukaan kawat	6,0 mm sampai dengan 25 mm
		jumlah lapis	maksimal 5 lapis per cm tebal
		prosentase tulangan	maksimal 8% dalam 2 arah penulangan atau 630 kg/m ²
2	Penulangan rangka	permukaan spesifik	maksimal 4 cm ² /cm ³ dalam 2 arah pembebanan
		macam	kawat, kawat baja, besi beton
		garis tengah	3 mm sampai dengan 10 mm
3	Komposisi mortar	jarak penulangan	5 cm sampai dengan 10 cm
		semen portland	tergantung tujuan pemakaian
		pasir banding semen	Perbandingan berat 1 sampai dengan 2,5
		air banding semen (W/C)	Perbandingan berat 0,35 sampai dengan 0,6
4	Bahan fero semen	pasir	semua melewati ayakan no. 8 dan maksimal 5% melewati ayakan no. 100
		tebal	6 mm sampai dengan 50 mm
		lapis penutup	1,5 mm sampai dengan 5 mm
		kekuatan batas tarik	105 sampai dengan 450 kg/cm ²
		beban tarik yang diizinkan	minimal 105 kg/cm ²
		modulus runtuh	minimal 570 kg/cm ²
5	Kekuatan izin beban	kekuatan tekan	280 kg/cm ² sampai dengan 705 kg/cm ²
		kuat tekan izin	0,45 f _c '
		kuat tekan mortar	f _c ' = 0,6 f _c ' (nonkedap air)
		kuat tarik tulangan	f _c ' = 2000 kg/cm ² (kedap air)

Penggunaan fero semen untuk atap masjid pada umumnya berbentuk kubah, sedangkan aplikasi untuk atap yang berbentuk datar atau rata masih jarang. Kemungkinan besar penyebab masih jarang nya atap fero semen untuk atap datar karena kesulitan pelaksanaan melepa mortar fero semen ke kerangka strukturnya. Oleh karena itu perlu upaya pengembangan teknik konstruksinya agar dapat menyederhanakan pelaksanaan atap fero semen di lapangan.

2.2 Fiber Polypropylene

Fiber *polypropylene* adalah sejenis serat plastik yang di produksi khusus dengan teknologi tinggi. *Polypropylene* merupakan senyawa hidrokarbon dengan rumus kimia (C₃H₆)_n berupa jaringan serabut tipis yang berbentuk jala dengan ukuran panjang 6 mm – 50 mm dan memiliki diameter 8 – 90 mikron. Material ini berbentuk filamen-filamen yang ketika dicampurkan dalam adukan fero semen akan terurai. Serat atau fiber jenis ini dapat meningkatkan kuat tarik lentur dan tekan beton.

Beberapa keuntungan penggunaan serat atau fiber *polypropylene* dalam campuran beton adalah meningkatkan daya ikat matriks beton, daya tahan terhadap beban kejut, dan meningkatkan keawetan beton.

Penggunaan serat atau fiber sebagai bahan tambah dalam campuran beton dapat mengurangi keretakan yang terlalu dini di daerah tarik akibat pengaruh pembebanan (Naaman, 2000). Penggunaan serat dalam beton juga dapat meningkatkan daktilitas beton dari sifat yang getas menjadi lebih daktil. Penggunaan serat atau fiber yang terlalu sedikit tidak menghasilkan efek yang baik terhadap struktur beton, sedangkan jika terlalu banyak, maka akan mengurangi kecekan beton sehingga beton akan sulit dipadatkan dan banyak rongga udara yang terjebak di dalamnya. Dengan demikian fiber ini berpotensi juga untuk digunakan sebagai bahan campuran dalam mortar untuk struktur ferosemen.

2.3 Studi Pendahuluan tentang Ferosemen

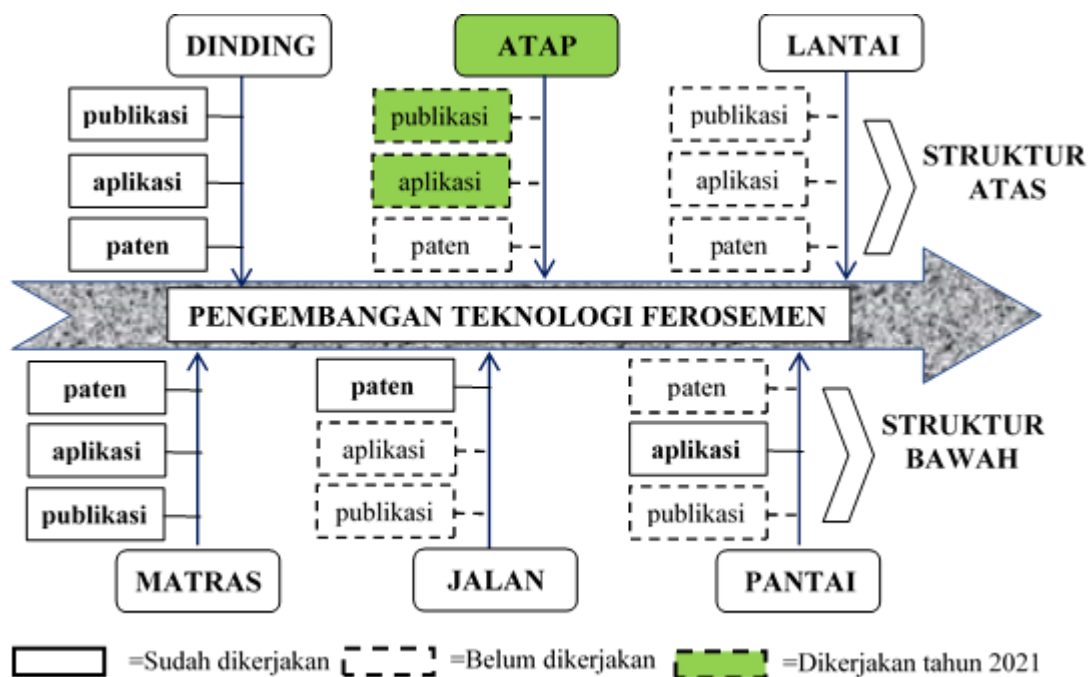
Ferosemen yang sudah banyak dikenal memiliki keunggulan dalam menahan beban kejut dan mampu memperlambat proses penyebaran keretakan banyak diteliti dalam berbagai macam variabel bahan, komposisi, elemen struktur atau juga cara pembebanan. Meskipun teknologi ferosemen tidak banyak diaplikasikan dalam berbagai konstruksi modern, namun konstruksi ferosemen ini seringkali digunakan sebagai salah satu cara menyelesaikan permasalahan dalam mewujudkan bentuk konstruksi yang diinginkan arsiteknya (Lalaj et al, 2015).

Penelitian ferosemen terkait sifat mekanik biasanya dilakukan dalam bentuk uji lentur untuk menganalisis kekuatan, lendutan, pola retak atau kehancuran dengan berbagai perlakuan tambahan bahan atau dikombinasikan dengan jenis bahan lainnya (Rahman dkk, 13; Rismawan dkk, 14; Simatupang, 2017). Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa kekuatan ferosemen terhadap lentur dipengaruhi oleh ketebalan mortar, komposisi material dan jumlah lapisan kawat jala. Penambahan fiber polypropylene pada mortar ferosemen juga dapat meningkatkan kuat lentur dan mengubah pola kehancurannya menjadi lebih daktil (Afridi et al, 2019).

Penelitian tentang sifat fatigue balok beton bertulang yang diperkuat dengan struktur

ferosemen dengan sistem *jacketing* sudah dilakukan oleh Sobandono dkk (2011). Hasilnya menunjukkan bahwa perkuatan ferosemen dapat meningkatkan kekuatan ultimit balok beton hingga 91. 997% dibandingkan tanpa perkuatan. Hal ini menunjukkan bahwa ferosemen memiliki kekuatan yang baik dalam menahan beban *cyclic/fatigue*.

Pengembangan teknologi ferosemen di Unila dilakukan sebagai penelitian bagi dosen dan mahasiswa. Keluaran dari penelitian tersebut berupa publikasi, skripsi dan paten serta aplikasi. Pada saat ini Universitas Lampung sudah memiliki 3 tentang rumah pracetak ferosemen, matras ferosemen, dan jalan di atas tanah lunak (Helmi, 2015; Helmi, 2017; Helmi, 2020). Secara garis besar ada 2 jenis konstruksi ferosemen yang sedang dikembangkan di Unila, yaitu untuk konstruksi di atas permukaan tanah yang dipengaruhi beban dan konstruksi di bawah permukaan tanah atau air yang dipengaruhi oleh sifat tanah sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Roadmap penelitian pengembangan teknologi ferosemen

BAB 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dan terapan (Gambar 8). Kegiatan experimental akan dilakukan di dua laboratorium FT Unila, yaitu Laboratorium Bahan dan Konstruksi Teknik Sipil untuk uji mekanik dan Laboratorium Material Teknik Mesin untuk uji fatigue. Sedangkan tahapan penerapan akan diaplikasikan pada konstruksi atap di Masjid Faklutas Teknik Unila. Secara garis besar, kedua jenis metode penelitian tersebut terbagi menjadi tiga bagian: input, proses, dan output seperti terlihat pada Gambar 2. Output dari eksperimental berupa satu paper publikasi di jurnal internasional bereputasi dan satu paper seminar nasional. Sedangkan output metode terapan berupa pemasangan panel ferosemen pada atap Masjid FT Unila.



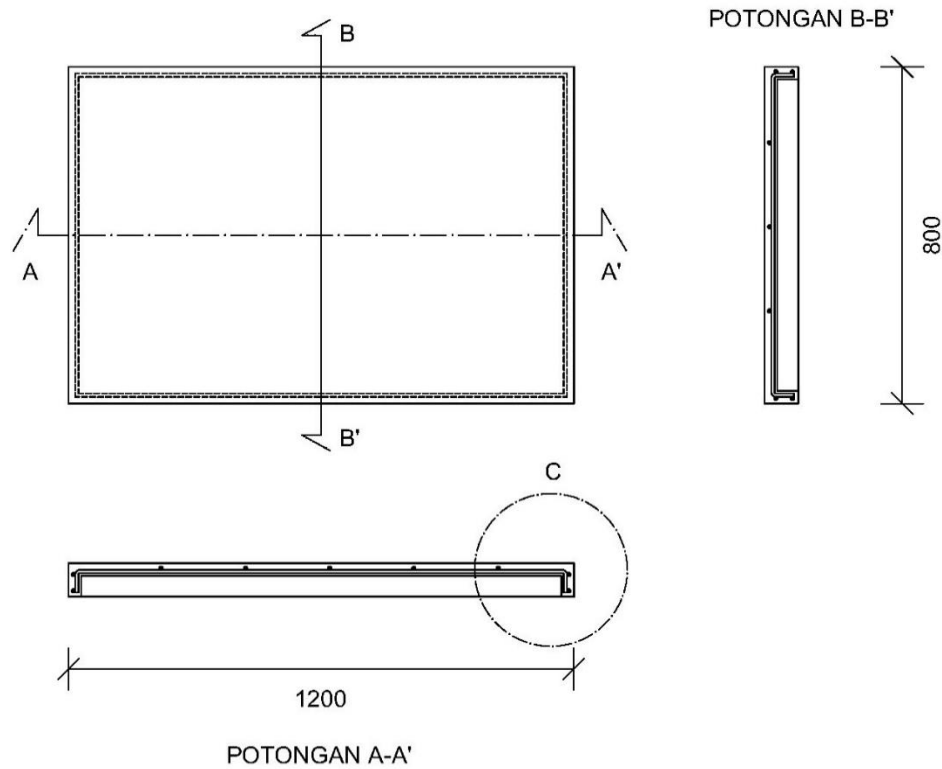
Gambar 2. Rangkaian pelaksanaan penelitian yang direpresentasikan melalui diagram fishbone

3.1 Desain Struktur dan Panel Ferosemen

Struktur utama bangunan Masjid menggunakan sistem portal beton bertulang untuk kolom, balok dan pelat lantai. Struktur di analisis menggunakan software ETABS untuk mengecek kemampuan elemen struktur dalam menahan beban statis dan beban dinamis. Beban statis yang diperhitungkan adalah berat sendiri struktur dan beban hidup yang akan bekerja di atasnya. Sedangkan beban dinamis berupa beban gempa dan beban angin untuk zone Bandar Lampung.

Desain panel ferosemen mengadopsi bentuk panel persegi yang terbuka pada salah satu bagian terluasnya. Ukuran panel panjang 120cm, lebar 80cm, tinggi 8cm dan

ketebalan 2,5cm (Gambar 3). Panel ini akan dipasang di atas gording dengan posisi yang terbuka menghadap ke bawah. Panel ferosemen dibentuk menggunakan kerangka baja tulangan berdiameter 6mm dan dilapis kawat jala di bagian dalamnya.



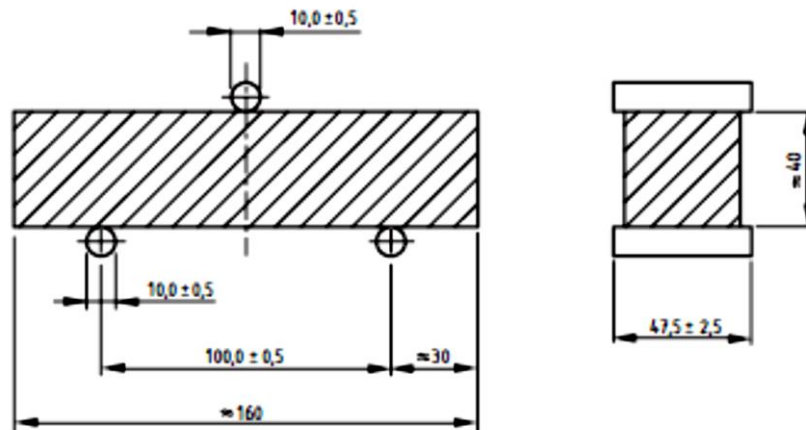
Gambar 3. Dimensi panel ferosemen berbentuk persegi

3.2 Uji Mekanik

Pengujian kuat lentur ferosemen mengadopsi cara yang sudah dilakukan Rahman dkk (2013) dan Simatupang dkk (2017) berdasarkan SNI 4154 (2014) dengan metode pembebanan terpusat di tengah bentang (*third poin loading*) (Gambar 3). Pengujian lentur menggunakan tiga macam dimensi benda uji yang berbeda ukuran, yaitu:

- (A) Prisma berukuran 40x40x160 mm; variabel berupa komposisi mortar dan prosentase fiber.
- (B) Pelat ferosemen berukuran 25x100x160 mm dengan variabel jumlah lapis kawat jala dan dengan atau tanpa fiber.
- (C) Panel ferosemen berukuran 80x800x1200 mm dan tebal 25mm dengan variabel

panel tanpa atau dengan tulangan kerangka dan panel dengan atau tanpa fiber.



Gambar 3. Cara uji lentur untuk benda uji prisma berdasarkan BS EN 197-1, 2011

Hasil pengujian ini berupa beban maksimum saat runtuh, lendutan dan pola kehancuran benda uji. Kuat lentur untuk semua jenis benda uji dihitung dengan Persamaan 1.

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

dengan:

R = *modulus of ruptured* / kuat lentur (MPa)

P = beban runtuh (N)

L = panjang benda uji antar tumpuan (mm)

b = lebar benda uji (mm)

d = tinggi benda uji (mm)

Pada benda uji prisma (40x40x160 mm) dilakukan uji lentur mengikuti standar BS EN 197-1, 2011. Berdasarkan standar ini, kedua potongan prisma yang sudah terputus ditengahnya dapat digunakan untuk benda uji tekan dengan luas penampang yang tertekan (40x40 mm). Kuat tekan dihitung berdasarkan Persamaan 2.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (2)$$

dengan: ,

f'c = kuat tekan mortar (MPa)

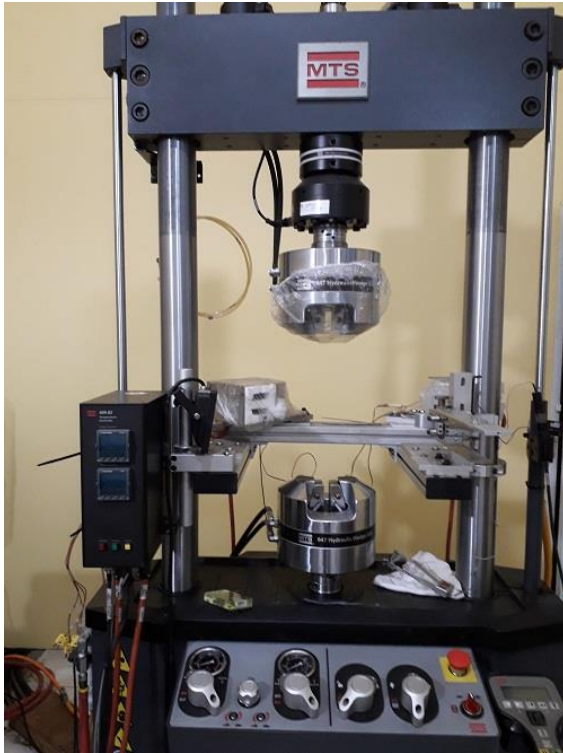
P = beban tekan maksimum (N)
A = luas penampang tertekan (mm²)

Benda uji panel ferosemen berbentuk segi empat dengan ukuran panjang 1200 mm, lebar 800 mm, tinggi rib 80m, dan ketebalan ferosemen 25 mm seperti terlihat pada Gambar 4.

Gambar 4. Dimensi panel ferosemen berbentuk persegi

3.3 Uji Fatigue

Pengujian mekanik dan fatigue pelat ferosemen mengadopsi penelitian yang sudah dilakukan oleh Badaruddin et al (2019) dengan menggunakan servohydarulics computerized MTS Landmark 100 kN (Gambar 5a). Perubahan panjang akibat beban aksial yg dialami benda kerja selama pembenan aksial tarik diukur secara presisi menggunakan extensometer (Gambar 5b). Semua pengujian tarik dan fatigue dilakukan dengan menggunakan template pengujian khusus yang dikembangkan di Lab. Material Teknik Mesin menggunakan software multipurposes elite (MPE) dari MTS (gambar 5c). Proses pengujian benda uji berupa prisma dan pelat ferosemen disesuaikan menurut standar ASTM/ISO.



(a)



(b)



(c)

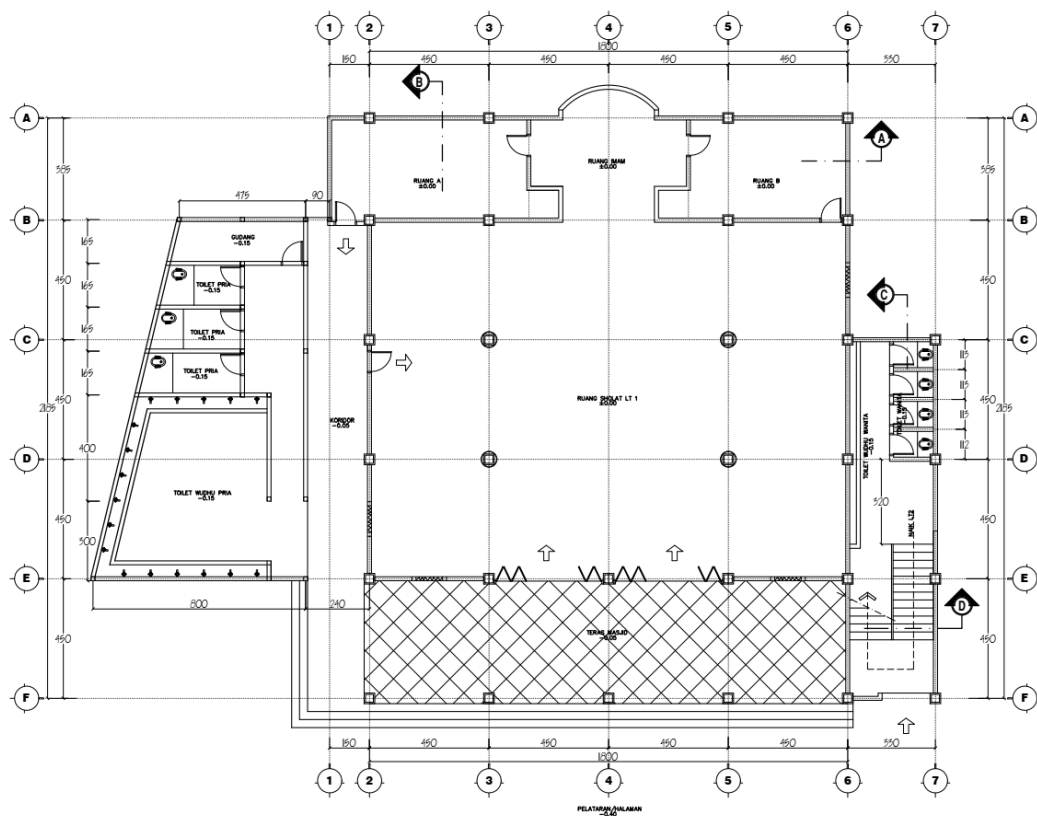
Gambar 5. MTS Landmark load frame system, (b) extensometer with gage length 50 mm dan (c) MPE software untuk eksekusi pengujian secara komputeres

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

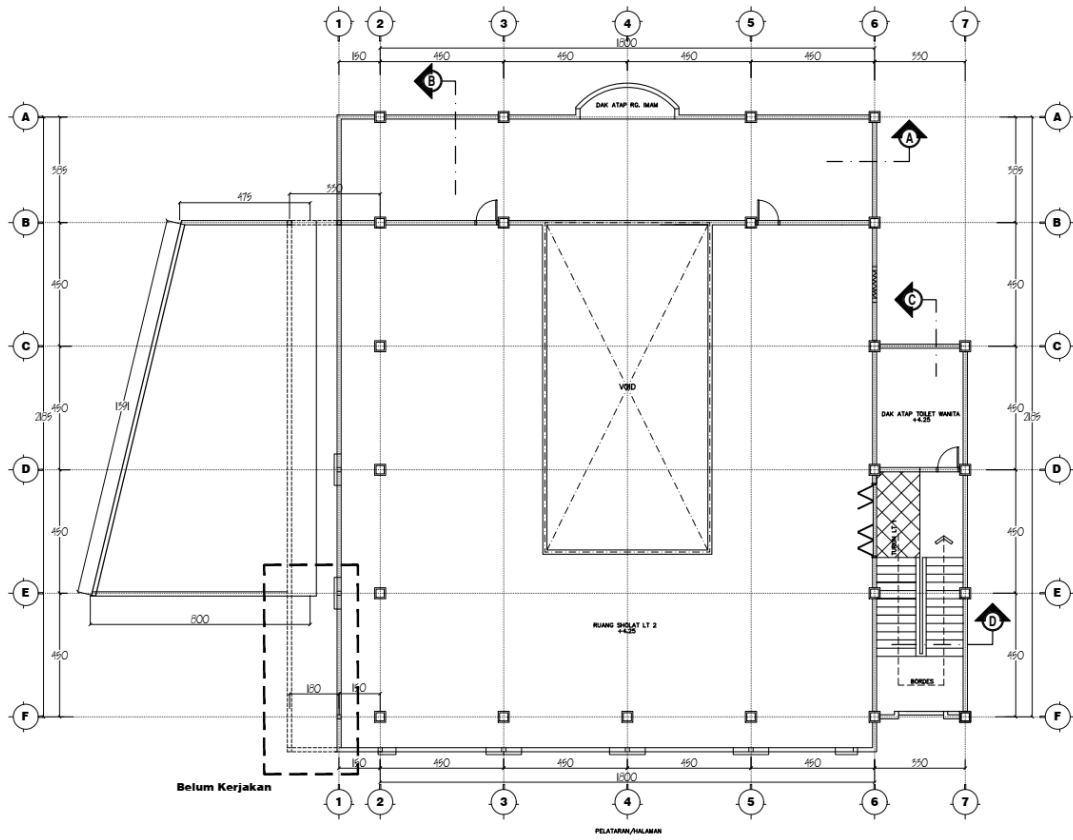
4.1 Desain Struktur Atap dan Panel Ferosemen

4.1.1 Desain Struktur Masjid

Bangunan utama Masjid Al Fatih FT Unila dirancang menggunakan konstruksi beton bertulang 2 lantai dengan ukuran sisi luar 18x18m. Pondasi berupa tapak beton bertulang berukuran 1,2x1,2m di atas tanah asli yang cukup keras. Kolom beton bertulang berukuran 40x40cm berisi tulangan 12D16. Balok beton bertulang berukuran 30x50cm berisi tulangan 4D16 + 2D16 di bagian tumpuan dan 2D16 + 4D16 di bagian lapangan bentang 4,5m. Pelat beton bertulang ketebalan 12cm berisi tulangan 8-150mm yang dilapisi bondex di bagian bawahnya. Bentuk denah dan tampak luar desain bangunan terlihat pada Gambar 6 - 9.



Gambar 6. Denah lantai 1



Gambar 7. Denah lantai 2



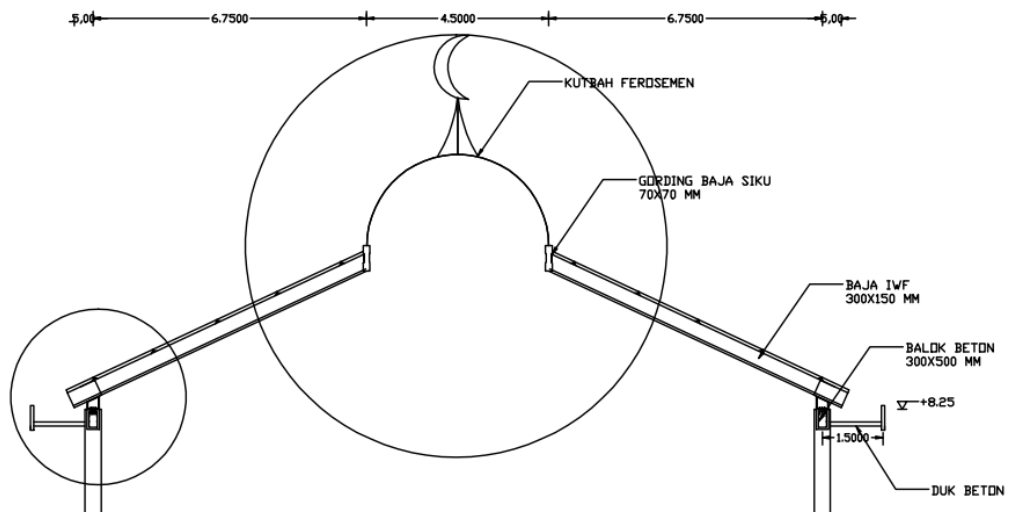
Gambar 8. Tampak muka



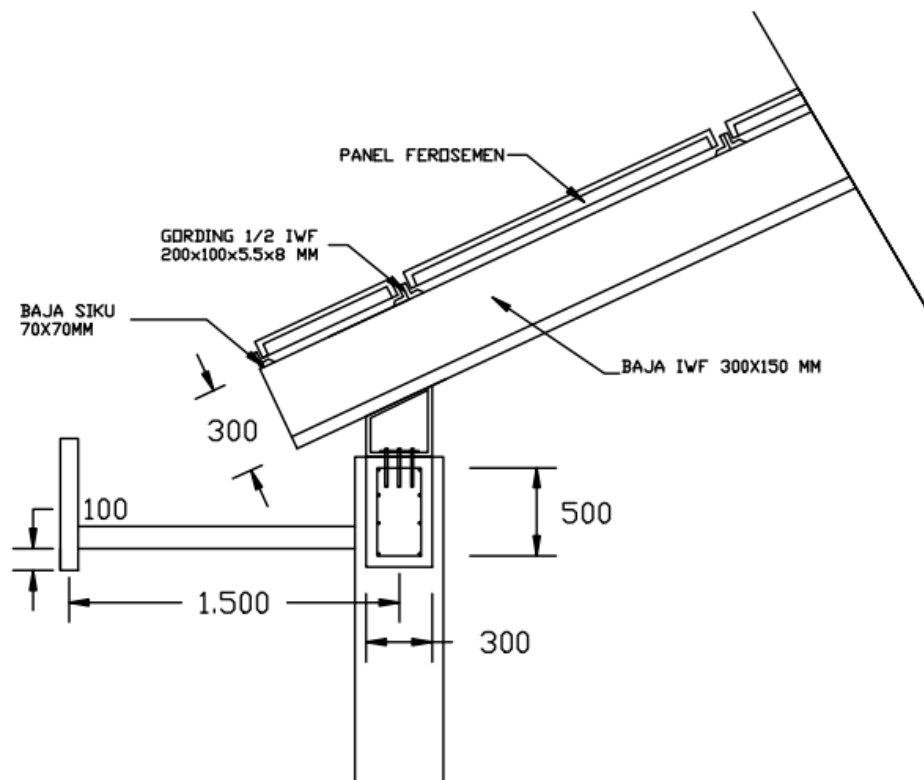
Gambar 9. Tampak samping kiri

4.1.2 Desain Struktur Atap

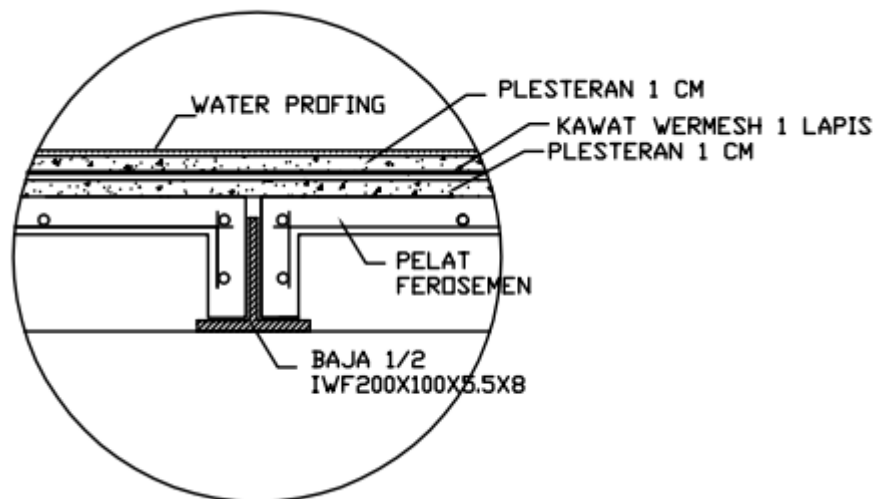
Atap masjid berbentuk limasan berukuran 18 x 18 m dengan sudut 25° dan dipasang kubah ferosemen di tengah-tengahnya. Kerangka atap menggunakan baja IWF 300x150 tanpa tiang penyangga di tengah bentangnya. Gording menggunakan baja IWF 200x100 yang dibelah menjadi 2 bagian sehingga membentuk seperti huruf “T” terbalik yang akan digunakan untuk menyangga panel ferosemen. Instalasi panel ferosemen menggunakan alat pengangkat (crane) sehingga bisa diletakkan di atas gording dengan cepat dan aman. Penyatuan antar panel ferosemen dan antara panel dengan gording menggunakan sistem pengelasan pada bagian pinggir dan ujung panel. Rongga yang terdapat pada sisi-sisi panel dan gording diisi mortar untuk meratakan permukaan atasnya. Selanjutnya seluruh permukaan panel dilapisi kembali dengan mortar yang diberi kawat jala untuk mencegah retak. Pada bagian sisi teratas dilapisi kembali dengan bahan kedap air yang bisa melekat dengan mortar. Rangkaian dan tahapan konstruksi atap ini dapat terlihat pada gambar 10-14.



Gambar 12. Potongan struktur atap limasan dan kubah ferosemen.



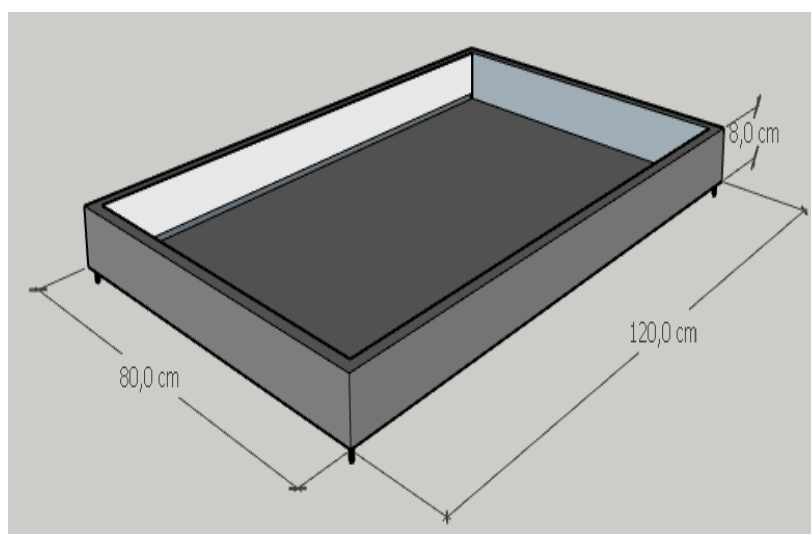
Gambar 13. Detail dudukan baja IWF pada balok beton



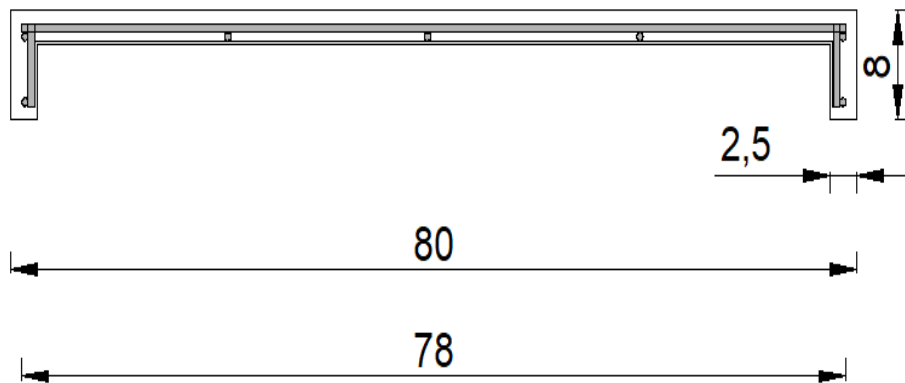
Gambar 14. Detail finishing bagian atas panel ferosemen.

4.1.3 Desain Panel Ferosemen

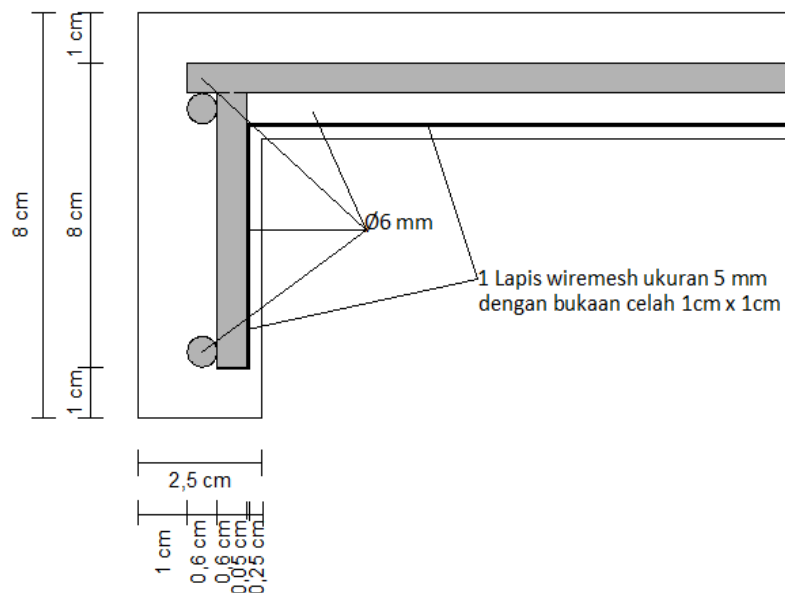
Panel ferosemen berbentuk kotak segi empat berukuran 120cm panjang, 80cm lebar, 8cm tinggi, dan ketebalan 2,5cm dengan salah satu sisi terlebarnya terbuka. Bentuk panel mengikuti kerangka yang dibuat dari besi tulangan berdiameter 6mm dan dilapisi kawat jala pada sisi dalamnya. Pada bagian keempat sudut kerangkanya dipasang tulangan berdiameter 8mm untuk mengaitkan panel dengan gording pada saat instalasi di atas kerangka atap. Desain panel ferosemen ini bisa dilihat pada Gambar 15 – 16.



Gambar 14. Bentuk panel ferosemen.



Gambar 15. Bentuk potongan panel ferosemen.



Gambar 16. Detail penulangan panel ferosemen.

4.2 Analisis Struktur Bangunan Masjid dan Kekuatan Panel Ferosemen

4.2.1 Analisis struktur bangunan

Struktur bangunan gedung maupun infrastruktur lainnya harus dirancang sesuai ketentuan dan standar perencanaan yang ada agar kenyamanan dan keamanan pemilik dan pengguna terpenuhi, tak terkecuali infrastruktur gedung yang konstruksi utamanya adalah baja dan beton. Kontruksi baja maupun beton harus dirancang agar memenuhi efektifitas kenyamanan dan pemanfaatan agar terpenuhinya kekuatan yang maksimal dan efisien. Salah satunya *review design & structure analysis perencanaan gedung*

masjid ft universitas lampung yang perencanaannya dirancang dengan menggunakan konstruksi beton baik plat, kolom dan struktur balok. Data dan standar yang digunakan dalam kegiatan analisis struktur ini adalah:

1. Data bangunan berdasarkan gambar rencana pembangunan gedung
2. SNI 1729 – 2020 (Standar Struktur Baja Indonesia)
3. SNI 2847 – 2019 (Standar Struktur Beton Indonesia)
4. SNI 1726 – 2019 (Standar Gempa Indonesia)
5. SNI 1727 – 2020 (Standar Pembebanan Indonesia)
6. ACI 318-14 (American Concrete Institute 318)

Struktur dimodelkan sebagai sistem ganda dengan rangka beton bertulang pemikul momen khusus yang dijepit pada lantai dasar dan terdiri atas kolom, balok dan pelat dengan dimodelkan menggunakan program komputer Etabs secara 3 dimensi. Struktur atas direncanakan juga mampu mendukung gaya Gempa rencana sesuai dengan klasifikasi yang sudah ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019. Adapun Konsep Perhitungan Analisis Struktur sebagai berikut:

a. Kolom

Kolom direncanakan sebagai kolom baja dengan analisa dari output Etabs dan pengecekan perhitungan secara manual.

b. Pelat Lantai

Pelat direncanakan menggunakan beton konvensional dengan analisa perhitungan menggunakan bantuan formula Excel

c. Balok

Balok direncanakan menggunakan balok baja dengan analisa output Etabs dan pengecekan perhitungan secara manual.

A. Kombinasi beban

Mengacu pada spesifikasi dan SNI 2847:2019, kombinasi pembebanan yang digunakan adalah :

- a. 1,4 DL
- b. 1,2 DL + 1,6 LL
- c. 1,2 DL + 1 LL + 0,5 TLL + 1 WL(X) + 0,3 WL(Y)

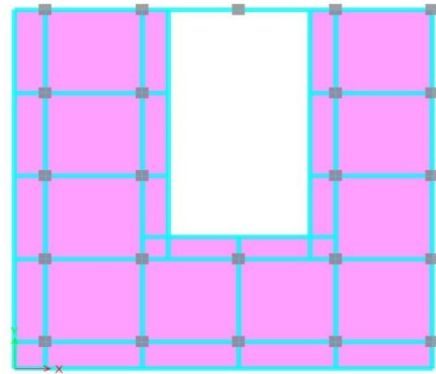
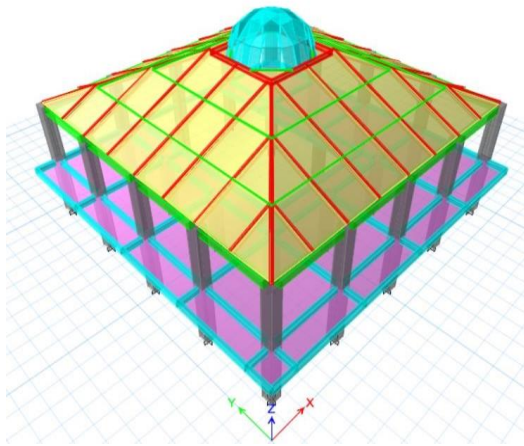
- d. $1,2 \text{ DL} + 1 \text{ LL} + 0,5 \text{ TLL} + 0,3 \text{ WL}(Y) + 1 \text{ WL}(Y)$
- e. $(1,2+0,2 \text{ Sds}) \text{ DL} + 1 \text{ LL} + 1 \rho \text{ Eq}(X) + 0,3\rho \text{ Eq}(Y)$
- f. $(1,2+0,2 \text{ Sds}) \text{ DL} + 1 \text{ LL} + 1 \rho \text{ Eq}(X) - 0,3\rho \text{ Eq}(Y)$
- g. $(1,2+0,2 \text{ Sds}) \text{ DL} + 1 \text{ LL} - 1 \rho \text{ Eq}(X) - 0,3\rho \text{ Eq}(Y)$
- h. $(1,2+0,2 \text{ Sds}) \text{ DL} + 1 \text{ LL} - 1 \rho \text{ Eq}(X) + 0,3\rho \text{ Eq}(Y)$
- i. $(1,2+0,2 \text{ Sds}) \text{ DL} + 1 \text{ LL} + 0,3 \rho \text{ Eq}(X) + 1\rho \text{ Eq}(Y)$
- j. $(1,2+0,2 \text{ Sds}) \text{ DL} + 1 \text{ LL} + 0,3 \rho \text{ Eq}(X) - 1\rho \text{ Eq}(Y)$
- k. $(1,2+0,2 \text{ Sds}) \text{ DL} + 1 \text{ LL} - 0,3 \rho \text{ Eq}(X) - 1\rho \text{ Eq}(Y)$
- l. $(1,2+0,2 \text{ Sds}) \text{ DL} + 1 \text{ LL} - 0,3 \rho \text{ Eq}(X) + 13\rho \text{ Eq}(Y)$

Catatan:

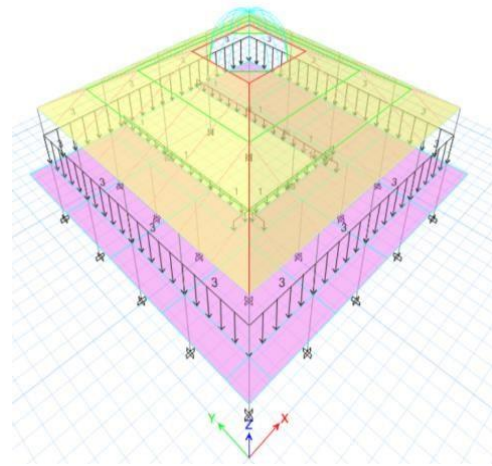
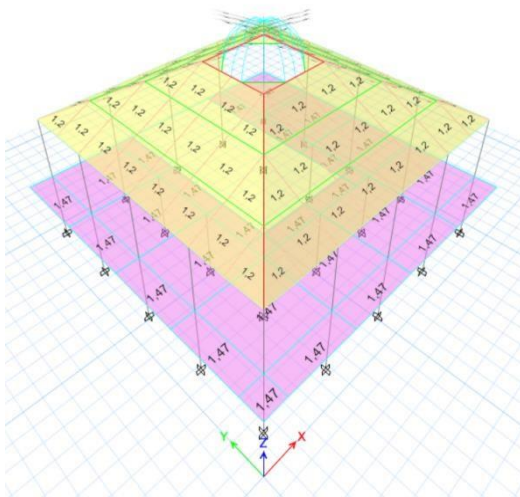
DL	: Beban Mati termasuk Beban Mati Tambahan
LL	: Beban Hidup
TLL	: Beban Hidup Atap
WL	: Beban Angin
WL (X)	: Beban Angin Arah X
WL (Y)	: Beban Angin Arah Y
QL	: Beban Gempa
QL (X)	: Beban Gempa Arah X
QL (Y)	: Beban Gempa Arah Y

B. Pemodelan struktur dan pembebanan

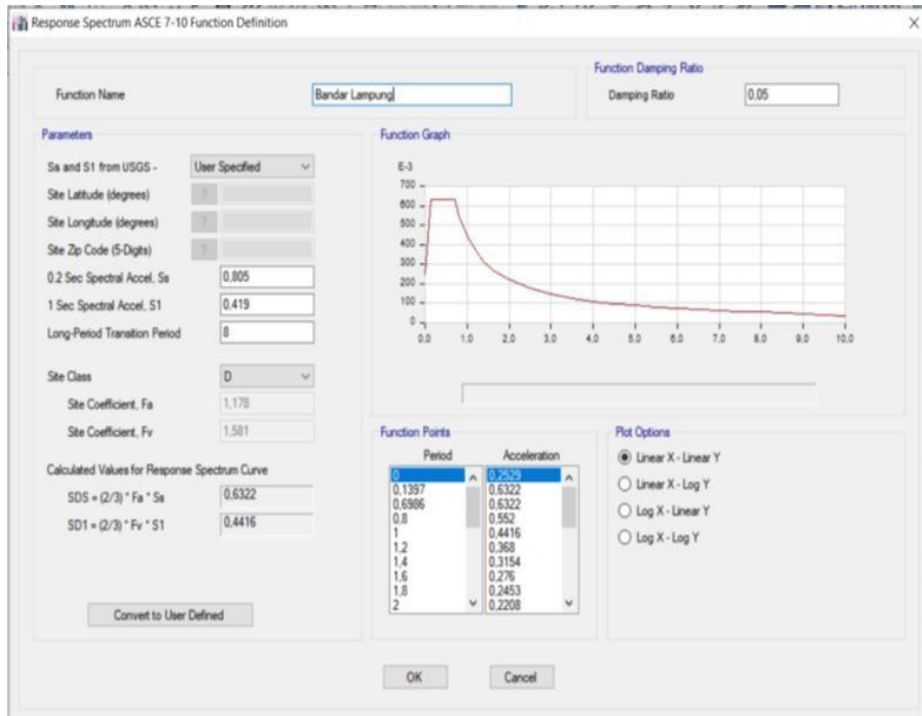
Pemodelan ini dilakukan dengan bantuan program ETABS. Elemen struktur dimodelkan berdasarkan data pengukuran lapangan. Adapun hasil pemodelan struktur bangunan ini sebagai berikut:



Gambar 17. Pemodelan struktur bangunan dan lantai



Gambar 18. Pemodelan beban hidup pada lantai



Gambar 19. Pemodelan beban gempa

Wind Load Pattern - ASCE 7-10

Exposure and Pressure Coefficients

Exposure from Extents of Diaphragms

Exposure from Frame and Shell Objects

Include Shell Objects

Include Frame Objects (Open Structure)

Wind Pressure Coefficients

User Specified Program Determined

Windward Coefficient, Cpw

Leeward Coefficient, Cpl

Wind Exposure Parameters

Wind Direction and Exposure Width

Case (ASCE 7-10 Fig. 27.4-8) ⓘ

e1 Ratio (ASCE 7-10 Fig. 27.4-8)

e2 Ratio (ASCE 7-10 Fig. 27.4-8)

Wind Coefficients

Wind Speed (mph)

Exposure Type

Topographical Factor, Kzt

Gust Factor

Directionality Factor, Kd

Solid / Gross Area Ratio

Exposure Height

Top Story

Bottom Story

Include Parapet

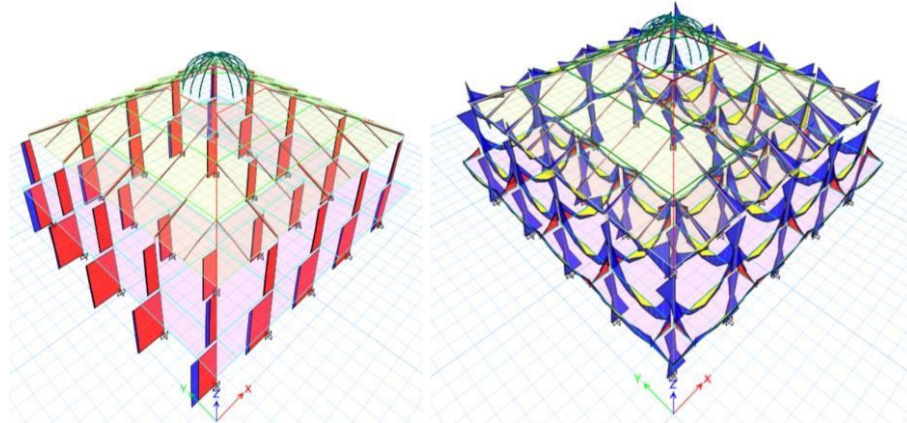
Parapet Height m

OK Cancel

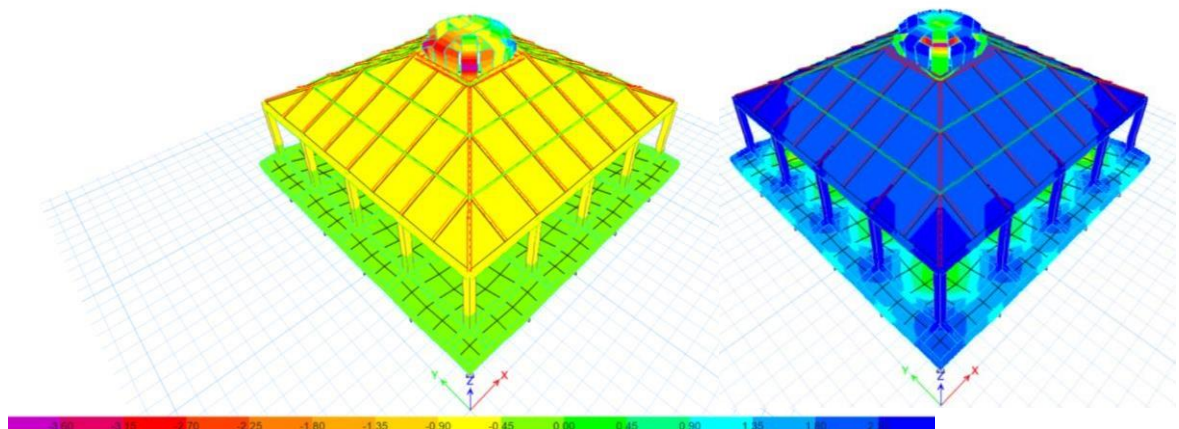
Gambar 20. Pemodelan beban angin

C. Gaya dalam struktur

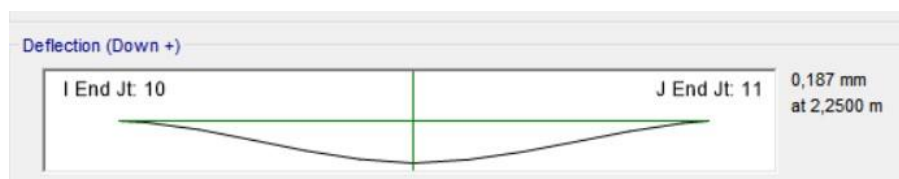
Kombinasi beban berdasarkan peraturan tersebut dihitung dengan software ETABS untuk menghasilkan gaya-gaya dalam berupa gaya normal pada kolom, bidang momen pada balok dan kolom serta pelat. Hasil analisis terlihat pada gambar 21 dan 22.



Gambar 21. Gaya normal dan bidang momen pada struktur



Gambar 22. Displacement horisontal dan vertikal akibat gempa



Gambar 23. Pengecekan lendutan

Penulangan pada balok

Flexural Reinforcement for Major Axis Moment, M_{u3}

	End-I Rebar Area mm ²	End-I Rebar %	Middle Rebar Area mm ²	Middle Rebar %	End-J Rebar Area mm ²	End-J Rebar %
Top (+2 Axis)	205	0,14	51	0,03	185	0,12
Bot (-2 Axis)	102	0,07	123	0,08	92	0,06

Flexural Design Moment, M_{u3}

	End-I Design M_u kN-m	End-I Station Loc mm	Middle Design M_u kN-m	Middle Station Loc mm	End-J Design M_u kN-m	End-J Station Loc mm
Top (+2 Axis)	-25,0983	200	-6,2746	3070	-22,6907	4300
Combo	Comb5		Comb5		Comb5	
Bot (-2 Axis)	12,5491	200	15,124	2250	11,3453	4300
Combo	Comb5		Comb5		Comb5	

Shear Reinforcement for Major Shear, V_{u2}

End-I Rebar A_v/s mm ² /m	Middle Rebar A_v/s mm ² /m	End-J Rebar A_v/s mm ² /m
383,51	321,85	364,01

Design Shear Force for Major Shear, V_{u2}

End-I Design V_u kN	End-I Station Loc mm	Middle Design V_u kN	Middle Station Loc mm	End-J Design V_u kN	End-J Station Loc mm
32,4451	200	0,0272	1430	30,7956	4300
Combo6		Combo6		Combo6	

Jumlah tulangan terpasang pada balok:

$A_s^- = 397,99 \text{ mm}^2$ kebutuhan 205 mm^2 (OK)

$A_s^+ = 397,99 \text{ mm}^2$ kebutuhan 123 mm^2 (OK)

$A_v/s = 523,33 \text{ mm}^2$ kebutuhan 383 mm^2 (OK)

Berdasarkan perhitungan tersebut, struktur balok sudah memenuhi terhadap kebutuhan lentur dan aksial.

Lendutan yang terjadi akibat pembebanan adalah $0,187 \text{ mm}$, sedangkan persyaratan lendutan maksimum adalah

$$L/360 = 4500/360 = 12,5 \text{ mm}$$

Dengan demikian lendutan yang terjadi masih dibawah batas lendutan yang diijinkan.

Penulangan pada kolom

Longitudinal Check for $P_u - M_{u2} - M_{u3}$ Interaction

Column End	Rebar Area mm ²	Rebar %	D/C Ratio
Top	3054	1,91	0,376
Bottom	3054	1,91	0,435

Design Axial Force & Biaxial Moment for $P_u - M_{u2} - M_{u3}$ Interaction

Column End	Design P_u kN	Design M_{u2} kN-m	Design M_{u3} kN-m	Station Loc mm	Controlling Combo
	kN	kN-m	kN-m	mm	
Top	221,7212	55,2041	28,9839	3900	Comb6
Bottom	239,3653	-67,7286	-30,0048	0	Comb6

Shear Reinforcement for Major Shear, V_{u2}

Column End	Rebar A_v /s mm ² /m	Design V_{u2} kN	Station Loc mm	Controlling Combo
Top	915,69	56,2053	3900	Comb6
Bottom	574,56	56,2053	0	Comb6

Shear Reinforcement for Minor Shear, V_{u3}

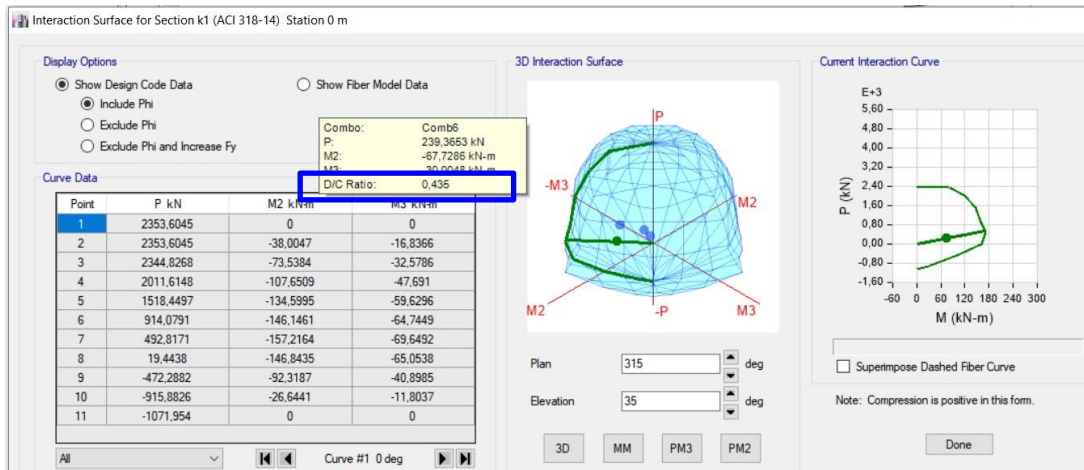
Column End	Rebar A_v /s mm ² /m	Design V_{u3} kN	Station Loc mm	Controlling Combo
Top	860,71	52,8304	3900	Comb6
Bottom	574,56	52,8304	0	Comb6

Joint Shear Check/Design

	Joint Shear Ratio	Shear $V_{u,Tot}$ kN	Shear V_c kN	Joint Area mm ²	Controlling Combo
Major(V_{u2})	0,351	396,8504	1129,2716	160000	Comb5
Minor(V_{u3})	0,351	368,9432	1129,2716	160000	Comb5

Beam/Column Capacity Ratios

	6/5(B/C) Ratio	Column/Beam Ratio	SumBeamCap Moments kN-m	SumColCap Moments kN-m	Controlling Combo
Major ₃₃	0,579	2,073	96,7579	200,5602	Comb5
Minor ₂₂	0,543	2,21	90,7393	200,5602	Comb5

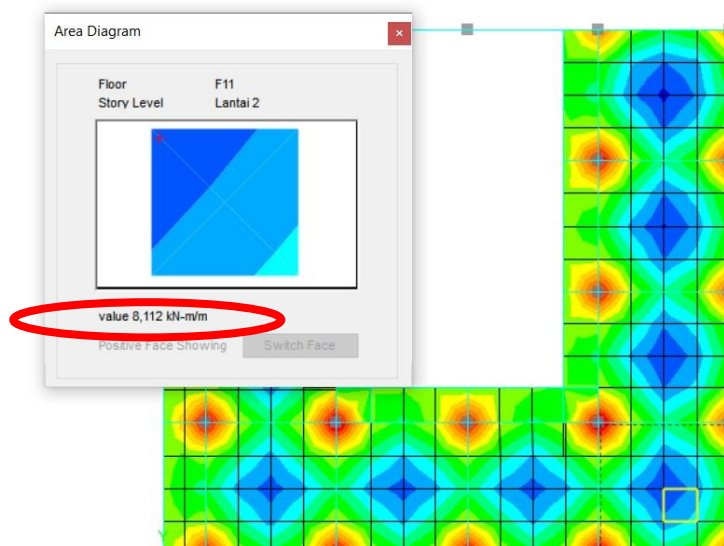


Gambar 24. Diagram PMM ratio

Berdasarkan hasil analisis program analisis ETABS dapat dilihat bahwa gaya yang terjadi masih berada di dalam diagram P-M dari penampang kolom. Dengan demikian dimensi penampang kolom sudah memenuhi untuk menahan kombinasi beban gravitasi dan beban gempa. Pengecekan dan perencanaan kolom dimensi 400x400 menggunakan asumsi luas tulangan 1,5% dari luas penampang yakni 12D16.

Penulangan pada pelat

Gaya dalam pada struktur pelat sebagai berikut:



Gambar 25. Diagram tegangan pada pelat

Kapasitas struktur pelat dihitung menggunakan luas tulangan yang dipasang di lapangan sebagai berikut:

$$A_s = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{s} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} = 523,3 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{523,33 \times 390}{0,85 \cdot 25 \cdot 1000} = 9,604 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times F_y \times (d - 0,5a)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 523,3 \times 390 \times (95 - 0,5 \times 9,604)$$

$$\phi M_n = 16,567 \text{ Knm}$$

$$M_u \leq \phi M_n$$

$$8,112 \text{ Kn-m} < 16,567 \text{ Kn-m (OK)}$$

Syarat Lendutan $L/360 = 4500/360 = 12,5$ mm. sedangkan lendutan yang terjadi $4,68 \text{ mm} < 12,5$ mm (OK). Dengan demikian struktur pelat memenuhi persyaratan lendutan yang diijinkan.

D. Analisis dinamis akibat gempa

Periode getar bangunan akibat gempa

Periode getar T adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi aslinya. Periode getar juga sering disebut secara lengkap dengan “periode getar alami struktur” (natural fundamental period) adalah karakteristik alami struktur bangunan yang dipengaruhi oleh massa dan kekakuan pada saat bergetar secara bebas tanpa adanya gaya luar. Periode fundamental ini sangat penting dan harus memenuhi persyaratan yang ada sehingga pada saat terjadi gempa maka periode yang terjadi masih bisa dikontrol dengan aman.

Tipe Struktur	:	Sistem Beton Pemikul Momen
C_t	:	0,0466
X	:	0,9
Tinggi Struktur Bangunan	:	14 meter
C_u	:	1,4
Periode Pendekatan,	T_a	$C_t \cdot H_n^x$
		$0,0466 \cdot 14^{0,9}$
	T_a	0,501 detik
Batasan Periode, T_{max}	:	$2 \cdot T_a \cdot C_u$
		$2 \cdot 0,501 \cdot 1,4$
	T_{max}	1,403 detik

Syarat periode getar maksimum = 1,403 detik, sedangkan periode getar yang terjadi 0,501 detik. Dengan demikian periode getar bangunan memenuhi persyaratan periode getar yang diijinkan.

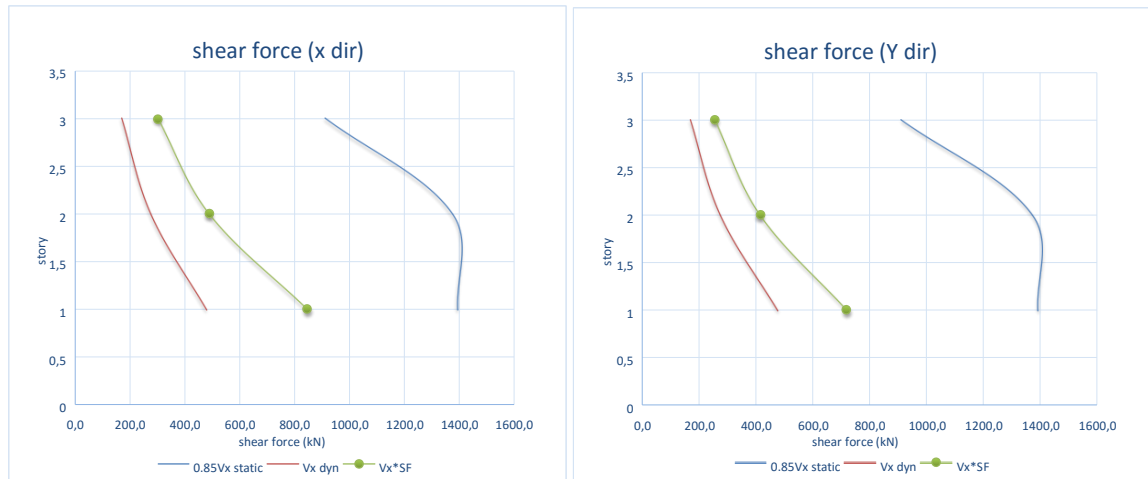
Gaya geser per tingkat

Sesuai Pasal 7.9.4.1 mengenai skala gaya, peraturan ini mengisyaratkan bahwa gaya geser dasar dinamis harus lebih besar dari 85% gaya geser statis. Dirumuskan sebagai $V_D > 85\% V_s$. Maka pada kasus ini pengecekan story shear sebagai berikut:

Koefisien Respon Seismik

$$\begin{aligned}
 C_s &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} & C_{smax} &= \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{1,0950}{\left(\frac{5}{1,5}\right)} & &= \frac{0,7467}{0,47 \left(\frac{5}{1,5}\right)} \\
 &= 0,3285 & &= 0,4779
 \end{aligned}$$

Cs yang dipakai: 0.0328



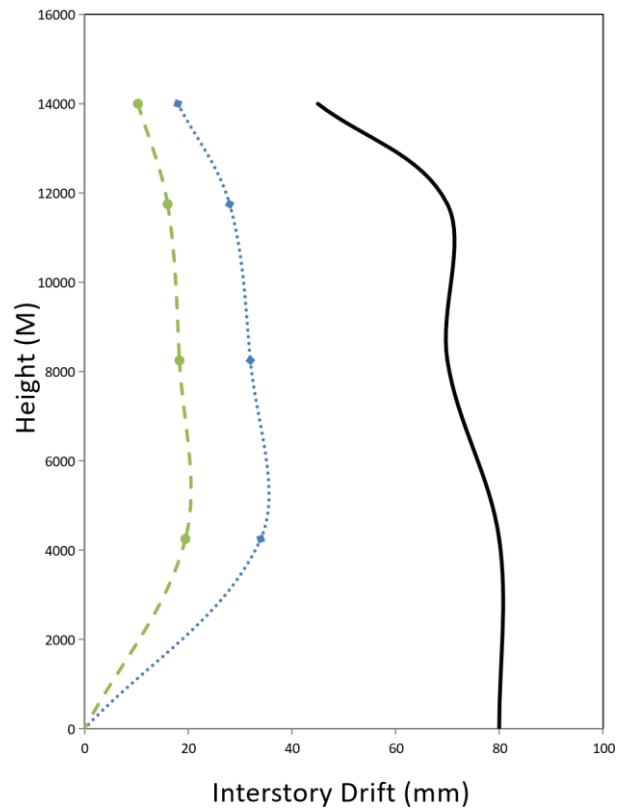
Gambar 26. Story shear gedung

Grafik di atas menunjukkan bahwa gaya geser dinamik lebih besar dari pada 85% gaya geser statik di setiap arahnya. Maka gedung ini memenuhi syarat story shear bangunan gedung.

Story drift

Suatu struktur harus memiliki kekakuan yang cukup sehingga pergerakannya dapat dibatasi. Kekakuan struktur dapat diukur dari besarnya simpangan antar lantai (drift) bangunan, semakin kecil simpangan struktur maka bangunan tersebut akan semakin kaku. Oleh karena itu sangat penting mengecek drift bangunan gedung eksisting terkait keamanan terhadap kekakuan. Berdasarkan fungsi dan jenis kategori gedung maka drift bangunan tidak boleh melebihi 2 persen dari ketinggiannya. Berdasarkan gambar 27 terlihat bahwa seluruh bangunan gedung masih aman karena story drift yang ada tidak melebihi 2 persen dari ketinggiannya.

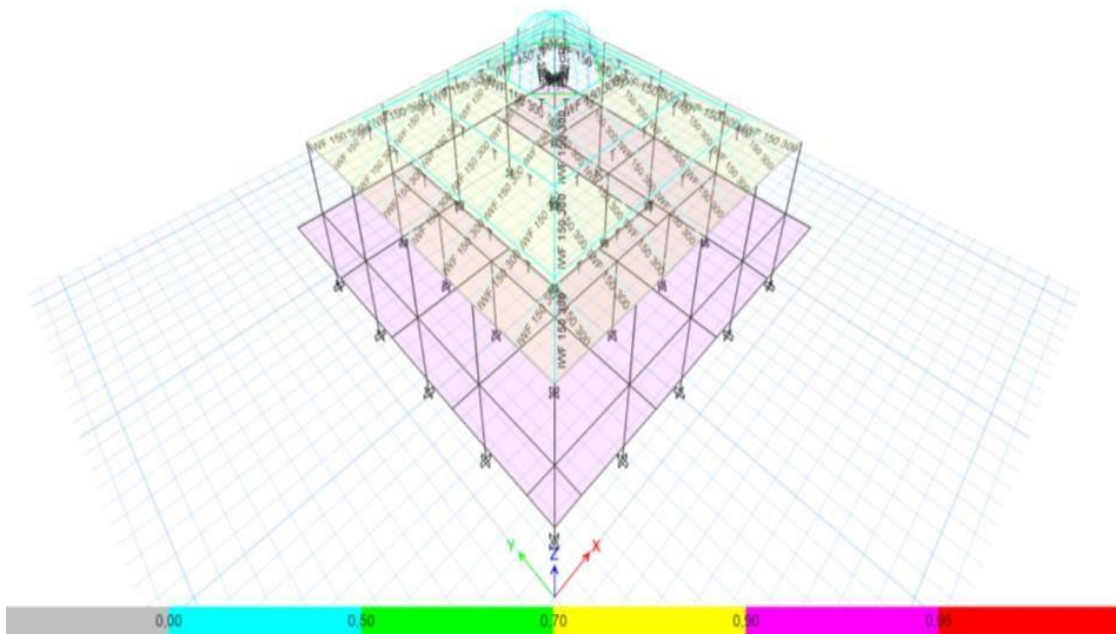
(Ultimate Condition)



Gambar 27. Story drift gedung

4.2.2 Analisis struktur atap

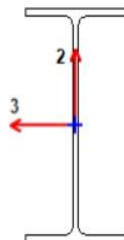
Struktur atap menggunakan baja IWF dianalisis terhadap beban rencana yang akan dipikul di atasnya. Beban hidup dan beban mati didistribusikan melalui gording berpenampang 'T' terbalik ke rangka atap IWF 300x150. Model rangka atapnya dapat dilihat pada gambar 28. Hasil pengecekan penampangnya (Gambar 29 dan 30) menunjukkan bahwa penampang rangka atap IWF 300x150 mampu menahan beban panel ferosemen dan beban hidup lainnya.



Gambar 28. Model struktur kerangka atap gedung

ETABS 2016 Steel Frame Design

AISC LRFD 93 Steel Section Check (Strength Summary)



Element Details

Level	Element	Unique Name	Location (mm)	Combo	Element Type	Section	Classification
Pck	D69	220	0	Comb5	Moment Resisting Frame	IWF 150 300	Compact

Design Code Parameters

Φ_b	Φ_c	Φ_t	Φ_v	$\Phi_{c,Angle}$
0,9	0,85	0,9	0,9	0,9

Gambar 29. Karakteristik IWF 300x150

Section Properties

A (cm ²)	I ₃₃ (cm ⁴)	r ₃₃ (mm)	S ₃₃ (cm ³)	A _{v3} (cm ²)	Z ₃₃ (cm ³)	
47	7253,7	124,2	483,6	26,9	545,4	
J (cm ⁴)	I ₂₂ (cm ⁴)	r ₂₂ (mm)	S ₂₂ (cm ³)	A _{v2} (cm ²)	Z ₂₂ (cm ³)	C _w (cm ⁶)
10	507,7	32,9	67,7	19,6	105,3	107174,4

Material Properties

E (MPa)	f _y (MPa)	α
199947,98	344,74	NA

Demand/Capacity (D/C) Ratio (H1-1b)

D/C Ratio	Axial Ratio	Flexural Ratio _{Major}	Flexural Ratio _{Minor}
0,107	0,018 +	0,088 +	0,001

Stress Check Forces and Moments (H1-1b) (Combo Comb5)

Location (mm)	P _u (kN)	M _{u33} (kN-m)	M _{u22} (kN-m)	V _{u2} (kN)	V _{u3} (kN)
0	-32,6642	-14,851	-0,0249	-7,6216	0,0117

Axial Force & Biaxial Moment Design Factors

	L Factor	K	C _m	B ₁	B ₂	C _b
Major Bending	1	1	0,85	1	1	2,308
Minor Bending	1	1	0,85	1	1	

Axial Force and Capacities

P _u Force (kN)	φP _{nc} Capacity (kN)	φP _{nt} Capacity (kN)
32,6642	891,84	1458,8618

Moments and Capacities

	M _u Moment (kN-m)	φM _n Capacity (kN-m)
Major Bending	14,851	169,2085
Minor Bending	0,0249	31,5056

Shear Design

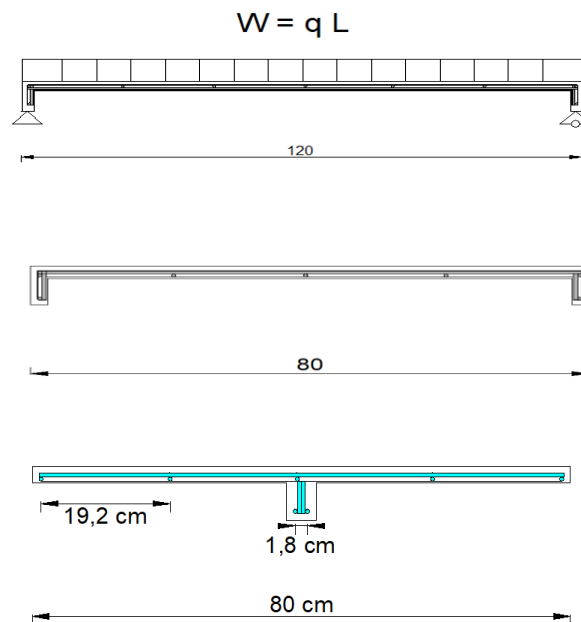
	V _u Force (kN)	φV _n Capacity (kN)	Stress Ratio
Major Shear	7,6216	364,4335	0,021
Minor Shear	0,0117	501,3536	2,337E-05

Gambar 30. Rasio tegangan maksimum IWF 300x150

4.2.3 Analisis kekuatan panel ferosemen

Analisis teoritis penampang ferosemen dilakukan dengan cara mentransformasikan ke penampang ekuivalen sehingga momen inersia pada sumbu netral dan luas total penampang sama dengan penampang sebenarnya. Kekuatan dan sifat ferosemen pada saat pembebanan menggunakan analisis elastis yang serupa dengan beton bertulang, dengan memperhatikan pembebanan modulus kawat ayam dan tulangan baja. Kekuatan batas juga dapat dihitung untuk bagian lentur dengan menganalisis ferosemen sebagai beton bertulang menurut metode kekuatan batas. Untuk bagian yang menerima tarik, beban batas dapat dihitung dengan kekuatan batas tulangan saja pada daerah pembebanan.

Pada perhitungan analisis, pembebanan berupa beban mati akibat berat sendiri dan beban hidup atap sesuai dengan SNI 1727 : 2019 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. Panel ferosemen akan menerima pembebanan pada bagian atas arah memanjangnya dan penampang panel ferosemen pada arah memendek dianalisis dengan penampang ekuivalen sehingga membentuk seperti penampang T (Gambar 31).



Gambar 31. Penampang ekuivalen panel ferosemen

Sifat Fisik Bahan Ferosemen	Hasil analisis panel Ferosemen
Spesifikasi ferosemen	A. Kekuatan lentur
Hfc = 25 mm	Volume fraksi tulangan tekan, $Vm' = 0,9663$
$n_w = 1$ Lapis	Volume fraksi tulangan tarik, $Vm = 0,9663$
	Gaya dari daerah tertekan, $C = 629028 N$
	Gaya dari daerah tertarik, $T = 14129,63 N$
Spesifikasi Mortar	Momen ultimit, $Mu = 1468424,585 Nmm$
$f_{cm} = 30 MPa$ (diperkirakan)	Beban hidup dan mati, $W = 1,56 KN/m^2$
$E_m = 25742,9602 MPa$	Beban overload (+20%), $W = 1,872 KN/m^2$
$\epsilon_{um} = 0,006$	Momen maksimum bentang memanjang (1,2m)
$f_{tm} = 3,3959 Mpa$	$M_{max} = 40440 Nmm$.
Spesifikasi kawat	$Mu > Mh$, dengan demikian penampang ferosemen kuat menahan lentur yang akan terjadi.
Jenis kawat ayam segiempat	B. Kekuatan geser
$dw = 0,5 mm$	Luas penampang, $A = 22750 mm^2$
$DL = 10 mm$	Ratio modulus elastiditas, $R = 7,7691$
$DT = 10 mm$	Momen inersia, $I = 66050262,02 mm^4$
$f_{yw} = 150 MPa$ (diperkirakan)	Statis momen, $S = 1401671,548 mm^3$
$\epsilon_{uw} = 0,016$	Gaya Lintang, $D = 1347 N$
$E_w = 200000 Mpa$	Tegangan geser terjadi, $t_{ut} = 0,1441 N/mm^2$
Spesifikasi Tulangan	Batas ijin tegangan geser t_u dibatasi dari tegangan maksimum mortar $2 N/mm^2$, dengan demikian penampang ferosemen kuat menahan tegangan geser yang akan terjadi.
$ds = 6 mm$	
$f_{ys} = 240 MPa$ (diperkirakan)	
$ss = 192 mm$ (daerah tekan)	
$ss = 18 mm$ (daerah tarik)	

4.3 Pabrikasi Panel Ferosemen dan Struktur Atap

Panel ferosemen diproduksi di Laboratorium Jalan Raya Teknik Sipil Unila dengan sistem pracetak. Cetakan dibuat dari bahan multipleks yang dibentuk sedemikian rupa sehingga bisa menghasilkan bentuk panel dengan satu sisi terbuka di bagian luasnya. Pada bagian 4 sisinya dipasang baja siku berukuran 80x80 mm sehingga menghasilkan panel ferosemen dengan tinggi 80 mm. Kerangka panel ferosemen dibuat dari besi tulangan berdiameter 6mm yang dilapisi kawat jala pada sisi dalamnya. Kemudian kerangka tersebut diletakkan di atas cetakan dan diisi mortar yang sudah diaduk dengan concrete mixer. Setelah 20 jam kemudian panel ferosemen diangkat dari cetakan untuk dirapihkan di bagian dalamnya dengan acian dan dicat

rapih. Dengan demikian panel ferosemen dapat disusun di atas gording penyangganya. Proses pembuatan panel ferosemen ini terlihat pada Gambar 32-34.



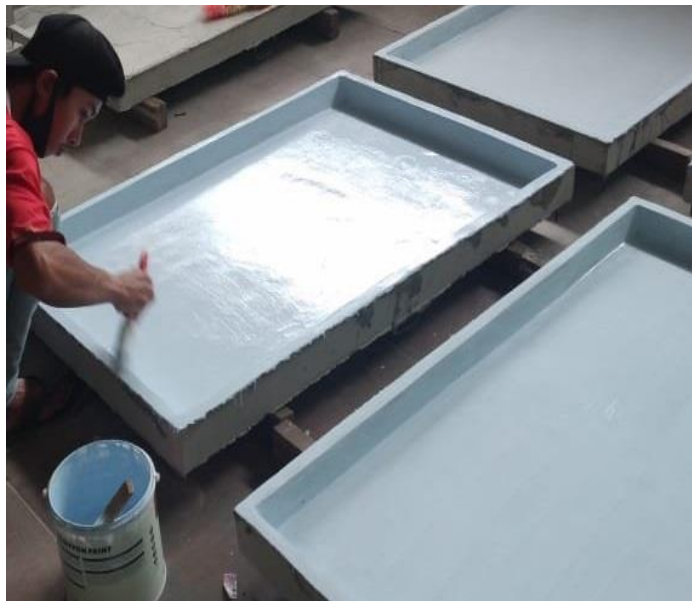
Gambar 32. Kerangka panel ferosemen.



Gambar 32. Cetakan panel ferosemen



Gambar 33. Panel ferosemen yang dicetak



Gambar 33. Perapihan panel ferosemen yang sudah dicetak

4.4 Progress persiapan instalasi panel ferosemen di atap masjid



Gambar 34. Panel ferosemen yang siap dipasang



Gambar 34. Kerangka kubah ferosemen yang siap dipasang



Gambar 34. Struktur ringbalok tempat dudukan rangkan baja IWF



Gambar 35. Kerangka atap baja IWF dan gording

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian dan analisis numerik yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Fero semen yang sudah lama digunakan untuk berbagai jenis konstruksi dapat dikembangkan untuk struktur atap dengan sistem pracetak.
2. Struktur utama bangunan masjid Al Fatih FT Unila yang menggunakan sistem portal beton bertulang mampu menahan beban akibat berat sendiri, beban hidup dan beban gempa.
3. Kerangka atap yang terdiri dari baja IWF 300x150 dan gording IWF 200x100 yang dibelah menjadi 2 memiliki rasio tegangan kurang dari 1.0 akibat beban panel fero semen dan beban gempa.
4. Secara teoritis panel fero semen yang dibuat dari kerangka baja tulangan berdiameter 6mm dan dilapis kawat jala serta adukan mortar mampu menahan berat sendiri dan beban hidup yang akan bekerja di atasnya.
5. Panel fero semen dapat diproduksi secara pracetak dan bisa disatukan dengan panel lainnya dan gording dengan cara dilas.

5.2 Saran

Dalam pelaksanaan penelitian ini terdapat beberapa kendala dan kelemahan yang dapat disempurnakan untuk dilanjutkan pada penelitian berikut. Oleh karena itu disarankan sebagai berikut:

1. Cetakan untuk membuat panel fero semen dari bahan multipleks tidak awet sehingga perlu dibuat dari bahan logam yang cocok untuk produksi skala industri.
2. Sistem pelepasan panel fero semen dari cetakan masih kurang efisien karena membutuhkan tahapan yang cukup lama membongkar dan memasang kembali sehingga perlu adanya alternatif lain untuk pabrikan panel fero semen.

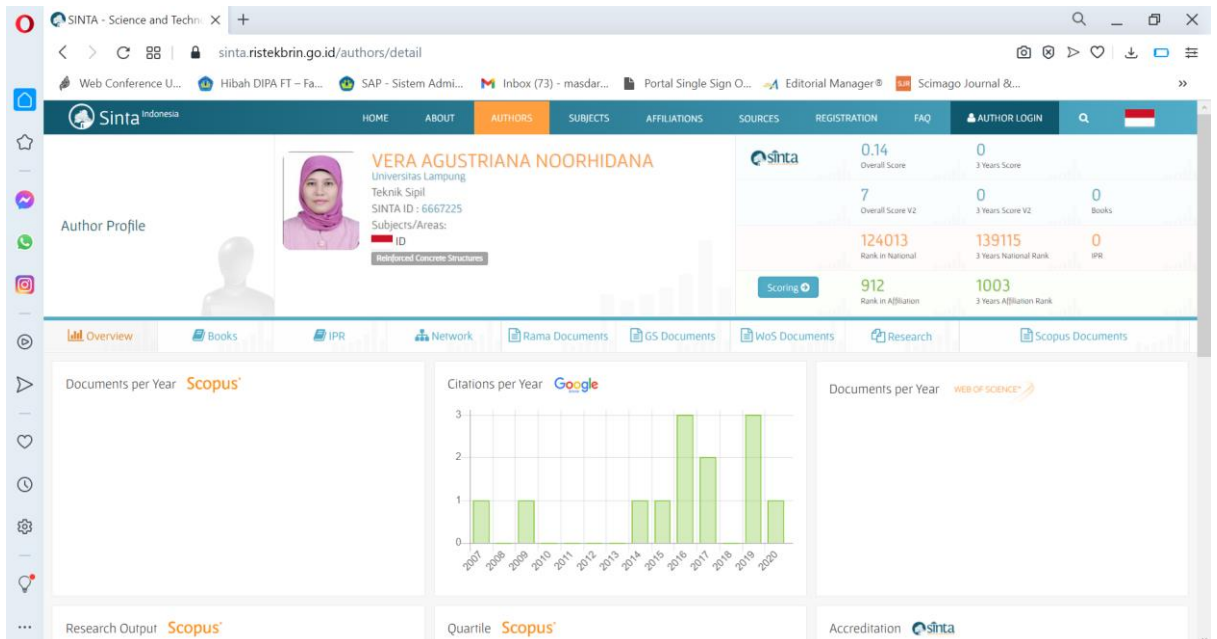
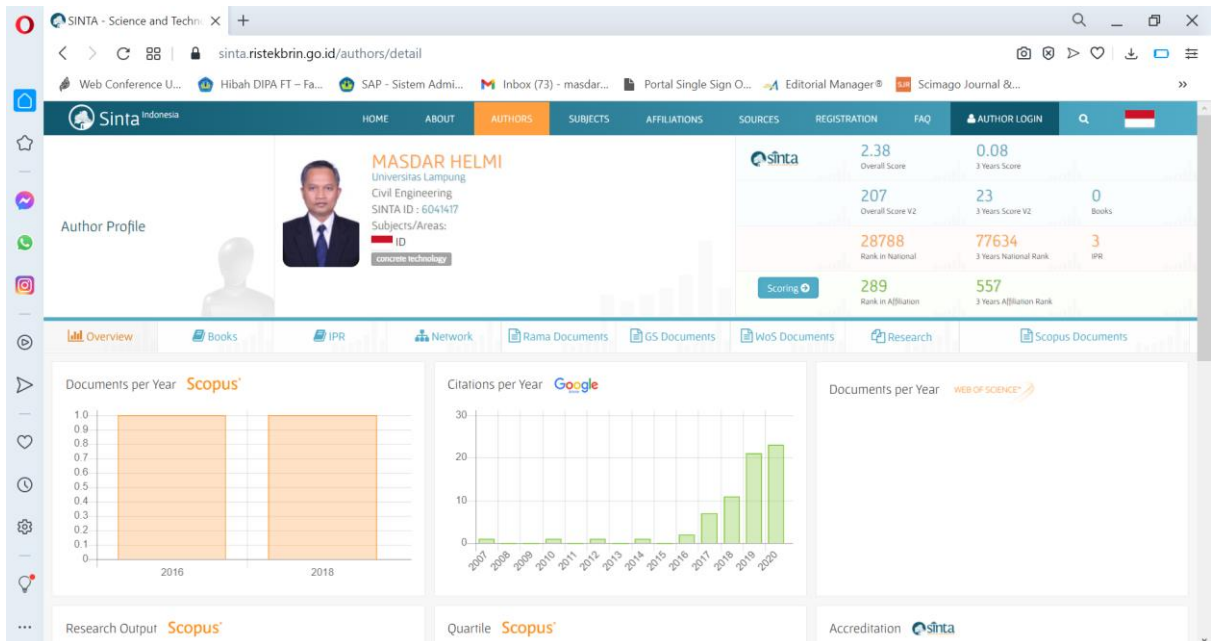
DAFTAR PUSTAKA

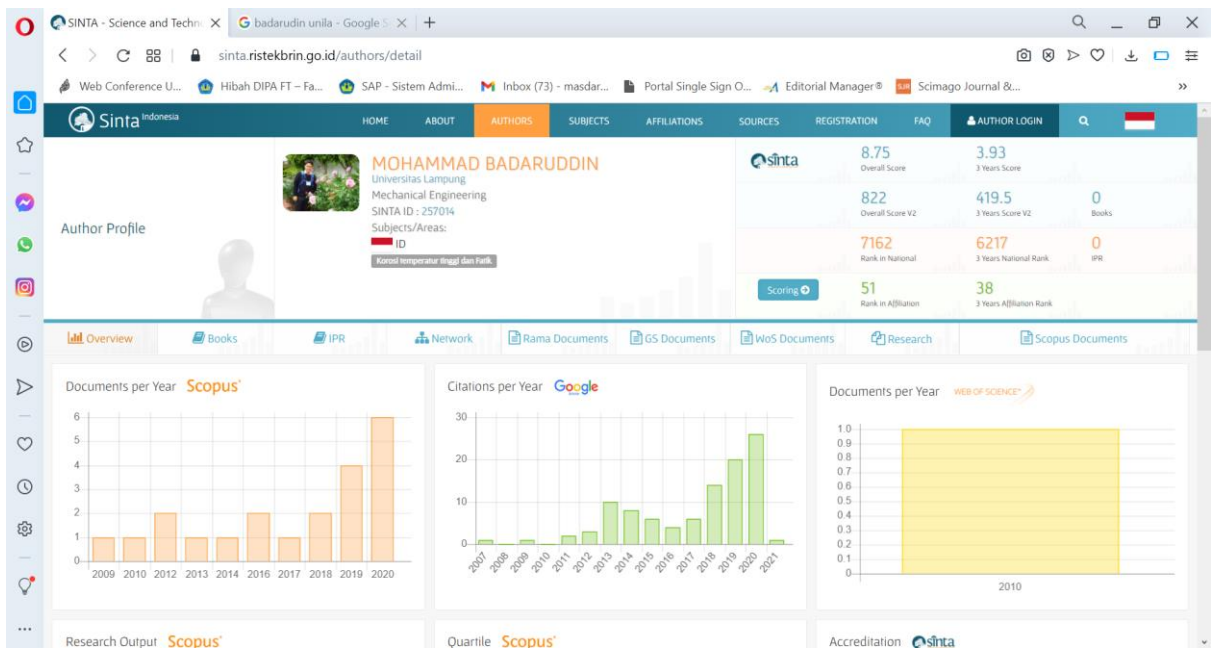
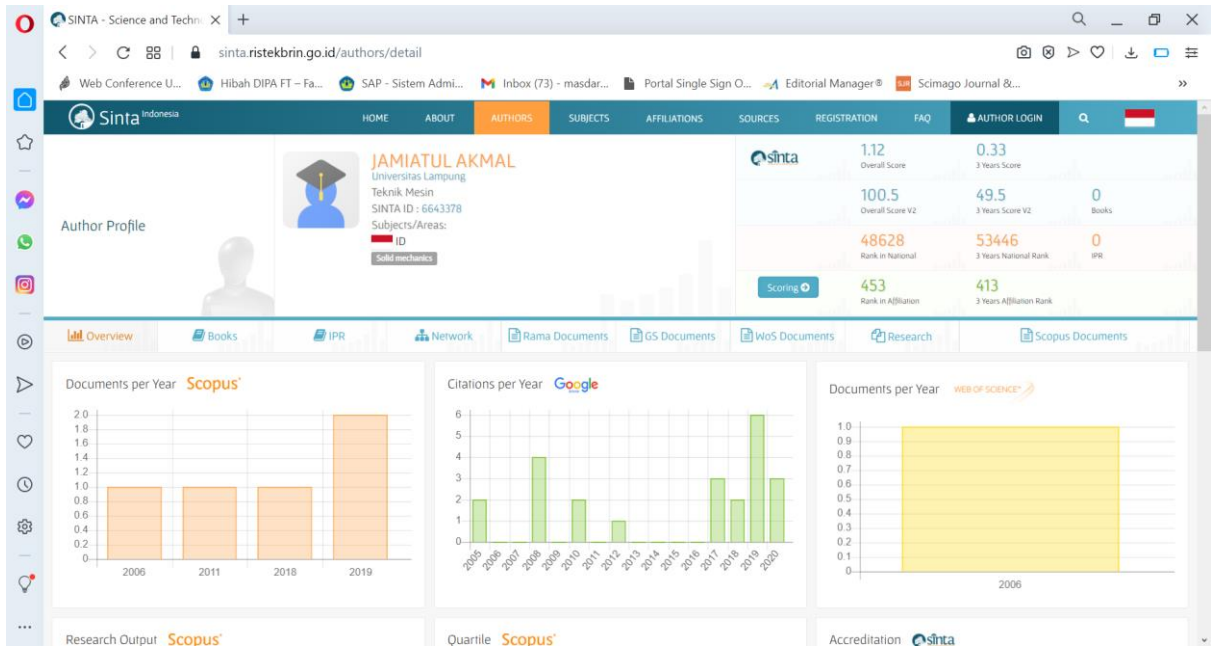
- Afridi, B. Z., Shahzada, K., and Naqash, M. T. (2019). Mechanical properties of polypropylene fibers mixed cement-sand mortar. *Journal of Applied Engineering Science*, 17(2), 585, 116 – 125. DOI:10.5937/jaes17-19092.
- Anand, A. P., Jishnu P. P., Joseph, M., and Ittiachan, M. (2019). Design of residential building using ferrocement technology. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 10(5), 277-286.
- Badaruddin, M., Sugiyanto, Wardono, H., Andoko, Wangc, C.J., and Rivai, A.K. (2019) Improvement of low-cycle fatigue resistance in AISI 4140 steel by annealing treatment. *International Journal of Fatigue*, 125, 406–417. DOI:10.1016/j.ijfatigue.2019.04.020.
- BS. EN. 197-1, 2011. *Cement-Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements*.
- Djausal, A., Sukardi, S., Alami, F., and Helmi, M. (2001). Ferrocement in Indonesia: It's Application and potentials. *Journal of Ferrocement . International Ferrocement Information Center (IFIC) Bangkok*, 31(4).
- Djausal, A. (2004). *Pengantar Ferosemen*. Bandar Lampung: Pusat Pengembangan Ferosemen Indonesia.
- Erfan, A. M., Ahmed, H.H., Mina, B.A., and El-Sayed, T. A. (2019). Structural Performance of Eccentric Ferrocement RC Columns. *Nanoscience and Nanotechnology Letters*, 11, 1–13. DOI:10.1166/nnl.2019.3008
- Helmi, M. (2015). Konstruksi rumah dengan dinding panel ferosemen pracetak dan atap baja ringan. Paten Sederhana, IDS: 01374. Ditjen HKI Kemenkumham RI.
- Helmi, M. (2017). Konstruksi jalan di atas tanah lunak menggunakan panel-matras ferosemen. Paten, IDP: 44839. Ditjen HKI Kemenkumham RI.
- Helmi, M. (2020). Konstruksi matras ferosemen cerucuk bamdu (matferumbu) untuk peningkatan daya dukung tanah lunak. Paten Sederhana, IDS: Ditjen HKI Kemenkumham RI.
- Helmi, M., dan Alami, F. (2006). Potensi Struktur Ferrocement Untuk Rumah Pracetak. *Proceeding Seminar Nasional Teknologi Beton Dalam Rekayasa Konstruksi*. Bandar Lampung, 29 Maret .
- Irwansyah, Isma, F., dan Ismatullah, A. (2018). Pengaruh variasi tebal sayap terhadap balok profil kanal (C) ferrofoam concrete dengan penambahan pozolan terhadap kuat lentur. *Jurnal Ilmiah Jurutera*, 02(12), 13-20.
- Kaish, A.B.M.A., Jamil, M., Raman, S.N., Zain, M.F.M., and Nahar, L. (2018). Ferrocement composites for strengthening of concrete columns. *Construction and Building Materials*, 160 326-340. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.54
- Lalaj, O., Yardım, Y., and Yılmaz, S. (2015). Recent perspectives for ferrocement. *Research Engineering Structure & Materials*, 1: 11-23. DOI:10.17515/resm2015.04st0123
- Lalaj, O., Yardım, Y., and Yılmaz, S. (2015). Recent perspectives for ferrocement. *Research Engineering Structure & Materials*, 1: 11-23. DOI:10.17515/resm2015.04st0123
- Masud, M. M., and Kumar, A. (2016). Strengthening of Circular RC Column through External Confinement using Ferrocement, *Indian Journal of Science and*

- Technology*, 9(30),1-5. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i30/99208, August 2016.
- Mughal, U. A., Saleem, M. A., and Abba, S. (2019). Comparative study of ferrocement panels reinforced with galvanized iron and polypropylene meshes. *Construction and Building Materials*, 210 (2019) 40–47. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.147
- Naaman, A.E. (2000). *Ferrocement & Laminated Cementitious Composites*. Techno Press 3000, USA.
- Olvera, A., Olvera, F., Martinez, R., Almeida, F., Olvera, A.E., and Gallo, G. (1998). Applications of Prefabricated Ferrocement Housing in Mexico. *Proceeding of the Sixth International Symposium on Ferrocement*. University of Michigan, Michigan, USA.
- Rahman, A., Bachtiar, G., dan Daryati. (2013). Studi kuat lentur pelat ferrocement dengan lapisan lembaran aluminium sebagai bekisting tetap pada material pelat lantai bangunan bertingkat. *Jurnal Menara Jurusan Teknik Sipil FT.UNJ*. 8(1), 1-15.
- Rismawan, Adietya, B. A., dan Sisworo, S. J. (2014). Analisa kekuatan lentur bahan ferrocement berpengaut kawat anyam sebagai bahan dasar modular floating pontoon. *Jurnal Teknik Perkapalan* , 02(04), 58-65.
- Simatupang, P.H., Yuliantika, dan Hangge, E. E. (2017). Uji eksperimen kuat lentur mortar ferro-geopolymer. *Proceeding Seminar Nasional Teknik FST Undana*, Kupang 04 November.
- SNI 4514. (2014). Metode pengujian kuat lentur beton (menggunakan balok sederhana dengan beban terpusat di tengah bentang). Badan Standardisasi Nasional.
- Soebandono, B., Triwiyono, A., dan Muskliah. (2011). Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Metode *Jacketing* dengan Bahan Ferosemen Akibat Beban Siklik pada Beban Ultimit. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, 14(2), 166-176.

LAMPIRAN -LAMPIRAN

Lampiran 1: Halaman Profil Sinta Tim Peneliti





Lampiran 2: Publikasi

 KEMENTERIAN PENDIDIKAN, RISET, DAN TEKNOLOGI

 BKS-PTN WIL. BARAT BIDANG TEKNIK

 Kampus Merdeka

 FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG

 UNILAS 56

NOMOR : 031 /E-CERT/SINTA/FT.UNILA/2021

SERTIFIKAT

diberikan kepada :

M Helmi

Sebagai : PRESENTER

dalam Kegiatan : **SINTA SEMINAR NASIONAL ILMU TEKNIK DAN APLIKASI INDUSTRI (SINTA) 2021**

Tema "Harmonisasi Inovasi Teknologi Berkelanjutan di Era Pandemi Covid 19
pada: Kamis, 14 Oktober 2021 melalui Daring (Virtual Zoom Meeting)
dan Luring (Golden Tulip Springhill Hotel, Bandar Lampung)

 DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG


Prof. Dr. Soeharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.
NIP. 196207171987031002

 SINTA 2021
KETUA PELAKSANA SINTA 2021
Kasianto, S.Si., M.T.
NIP. 196912301998021001

didukung oleh:
 PT. MITRA INTIMARGA
Mitra Jasa Industri & Jasa Jasa Industri



POTENSI PANEL FEROSEMEN PRACETAK UNTUK PENUTUP ATAP BANGUNAN BENTANG LEBAR

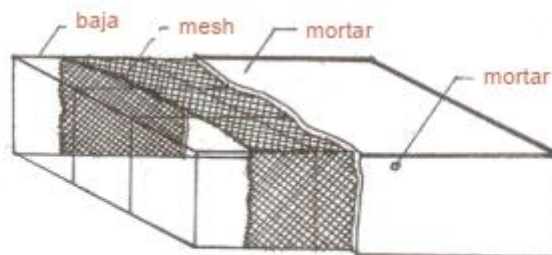
Oleh:

M Helmi, V A Noorhidana, M Badaruddin, J Akmal dan T N Manggala



TEKNOLOGI FEROSEMEN

Ferosemen : salah satu jenis beton bertulang yang dibuat dari mortar (campuran semen dan pasir) dan kerangka tulangan baja dan lapisan jaring kawat (*mesh reinforced*) membentuk suatu konstruksi tipis (2–5 cm).



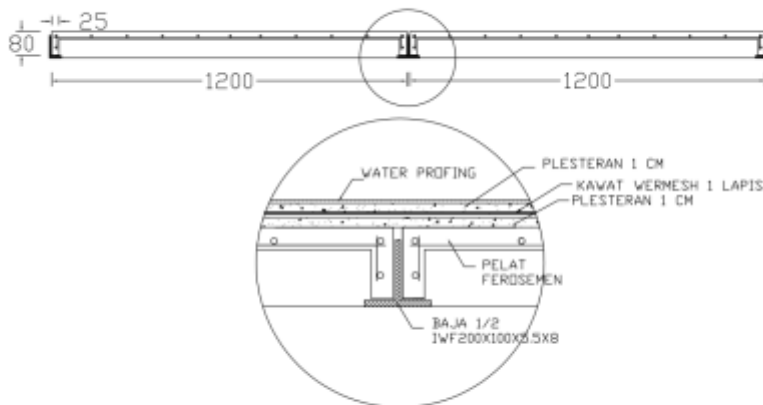
APLIKASI FERROSEMEN



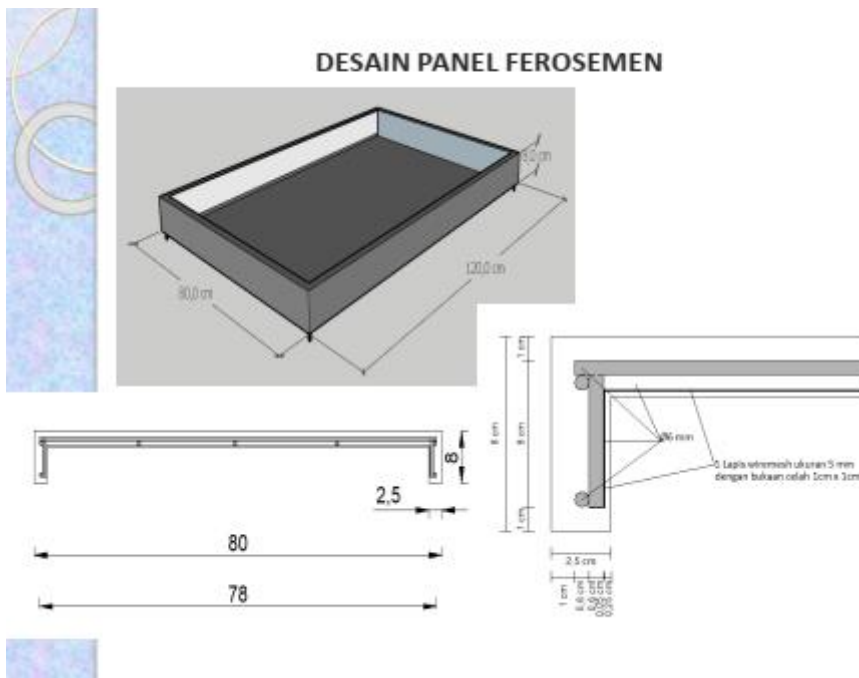
DESAIN MASJID AL FATIH UNILA



DETAIL SAMBUNGAN ANTAR PANEL

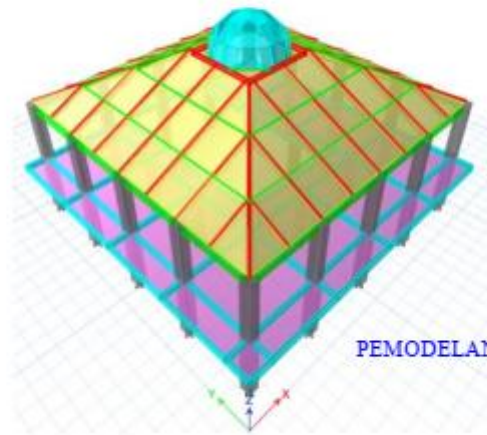


DESAIN PANEL FEROSEMEN



ANALISIS STRUKTUR ATAP MASJID

Analisis struktur masjid dilakukan dengan software ETABS untuk menghitung kapasitas struktur kolom, balok, pelat, dan atap terhadap beban gempa..



PEMODELAN STRUKTUR

GAYA-GAYA DALAM STRUKTUR



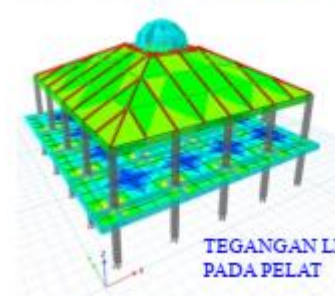
TEGANGAN NORMAL
PADA KOLOM



TEGANGAN GESER
PADA BALOK



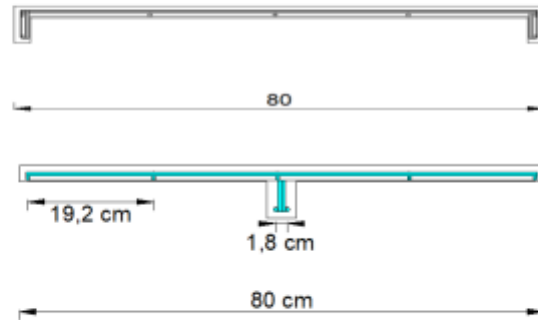
DIAGRAM MOMEN
PADA STRUKTUR



TEGANGAN LENTUR
PADA PELAT

ANALISIS KAPASITAS PANEL FEROSEMEN

Analisis panel ferosemen dilakukan dengan cara mentrasformasikan penampang panel ke suatu bentuk penampang ekuivalen yang memiliki nilai momen inersia dan luas total penampang sama dengan penampang sebenarnya.



Sifat Fisik Bahan Ferosemen

Spesifikasi ferosemen
 H_{fc} = 25 mm
 n_w = 1 Lapis
Spesifikasi Mortar
 f_{cm} = 30 MPa (diperkirakan)
 E_m = 25742,9602 MPa
 ϵ_{um} = 0,006
 f_{tm} = 3,3959 Mpa
Spesifikasi kawat
 Jenis kawat ayam segiempat
 d_w = 0,5 mm
 DL = 10 mm
 DT = 10 mm
 f_{yw} = 150 MPa (diperkirakan)
 ϵ_{uw} = 0,016
 E_w = 200000 Mpa
Spesifikasi Tulangan
 d_s = 6 mm
 f_{ys} = 240 MPa (diperkirakan)
 ss = 192 mm (daerah tekan)
 ss = 18 mm (daerah tarik)

Hasil analisis panel Ferosemen

A. Kekuatan lentur

Volume fraksi tulangan tekan. $V_m = 0,9663$
 Volume fraksi tulangan tarik. $V_m = 0,9663$
 Gaya dari daerah tertekan. $C = 629028 N$
 Gaya dari daerah tertarik. $T = 14129,63 N$
Momen ultimit, $M_u = 1468424,585 Nmm$

Beban hidup dan mati. $W = 1,56 KN/m^2$
 Beban overload (+20%). $W = 1,872 KN/m^2$
 Momen maksimum bentang memanjang (1.2m).
 $M_{max} = 40440 Nmm$.

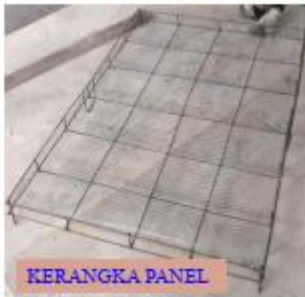
$M_u > M_h$, dengan demikian penampang ferosemen kuat menahan lentur yang akan terjadi.

B. Kekuatan geser

Luas penampang. $A = 22750 mm^2$
 Ratio modulus elastiditas. $R = 7,7691$
 Momen inersia. $I = 66050262,02 mm^4$
 Statis momen. $S = 1401671,548 mm^3$
 Gaya Lintang. $D = 1347 N$
 Tegangan geser terjadi. $t_{ur} = 0,1441 N/mm^2$

Batas ijin tegangan geser t_u dibatasi dari tegangan maksimum mortar $2 N/mm^2$, dengan demikian penampang ferosemen kuat menahan tegangan geser yang akan terjadi.

PABRIKASI PANEL FEROSEMEN



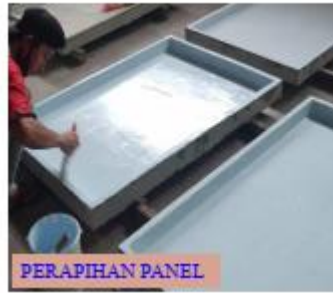
KERANGKA PANEL



CETAKAN PANEL



PANEL PRACETAK

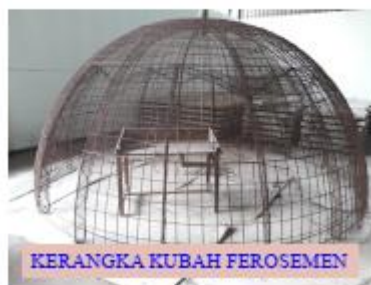


PERAPIHAN PANEL

PROGRESS KONSTRUKSI



PANEL FEROSEMEN PRACETAK



KERANGKA KUBAH FEROSEMEN



RINGBALOK UNTUK DUDUKAN KERANGKA ATAP



PABRIKASI KERANGKA ATAP BAJA IWF

KESIMPULAN

- A. Potensi ferosemen untuk penutup atap bangunan bentang lebar dimungkinkan dengan sistem kerangka baja.
- B. Struktur bangunan masjid (kolom, balok, pelat) memenuhi persyaratan kekuatan untuk bangunan bentang lebar.
- C. Dimensi dan bahan panel ferosemen yang akan digunakan memenuhi persyaratan kekuatan teoritis terhadap beban rencana.

19



Terima Kasih

19