

**Validasi Pola Retak Pelat Beton Bertulang Bambu Menggunakan Aplikasi
Software DIANA FEA**
*Validation of Crack Patterns of Bamboo Reinforced Concrete Slabs Using Applications
DIANA FEA Software*

Alfian Maulana Santoso¹⁾, Muhtar²⁾, Pujo Priyono³⁾

Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email : alfnms098@gmail.com¹⁾

Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email : Muhtar@unmuhjember.ac.id²⁾

Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email : Pujopriyono@unmuhjember.ac.id³⁾

Abstrak

Struktur bangunan adalah bagian-bagian dari sebuah bangunan yang membentuk bangunan. Pondasi, balok, kerangka, atap dan lain-lainnya merupakan elemen pendukung konstruksi bangunan. Permasalahan yang sering terjadi pada dunia konstruksi adalah harga bahan bangunan yang relative mahal dan tingginya tingkat polusi penggunaan bahan bangunan. Oleh karena itu perlu adanya solusi atau alternative untuk mengurangi permasalahan tersebut. Adapun metode yang akan dilakukan yaitu pengujian bahan dan analisis kapasitas pola retak pelat beton dan validasi menggunakan *software* DIANA FEA. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan pelat ukuran 60 x 60 , pelat ukuran 80 x 80 dan pelat 100 x 100 memiliki pola retak yang umumnya diawali dengan retak halus pada bagian bawah pelat yaitu sisi tarik penampang lalu diikuti dengan retak pada bagian sisi samping. Seiring bertambahnya beban retak terus merambat dan timbul retak baru sedangkan retak yang sudah ada akan semakin membesar dan hasil validasi pola retak dari pengujian eksperimen dan aplikasi *software* DIANA FEA memiliki kemiripan yaitu pola retakan membentuk pola plus. Keretakan pada beton terjadi dikarenakan beban telah melebihi P retaknya.

Kata Kunci : Beton Bertulang, Bambu, Pola Retak, *Software* DIANA FEA.

Abstract

Building structures are the parts of a building that form a building. Foundations, beams, frames, roofs and others are supporting elements for building construction. Problems that often occur in the world of construction are the relatively expensive price of building materials and the high level of pollution used in building materials. Therefore, there needs to be a solution or alternative to reduce this problem. The methods that will be carried out are material testing and capacity analysis of concrete plate crack patterns and validation using DIANA FEA software. Based on test results using plates measuring 60 x 60, plates measuring 80 x 80 and plates 100 x 100 have a crack pattern which generally begins with fine cracks at the bottom of the plate, namely the tensile side of the cross section, followed by cracks on the side. As the load increases, the crack continues to propagate and new cracks appear, while the existing cracks will get bigger and the crack pattern validation results from experimental testing and the DIANA FEA software application are similar, namely that the crack pattern forms a plus pattern. Cracks in concrete occur because the load has exceeded the crack P.

Keywords: Reinforced Concrete, Bamboo, Crack Patterns, DIANA FEA Software.

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bagian struktur bangunan seperti pondasi, balok, kerangka, atap dan lain-lainnya merupakan struktur yang berfungsi untuk mendukung elemen-elemen konstruksi lain seperti interior dan arsitektur bangunan.

Permasalahan harga bangunan yang relative mahal dan tingginya tingkat polusi pemakaian bahan bangunan dapat diatasi salah satunya dengan penggunaan bahan alam yaitu bambu. Alasan pemakaian bambu sebagai alternatif tulangan pada beton yaitu: murah, mudah didapat, memiliki kekuatan tarik yang tinggi.

Pola retak pelat beton bertulang bambu sedikit berbeda dengan beton bertulang baja, karena modulus elastisitas baja dan bambu berbeda juga, sehingga pola retak pelat beton bertulang bambu perlu dianalisa atau di validasi dengan program metode numerik atau menggunakan software DIANA FEA.

B. Rumusan Masalah

Maka rumusan masalah yang akan dibahas antara lain :

1. Bagaimana perilaku retak pelat beton bertulang bambu menggunakan aplikasi software DIANA FEA ?
2. Bagaimana kesesuaian pola retak beton bertulang bambu dengan tegangan hasil visualisasi software DIANA FEA ?

C. Tujuan

Dengan memperhatikan latar belakang dan permasalahan yang terjadi maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui perilaku retak pelat beton bertulang bambu menggunakan aplikasi software DIANA FEA
2. Untuk mengetahui kesesuaian pola retak pelat beton bertulang bambu dengan tegangan hasil visualisasi aplikasi software DIANA FEA.

D. Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penulis, dalam studi ini merupakan kesempatan untuk mengaplikasikan ilmu yang didapatkan dari perkuliahan serta digunakan untuk praktek secara langsung,

juga menambah pemahaman materi semakin dalam.

2. Bidang Teknik Sipil , hasil studi ini dapat dijadikan sebagai refrensi terhadap pengembangan kontruksi untuk masa mendatang.
3. Pembaca, hasil studi ini dapat menjadi sumber informasi bagi pembaca dan menjadi masukan untuk bahan pembuatan tugas akhir maupun lainnya.

E. Batasan Masalah

Peneliti membatasi masalah yang akan di bahas dalam penelitian ini diantaranya sebagai berikut :

1. Pengujian dilakukan di laboratorium
2. Hasil akhir dari aplikasi software DIANA FEA

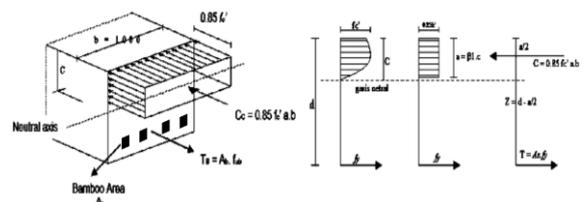
2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Beton

Menurut SNI 2847:2013, beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (admixture). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ($f'c$) pada usia 28 hari. Beton memiliki daya kuat tekan yang baik oleh karena itu beton banyak dipakai atau dipergunakan untuk pemilihan jenis struktur terutama struktur bangunan, jembatan dan jalan. Beton terdiri dari $\pm 15\%$ semen, $\pm 8\%$ air, $\pm 3\%$ udara, selebihnya pasir dan kerikil. Campuran tersebut setelah mengeras mempunyai sifat yang berbedabeda, tergantung pada cara pembuatannya..

B. Struktur Beton Bertulang

Pelat beton bertulang bambu adalah struktur tipis yang terbuat dari beton bertulang bambu dengan bidang yang arahnya horizontal, dan beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut.



Gambar 1 Tegangan ekuivalen untuk menghitung kapasitas nominal momen, M_n diusulkan untuk analisis penampang.

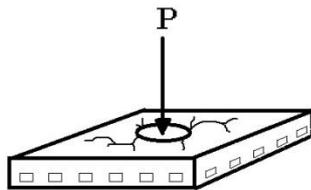
Sumber : Asroni, 2010

C. Pelat Satu Arah (*One Way Slab*)

Pelat bertumpu pada empat sisi tumpuan, tetapi dengan rasio panjang terhadap lebar nilainya sama dengan 2 atau lebih besar ($L/W \geq 2$) maka reaksi beban akan lebih banyak didistribusikan ke arah bentang yang lebih pendek, maka pelat tersebut biasa Memberikan kekuatan nominal negatif M_{mnx} dan M_{mny} . Kekuatan ini adalah per satuan lebar pelat.

D. Pola Retak Pada Pelat Beton Bertulang

Pada beton bertulang sering dijumpai permasalahan yaitu terjadinya keretakan pada bahan tersebut. Keretakan pada beton bertulang diakibatkan oleh beban yang bekerja pada beton tersebut. Jika diperhatikan, retak struktur pada pelat memiliki pola vertikal dan diagonal, selain itu terdapat juga pola retak retak rambut.



Gambar 2 Pembebanan yang dilakukan

Sumber :Hasil penggambaran sendiri, 2023

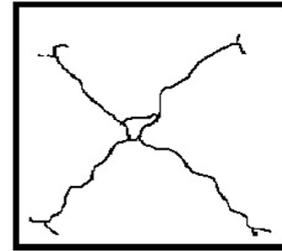
Adapun beberapa aspek yang mempengaruhi beton yaitu:

- Pengaruh lingkungan
- Pembebanan
- Toleransi Retak

E. Jenis-jenis Retakan yang Terjadi pada Pelat

1. Desain struktur yang tidak tepat

Penyebab lain dari perkembangan retak pada pelat RCC (Reinforced Cement Concrete) adalah rasio tulangan yang rendah karena kesalahan dalam tahap desain.

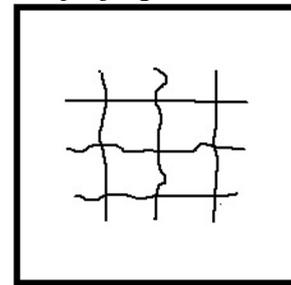


Gambar 3 Jenis retak desain struktur yang tidak tepat

Sumber :Hasil penggambaran sendiri, 2023

2. Penutup Beton Tidak Memadai

Penutup beton yang tidak memadai mengurangi perlindungan yang diperlukan untuk batang bambu. Akhirnya menyebabkan pembusukan pada bambu yang menyebabkan retaknya beton di sepanjang bambu.

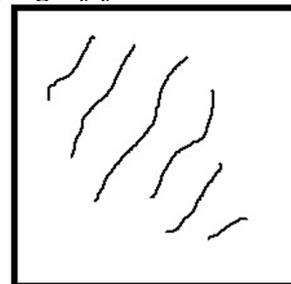


Gambar 4 Jenis retak penutup beton tidak memadai

Sumber :Hasil penggambaran sendiri, 2023

3. Perawatan yang Tidak Tepat

Perawatan beton yang tidak tepat dapat menyebabkan susut beton dan selanjutnya menyebabkan keretakan. Selain itu, dapat mengurangi kekuatan beton. Retakan akibat perawatan yang tidak tepat dapat berupa retakan halus dangkal yang sejajar satu sama lain.



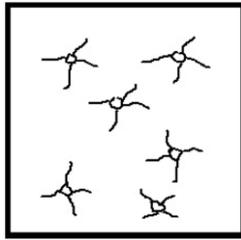
Gambar 5 Jenis retak perawatan tidak tepat

Sumber :Hasil penggambaran sendiri, 2023

4. Pemilihan bahan yang salah

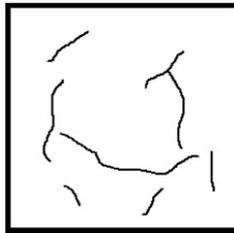
Pemilihan konstituen beton yang tepat, seperti agregat, sangat penting dalam mengurangi risiko inisiasi retak pada plat beton

bertulang. Penggunaan agregat pada beton dapat menyebabkan terjadinya keretakan.



Gambar 6 Jenis retak pemilihan bahan salah
 Sumber :Hasil penggambaran sendiri, 2023

5. Kondisi lingkungan yang parah
 Plat beton dibangun dalam kondisi yang keras seperti, daerah pesisir.



Gambar 7 Jenis retak kondisi lingkungan
 Sumber :Hasil penggambaran sendiri, 2023

F. Bambu Petung

Bambu petung, rebungnya hitam keunguan, tertutup oleh bulubulu (miang) seperti beledu coklat hingga kehitaman. Buluh berukuran besar, panjang ruas 40-50 cm dan garis tengahnya 12-18 cm, secara keseluruhan buluh mencapai tinggi 20 m dengan ujung yang melengkung

Tabel 1 Kuat Tarik Rata-rata Bambu pada Berbagai Posisi

Jenis Bambu	Bagian	Kuat Tarik (MPa)
Petung	Pangkal	288
	Tengah	177
	Ujung	208
Apus	Pangkal	144
	Tengah	137
	Ujung	174

Sumber : SNI 7944-2014

G. Penelitian Terdahulu

Pengujian Kuat Lentur pelat dilakukan pada ukuran 500 x 120 x 1200 mm³, untuk mutu beton menggunakan $f_c' = 20$ MPa. dari pengujian tersebut dihasilkan nilai momen teoritis lebih kecil daripada nilai momen pada eksperimen. Dikarenakan nilai momen lentur yang didapat dari eksperimen merupakan momen leleh dan

nilai ini lebih besar dari momen teoritis, karena f_c' dari pelat beton bertulang dengan agregatnya tidak sama dengan 20 MPa.

H. Metode Elemen Hingga Menggunakan Program DIANA FEA

Dalam mekanika struktur sifat material mengalami tegangan non linier diperhitungkan karena menyebabkan runtuh atau rangkak, dan munculnya tekuk local. Material disebut nonlinier apabila sifat dari material adalah fungsi dari kondisi tegangan atau regangan, termasuk elastisitas nonlinier, plastisitas, dan rangkak. Masalah yang timbul dalam material adalah material menjadi nonlinier karena kekakuan, dan kemungkinan termasuk akibat beban yang menjadi fungsi dari peralihan atau deformasi (Adina, 2009).

3. METODOLOGI PENELITIAN

A. Uraian Umum

Penelitian ini dimulai dengan melakukan tinjauan pustaka untuk mencari bahan referensi tentang beton dan bambu. Referensi yang digunakan berupa jurnal-jurnal. Untuk mempermudah perencanaan penyusunan tugas akhir ini, maka diperlukan suatu metodologi/diagram alir agar Analisa pola retak dan keruntuhan plat beton bertulang bambu berjalan sesuai dengan harapan.

B. Standart Penelitian

1. Perencanaan Struktur Beton Bertulang (SNI-2847-2013)
2. Pengujian Kuat Lentur Beton (SNI 03-4145-1996)
3. Peraturan lain yang masih berlaku dan sesuai dengan kondisi yang ada

C. Pendekatan Penelitian

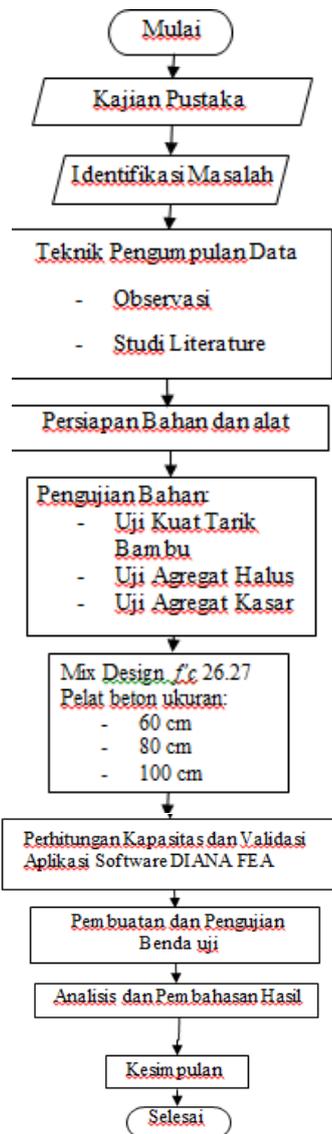
Pendekatan penelitian ini dilakukan dengan metode kuantitatif karena hasil yang didapatkan berupa angka maupun bilangan yang merupakan hasil dari analisis struktur pelat beton bertulang bambu menggunakan bantuan software Microsoft Excel dan aplikasi DIANA FEA.

D. Teknik Pengumpulan Data

Data yang terkumpul digunakan untuk menguji hipotesis yang telah dirumuskan secara umum, dan pengumpulan data dalam penelitian yaitu:

1. Observasi
2. Studi literature

E. Rancangan Tahapan Penelitian



Gambar 8 Rancangan Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Sumber : Hasil Gambar , 2022

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Agregat

Beton yang digunakan adalah beton normal. Agregat halus dan Agregat kasar yang digunakan untuk campuran beton normal telah diuji di Laboraturium Mekanika Tanah Universitas Muhammadiyah Jember. Berikut hasil dari pengujian agregat halus dan kasar.

1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Dalam Pengujian Agregat Halus untuk campuran mix design beton didapatkan nilai pada tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Satuan
1.	Berat Jenis	2.70	%
2.	Kadar Air	3.09	%
3.	Penyerapan	2.99	%
4.	Kadar Lumpur	0.03	%
Berat Volume			
5.	a. Rojokan	1.25	gr / cm ³
	b. Tanpa rojokan	1.39	gr / cm ³
6.	Analisa Ayakan (FM)	2.8	%

Sumber : Hasil analisis, 2022

B. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Dalam Pengujian Agregat Halus untuk campuran mix design beton didapatkan nilai pada tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Satuan
1.	Berat Jenis	2.65	%
2.	Kadar Air	0.60	%
3.	Penyerapan	0.50	%
4.	Kadar Lumpur	0.003	%
Berat Volume			
5.	a. Rojokan	1.10	gr / cm ³
	b. Tanpa rojokan	1.25	gr / cm ³
6.	Analisa Ayakan (FM)	2.6	%

Sumber : Hasil Analisis, 2023

C. Kuat Tarik Bambu

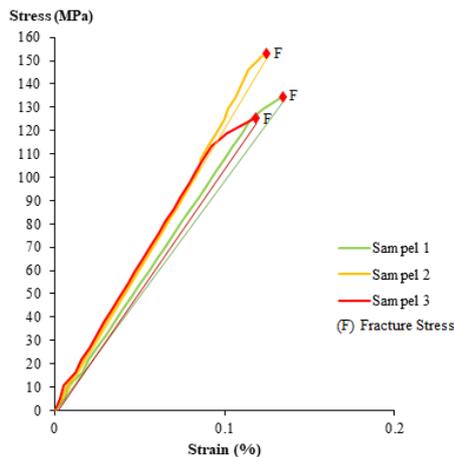
Pengujian kuat tarik bambu dilakukan di Laboraturium Politeknik Negeri Banyuwangi. Untuk jenis bambu yang digunakan yaitu bambu petung. Pengujian menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*). Berikut hasil kuat tarik bambu.

Tabel 4 Hasil pengujian kuat tarik bambu.

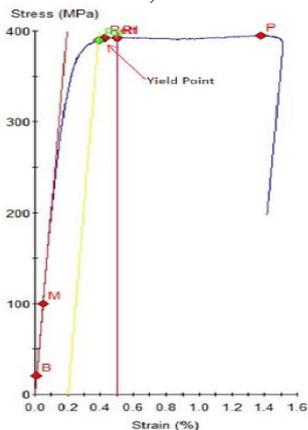
No	Area (m ²)	Maximum Force (kN)	Tensile Strength (MPa)	Yield Force (kN)	Yield Stress (MPa)	Elongation (%)	Strain (%)
1	294	45.08	153.33	39.47	134.25	13.27	0.1327
2	345	57.71	167.28	52.68	152.7	12.19	0.1219
3	345	48.68	141.1	43.23	125.3	11.67	0.1167

No	Area (m ²)	Maximum Force (kN)	Tensile Strength (MPa)	Yield Force (kN)	Yield Stress (MPa)	Elongation (%)	Strain (%)
Rata-rata	328	50.49	153.90	45.13	137.42	12.38	0.12

Sumber : Hasil Analisis, 2023



Gambar 9 Grafik Kuat Tarik Bambu
 Sumber : Hasil Analisis, 2023



Gambar 10 Grafik Kuat tarik tulangan baja
 Sumber : Muhtar, 2019

Pada gambar 9 didapatkan *fracture stress* sampel 1 sebesar 134.25 Mpa, sampel 2 152.70 Mpa, sampel 3 125.30 Mpa dan dipatkan rata rata *fracture stress* 137.42 Mpa. Untuk mencari modulus elastisitas bambu digunakan rumus $E = \sigma/\epsilon$ didapatkan hasil 11063.56 Mpa.



Gambar 11 Pengujian Kuat Tarik Bambu
 Sumber : gambar pribadi, 2023

Pada pengujian kuat tarik bambu, mayoritas terjadi pada titik ruas seperti gambar 11 sehingga modulus elastisitas diambil dari rata-rata dengan ruas. Pada gambar 9 dan gambar 10 menunjukkan grafik hubungan tegangan regangan tulangan bambu dan baja. Grafik pada tulangan bambu cenderung linier.

1. Perencanaan *Mix Design* $f'c$ 26.27

Untuk Proporsi campuran beton hasil *mix design* dengan seperti table dibawah ini.

Tabel 5 Proporsi *Mix Design* $f'c$ 26.27

VARIASI PROPORSI			
Bahan	UK. 60	UK. 80	UK. 100
Air	12.1	21.4	33.5
Semen	22.1	39.3	61.4
Pasir	44.5	79.1	123.5
Kerikil	48.2	85.6	133.8
Total	114.7	204.0	318.7

Sumber : Hasil Analisis, 2023

D. Uji Mutu Beton

Pengujian mutu beton merupakan sebuah proses pengujian pada kekuatan beton terhadap tekanan yang bertujuan mengetahui bahwa beton telah memenuhi standart.

1. *Slump test*

Pengukuran slump dilakukan dengan mengacu pada aturan yang ditetapkan dalam peraturan standart SNI 1972-2008 (Cara Uji Slump Beton).

Tabel 6 Hasil uji *Slump test*

No.	Nilai Slump	
	Test (cm)	Keterangan
1	6	Memenuhi
2	6.5	Memenuhi
3	7	Memenuhi

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Nilai *slump test* terhadap kuat tekan semakin besar nilai kuat tekan beton semakin kecil hal ini disebabkan oleh air yang digunakan berlumpur dan beton silinder berongga karena adonan beton pada saat dimasukkan ke cetakan silinder terdapat gelembung udara.

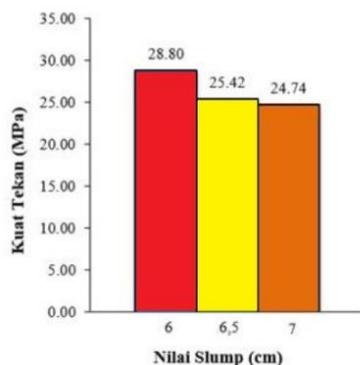
2. Uji Kuat Tekan Beton

Untuk mendapatkan kuat tekan beton ($f'c$) yang dipakai dalam menganalisa data, maka dilakukan pengujian kuat tekan beton yang berbentuk silinder dengan diameter 15 cm sertatingginya 30 cm. Pengujian ini berdasarkan persyaratan SNI 2002. Pengujian kuat tekan ini sampel harus direndam selama 28 hari (*curing*) untuk mengantisipasi pengeroposan beton dan agar beton berada dalam kondisi baik dan mencapai kuat tekan yang diharapkan. Berikut adalah hasil pengujian kuat tekan beton.

Tabel 7 Hasil Uji Kuat Tekan Beton.

Sampel	Beban Maksimal	Berat	Kuat Tekan
	kN	kg	MPa
1	447	12.30	25.28
2	448	13.34	25.42
3	436	12.26	24.69
4	437	12.50	24.74
5	507	12.51	28.70
6	509	12.62	28.80

Sumber : Hasil Analisis, 2023



Gambar 12 Grafik Nilai Slump test dan Kuat tekan

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Dari gambar 12 dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton dapat dipengaruhi oleh tinggi nilai slump, semakin tinggi nilai slump maka nilai kuat tekan beton semakin turun.

E Hasil Perhitungan Teoritis Pelat.

1. Perhitungan Kapasitas Pelat 60 x 60 cm

Diketahui:

- Lebar Pelat (b) = 60 cm
- Tinggi Pelat (h) = 15 cm
- Panjang Pelat (L) = 60 cm
- Jarak pusat tulangan tekan ke ujung atas pelat (d') = 3.25 cm
- Jarak pusat tulangan tarik ke ujung atas pelat (d) = 11 cm
- Luas tulangan (A_b) = 15.8 cm²
- Elastisitas Bambu (E_s) = 11063.56 MPa
- Elastisitas beton (E_c) = 20310.85 MPa
- Kuat tekan beton ($f'c$) = 26.27 cm
- Berat isi beton = 2400 kg/m³
- Berat pembagi beton = 129.6 kg

Perhitungan Pembebanan:

- Akibat berat pelat sendiri :
- Berat Pelat (q) = 129.6 kg/m
- Momen maksimum.

$$\frac{1}{8} \times q \times L^2 = 5.83 \text{ kg-m}$$

- Akibat beban terpusat (P) :
- Momen maksimum

$$\frac{1}{4} \times P \times L = 0.15 \text{ kg-m}$$

Sehingga momen maksimum total = 5.83 kg-m + 0.15p kg-m

$$\text{Rasio modular / angka ekivalen (n)} \quad n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{11063.56}{20310.85}$$

$$= 0.54$$

- Jarak garis netral (garis pusat transformasi)

$$Y = \frac{b \cdot h \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \cdot h + (n-1) \cdot A_s \cdot d + (n-1) \cdot A_s' \cdot d'}{b \cdot h + (n-1) \cdot A_s + (n-1) \cdot A_s'}$$

$$= \frac{6740614.26}{89914.29}$$

$$= 75 \text{ mm}$$

$$= 7.5 \text{ cm}$$

$$Y_t = h - Y$$

$$= 75 \text{ mm}$$

$$= 7.5 \text{ cm}$$

Momen Inersia

$$I_{gt} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + b \cdot h \cdot \left(y - \frac{h}{2}\right)^2 + (n - 1) \cdot A_s \cdot (d - y)^2 + (n - 1) \cdot A_s' \cdot (y - d')^2$$

$$= 168662088 \text{ mm}^4$$

$$= 168.66 \text{ cm}^4$$

Retak akan terjadi pada modulus kerutuhan beton

Modulus pecah beton (fr)

$$f_r = 0.7 \sqrt{f'c} = 3.59 \text{ Mpa} = 3089.74 \text{ kg-cm}^2$$

Sehingga momen retak terbesar

$$M_{cr} = (f_r \cdot I_{gt}) / Y_t$$

$$= 69457.29 \text{ kg-cm}$$

$$= 694.57 \text{ kg-m}$$

Untuk mencari besar P retak awal

Momen maksimum total =

Momen retak (M_{cr})

$$5.83 + 0.15 = 694.57$$

$$0.15 = 694.57 - 5.83$$

$$0.15 = 688.74$$

$$P = 4591.61 \text{ kg} = 45.02 \text{ kN}$$

Perhitungan P *Ultimate*

Keseimbangan Gaya

$$C = T$$

$$C_c = T$$

$$(0.85) \cdot f'c \cdot b \cdot a = A_b \cdot F_{yb}$$

$$49524.25 \times a = 26617.50$$

$$a = 2.79 \text{ mm}$$

Momen Lentur Nominal (M_n)

$$M_n = T \cdot (d - a/2)$$

$$M_n = 2890730.93 \text{ Nmm}$$

$$= 2890.73 \text{ Nm}$$

$$= 1223.31 \text{ kg-m}$$

$$M_n = \text{Momen maksimum total}$$

$$1223.31 = 5.83 + 0.15p \text{ kg-m}$$

$$P_{ultimate} = 8116.49 \text{ kg}$$

$$P_{ultimate} = 79.57 \text{ kN}$$

2. Perhitungan Kapasitas Pelat 80 x 80cm

Diketahui:

- Lebar Pelat (b) = 100 cm
- Tinggi Pelat (h) = 15 cm
- Panjang Pelat (L) = 100 cm
- Jarak pusat tulangan tekan ke ujung atas pelat (d') = 3.25 cm
- Jarak pusat tulangan tarik ke ujung atas pelat (d) = 11 cm

$$\text{- Luas tulangan (Ab)} = 18 \text{ cm}^2$$

$$\text{- Elastisitas Bambu (Eb)} = 11063.56 \text{ Mpa}$$

$$\text{- Elastisitas beton (Ec)} = 20310.85 \text{ Mpa}$$

$$\text{- Kuat tekan beton (f'c)} = 26.67 \text{ cm}$$

$$\text{- Berat isi beton} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{- Berat pembagi beton} = 230.4 \text{ kg}$$

Perhitungan Pembebanan:

- Akibat berat pelat sendiri :

$$\text{- Berat Pelat (q)} = 230.4 \text{ kg/m}$$

- Momen maksimum.

$$\frac{1}{8} \times q \times L^2 = 18.43 \text{ kg-m}$$

- Akibat beban terpusat (P) :

- Momen maksimum

$$\frac{1}{4} \times P \times L = 0.20 \text{ kg-m}$$

$$\text{Sehingga momen maksimum total} = 18.43 \text{ kg-m} + 0.25p \text{ kg-m}$$

Rasio modular / angka ekuivalen (n)

$$n = E_s / E_c$$

$$= 11063.56 / 20310.85$$

$$= 0.54$$

- Jarak garis netral (garis pusat transformasi)

$$Y = \frac{b \cdot h \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \cdot h + (n-1) \cdot A_s \cdot d + (n-1) \cdot A_s' \cdot d'}{b \cdot h + (n-1) \cdot A_s + (n-1) \cdot A_s'}$$

$$= \frac{11239275.95}{149902.13} = 75 \text{ mm}$$

$$= 7.5 \text{ cm}$$

$$Y_t = h - Y = 75 \text{ mm}$$

$$= 7.5 \text{ cm}$$

Momen Inersia

$$I_{gt} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + b \cdot h \cdot \left(y - h/2\right)^2 + (n-1) \cdot A_s \cdot (d - y)^2 + (n-1) \cdot A_s' \cdot (y - d')^2$$

$$= 224899540 \text{ mm}^4$$

$$= 224.89 \text{ cm}^4$$

Retak akan terjadi pada modulus kerutuhan beton

Modulus pecah beton (fr)

$$f_r = 0.7 \sqrt{f'c}$$

$$= 3.03 \text{ Mpa}$$

$$= 3089.74 \text{ kg-cm}^2$$

Sehingga momen retak terbesar

$$M_{cr} = (f_r \cdot I_{gt}) / Y_t$$

$$= 92621.47 \text{ kg-cm}$$

$$= 926.21 \text{ kg-m}$$

Untuk mencari besar P retak awal

Momen maksimum total =

Momen retak (M_{cr})

$$18.43 + 0.20 = 926.21$$

$$0.20 = 907.78$$

$$P = 4538.91 \text{ kg}$$

$$= 44.50 \text{ kN}$$

Perhitungan P Ultimate

Keseimbangan Gaya

$$C = T$$

$$C_c = T$$

$$(0.85) \cdot f' \cdot c \cdot b \cdot a = A_b \cdot F_{yb}$$

$$12699 \times a = 30420$$

$$a = 2.40 \text{ mm}$$

Momen Lentur Nominal (Mn)

$$M_n = T \cdot (d - a / 2)$$

$$M_n = 3309764.99 \text{ Nmm}$$

$$= 3309.76 \text{ Nm}$$

$$= 1518.76 \text{ kg-m}$$

Mn = Momen maksimum total

$$1518.76 = 18.432 + 0.20p \text{ kg-m}$$

$$P_{\text{ultimate}} = 7501.64 \text{ kg}$$

$$P_{\text{ultimate}} = 73.55 \text{ kN}$$

3. Perhitungan Kapasitas Pelat 100 x 100cm

Diketahui:

- Lebar Pelat (b) = 100 cm
- Tinggi Pelat (h) = 15 cm
- Panjang Pelat (L) = 100 cm
- Jarak pusat tulangan tekan ke ujung atas pelat (d')
- Jarak pusat tulangan tarik ke ujung atas pelat (d) = 11 cm
- Luas tulangan (Ab) = 18 cm²
- Elastisitas Bambu (Es) = 11063.5 MPa
- Elastisitas beton (Ec) = 20310.85 MPa
- Kuat tekan beton (f'c) = 26.27 cm
- Berat isi beton = 2400 kg/m³
- Berat pembagi beton = 360 kg

Perhitungan Pembebanan:

- Akibat berat pelat sendiri :

$$\text{Berat Pelat (q)} = 360 \text{ kg/m}$$

Momen maksimum.

$$\frac{1}{8} \times q \times L^2 = 45.00 \text{ kg-m}$$

- Akibat beban terpusat (P) :

Momen maksimum

$$\frac{1}{4} \times P \times L = 0.25 \text{ kg-m}$$

$$\text{Sehingga momen maksimum total} = 45.00 \text{ kg-m} + 0.25p \text{ kg-m}$$

- Rasio modular / angka ekivalen (n)

$$n = E_s / E_c$$

$$= 11063.56 / 20310.85$$

$$= 0.54$$

- Jarak garis netral (garis pusat transformasi)

$$Y = \frac{b \cdot h \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \cdot h + (n-1) \cdot A_s \cdot d + (n-1) \cdot A_s' \cdot d'}{b \cdot h + (n-1) \cdot A_s + (n-1) \cdot A_s'}$$

$$= \frac{11240970.50}{149917.59}$$

$$= 75 \text{ mm}$$

$$= 7.5 \text{ cm}$$

$$Y_t = h - Y$$

$$= 75 \text{ mm}$$

$$= 7.5 \text{ cm}$$

Momen Inersia

$$I_{gt} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + b \cdot h \cdot \left(y - \frac{h}{2}\right)^2 + (n -$$

$$1) \cdot A_s \cdot (d - y)^2 +$$

$$(n - 1) \cdot A_s' \cdot (y - d')^2$$

$$= 281149554 \text{ mm}^4 = 281.14 \text{ cm}^4$$

Retak akan terjadi pada modulus kerutuhan beton

Modulus pecah beton (fr)

$$f_r = 0.7 \sqrt{f'c}$$

$$= 3.03 \text{ Mpa} = 3089.74 \text{ kg-cm}^2$$

Sehingga momen retak terbesar

$$M_{cr} = (f_r \cdot I_{gt}) / Y_t$$

$$= 115794.53 \text{ kg-cm} = 1157.95 \text{ kg-m}$$

Untuk mencari besar P retak awal

Momen maksimum total = Momen retak (Mcr)

$$45 + 0.25 = 1157.95$$

$$0.25 = 1112.95$$

$$P = 4451.78 \text{ kg} = 43.64 \text{ kN}$$

Perhitungan P Ultimate

Keseimbangan Gaya

$$C = T$$

$$C_c = T$$

$$(0.85) \cdot f' \cdot c \cdot b \cdot a = A_b \cdot F_{yb}$$

$$15873.75 \times a = 30420$$

$$a = 1.92 \text{ mm}$$

Momen Lentur Nominal (Mn)

$$M_n = T \cdot (d - a / 2)$$

$$M_n = 3317051.99 \text{ Nmm} = 3317.05 \text{ Nm}$$

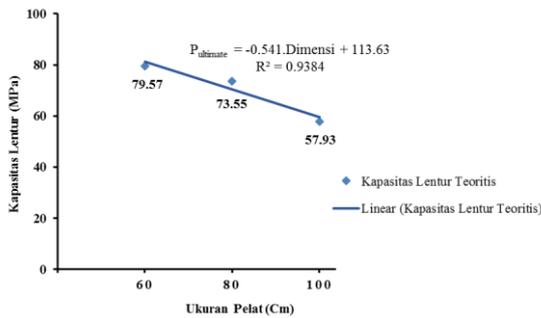
$$= 1522.10 \text{ kg-m}$$

Mn = Momen maksimum total

$$1522.10 = 45 + 0.20p \text{ kg-m}$$

$$P_{\text{ultimate}} = 5908.41 \text{ kg}$$

$$P_{\text{ultimate}} = 57.93 \text{ kN}$$



Gambar 13 Grafik Hasil Kapasitas Lentur Teoritis

Sumber : Hasil Analisis, 2023

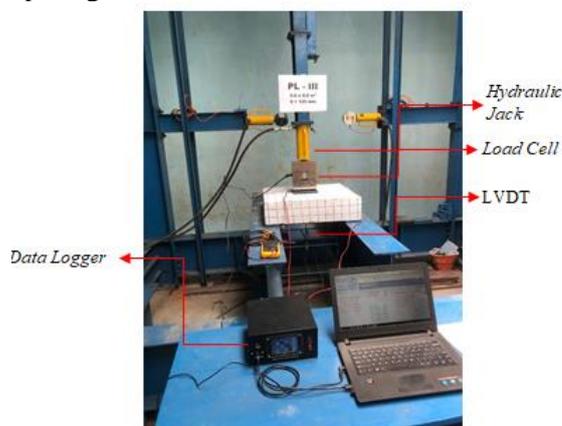
Dari Gambar 13 diatas didapatkan hasil kapasitas lentur teoritis pada penampang pelat berukuran 60 x 60 cm² kapasitas lentur teoritis sebesar 79.57 MPa, penampang pelat berukuran 80 x 80 cm² kapasitas lentur teoritis sebesar 73.55 MPa, dan penampang pelat berukuran 100 x 100 cm² kapasitas lentur teoritis sebesar 57.93 MPa. Untuk menentukan ukuran penampang berdasarkan kuat lentur dapat menggunakan persamaan $P = -0.541.A + 113.63$.

F. Hasil Pengujian beban

Benda uji yang digunakan adalah pelat beton bertulang bambu. Hasil pengujian ini akan memvalidasikan hasil pola retak yang terjadi di aplikasi DIANA FEA.

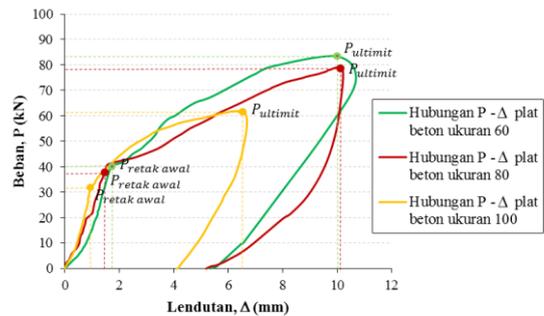
1. Hubungan Beban dengan Lendutan

Pembebanan dilakukan pada titik tengah atau disebut beban terpusat, dimana LVDT berada diposisi tengah bawah pelat. Nilai lendutan dan pembebanan dapat dari hasil uji laboratorium seperti gambar dibawah ini.



Gambar 14 Skema pengujian
 Sumber : Dokumentasi pribadi, 2023

Dari pengujian tersebut Load cell dan LVDT akan memberikan nilai yang terekam di alat *Data Logger*. Dari data pembacaan tersebut nilai dapat diolah menjadi grafik lendutan. Berikut adalah hasil beban terhadap lendutan.



Gambar 15 Gabungan hubungan beban dan lendutan.

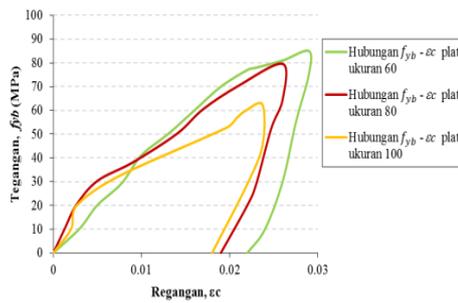
Sumber : Hasil Analisis, 2023

Berdasarkan grafik diatas hubungan beban dan lendutan menunjukkan daerah elastis pada beban awal sampai dengan beban retak awal, setelah retak awal terjadi maka hubungan beban dan lendutan menjadi plastis sampai pada beban maksimum. Pelat 60 x 60 cm² mempunyai retak awal terjadi pada 51% $P_{ultimate}$, untuk pelat 80 x 80 cm² memiliki retak awal terjadi 52% dari $P_{ultimate}$ dan pelat 100 x 100 cm² didapatkan retak awal 48% dari $P_{ultimate}$.

Dari gambar 15 terlihat bahwa pengaruh beban terhadap defleksi memiliki trend yang proporsional, yaitu semakin tinggi beban yang diberikan maka semakin besar pula defleksi yang terjadi. Dengan semakin tinggi beban yang diberikan maka semakin besar pula gaya yang diberikan kepada pelat beton, sehingga semakin besar pula deformasi yang terjadi. Hal ini dapat terlihat pada grafik gambar 4.7 ketika nilai beban diturunkan setelah pelat beton runtuh maka nilai lendutan menjadi turun dikarenakan perilaku sifat bambu yang elastis.

2. Hubungan Tegangan dan Regangan

Tegangan dan regangan terjadi akibat pembebanan yang kemudian mengalami deformasi yang berupa lengkungan dan lenturan. Berikut adalah hasil grafik hubungan tegangan dan regangan pada saat pengujian.



Gambar 16 Hubungan Tegangan dan Regangan Beton.

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Berdasarkan gambar 16 terlihat bahwa pelat beton ukuran 60 cm dengan jarak tulangan 80 mm mempunyai tegangan sebesar 85 Mpa sedangkan pelat beton berukuran 100 cm dengan jarak 125 mm mempunyai tegangan 62.33 Mpa. Jadi semakin lebar jarak tulangan semakin kecil nilai tegangan tariknya dikeranekan dimensi pelat beton yang besar. Dari gambar 4.7 dapat dianalisa bahwa pada pengujian pelat beton bertulang bambu dapat menghasilkan sebuah bentuk kurva non linier.

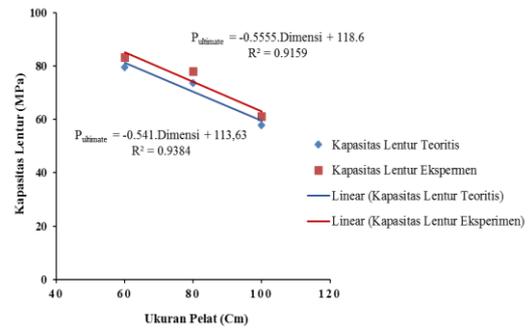
G. Perbandingan Hasil Nilai Teoritis dan Eksperimen

Berikut merupakan hasil nilai perbandingan kapasitas lentur pelat beton bertulang seperti dibawah ini.

Tabel 8 Hasil perbandingan kapasitas lentur pelat

Dimensi Pelat Beton (m)	Kuat Tekan Beton (Mpa)	Teoritis		Eksperimen	
		Pcr (kN)	Pult (kN)	Pcr (kN)	Pult (kN)
0.6 x 0.6	26.27	45.02	79.57	41.44	83.36
0.8 x 0.8	26.27	44.50	73.55	31.68	78.05
1.0 x 1.0	26.27	43.64	57.93	37.35	61.11

Sumber : Hasil Analisis, 2023



Gambar 17 Diagram Hasil Kapasitas Lentur Teoritis dan Eksperimen

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Pengaruh perbedaan dimensi pelat beton terhadap kapasitas lentur teoritis terdapat pada Gambar 17 ditunjukkan koefisien determinasi $R^2 = 0,9384$, hal ini ditunjukkan 93,84 % nilai kapasitas lentur dipengaruhi oleh dimensi pelat beton sedangkan sisanya 6,16 % dipengaruhi oleh faktor lain. Sedangkan hasil eksperimen ditunjukkan dengan $R^2 = 0,9159$ menunjukkan bahwa 91,59 % nilai kapasitas lentur dipengaruhi oleh dimensi pelat beton sedangkan sisanya 8,41 % dipengaruhi oleh faktor lain diantaranya ketidakteelitian dalam pengujian (*human error*).

H. Validasi Aplikasi DIANA FEA

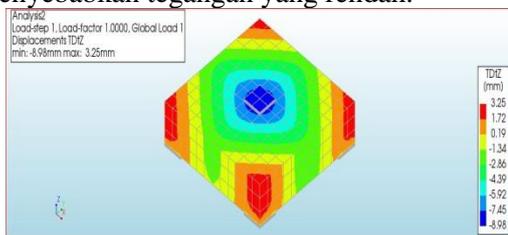
Aplikasi DIANA FEA merupakan aplikasi yang menganalisis dasar dan lanjutan dari berbagai struktur. Keunggulan metode elemen hingga ini adalah kemampuannya untuk memodelkan berbagai bentuk geometric struktur yang tidak beraturan. Proses analisa dilakukan berdasarkan kekakuan yang ditampilkan dalam formula matriks.

Validasi ini dilakukan untuk melihat kesesuaian hasil eksperimen pelat beton bertulang bambu dengan simulasi aplikasi DIANA FEA. Hasil simulasi aplikasi DIANA FEA akan dibandingkan dengan hasil eksperimen yaitu pola retak pada pelat beton bertulang bambu.

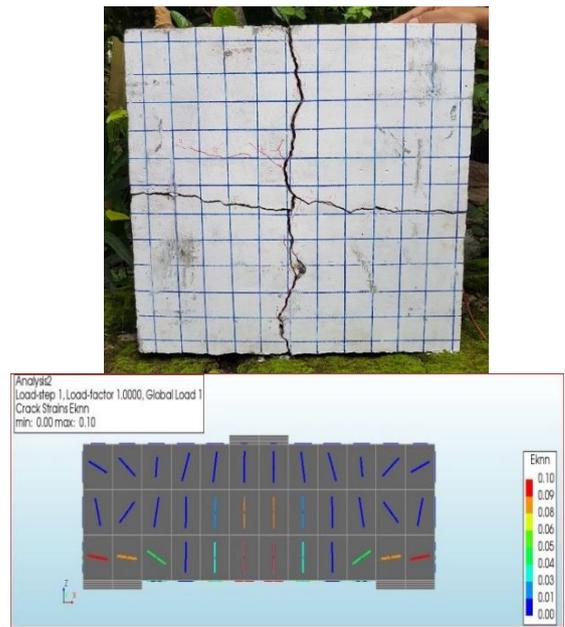
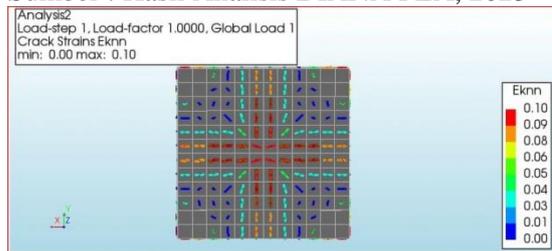
Pada gambar 18 menunjukkan kontur lendutan akibat beban yang diberikan kepada pelat beton bertulang bambu hasil simulasi dari aplikasi DIANA FEA pada kontur berwarna merah menunjukkan tegangan tarik maksimum dan kontur berwarna biru menunjukkan tegangan tekan maksimum.

Pada gambar 19, 20, 21 menunjukkan pola retak pada pelat beton bertulang bambu. Plot pola retak (Eknn menunjukkan regangan retak normal) garis berwarna merah menunjukkan keruntuhan yang sedang berlangsung. Lendutan dan momen akan terus meningkat seiring bertambahnya beban. Ketika momen retak melampaui akan terjadi retak awal. Setelah retak awal terjadi maka tegangan akan terjadi pada pelat beton bertulang bambu. Retakan awal bermula dari tengah bentang. Retakan baru muncul dan bercabang keatas bagian sisi samping pelat beton. Sesuai dengan tegangan tarik maksimum. Ketika beban mencapai maksimal dan pelat beton mengalaih keruntuhan retakan hanya membesar dan melebar.

Menuru penelitian Muhtar, 2019 (Enhancing bamboo reinforcement using a hose-clamp to increase bond-stress and slip resistance) Garis retakan searah dengan tulangan bambu membuktikan slip antara tulangan bambu dan beton. Terjadinya slip membuktikan bahwa modulus elastisitas bambu lebih rendah dibandingkan dengan beton sehingga menyebabkan tegangan yang rendah.



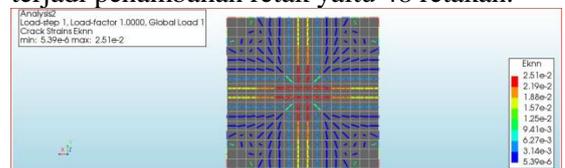
Gambar 19 Kontur Lendutan Pelat Beton Bertulang Bambu Hasil Aplikasi DIANA FEA
 Sumber : Hasil Analisis DIANA FEA, 2023

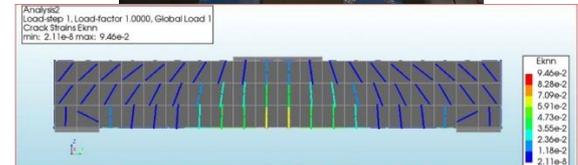
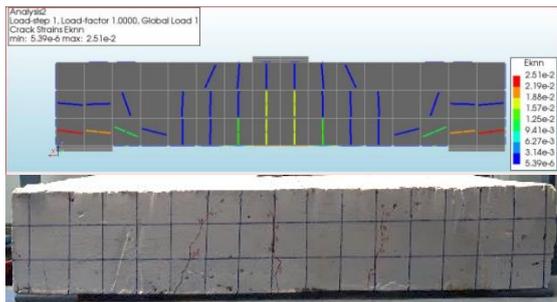
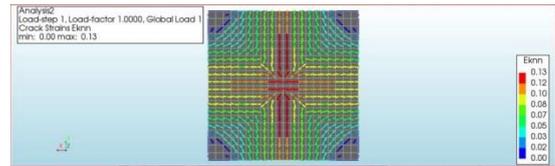
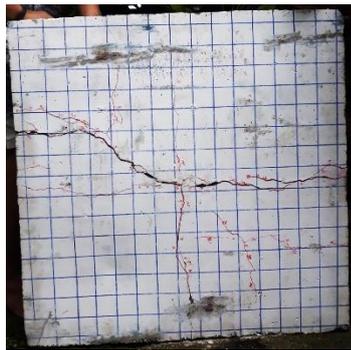


Gambar 20 Hasil Validasi Pola Retak Aplikasi DIANA FEA dan Eksperimen Pelat beton 60 x 60 cm.

Sumber : Hasil Analisis DIANA FEA, 2023

Pada gambar 20 menunjukkan kemiripan zona retakan yang dihasilkan dari aplikasi dan eksperimen. Pada hasil eksperimen retak awal terjadi pada 41.44 kN di bagian bawah pelat, saat beban mencapai 52.96 kN retakan berjumlah 32 retakan dan retakan awal semakin melebar dan memanjang, pada sumbu $x = 1\text{mm}$, $y = 2\text{mm}$. Kemudian pada beban maksimal 83.36 kN terjadi penambahan retak yaitu 48 retakan.





Gambar 21 Hasil Validasi Pola Retak Aplikasi DIANA FEA dan Eksperimen Pelat beton 80 x 80 cm.

Sumber : Hasil Analisis DIANA FEA, 2023

Pada gambar 21 menunjukkan kemiripan zona retakan yang dihasilkan dari aplikasi dan eksperimen. Pada hasil eksperimen retak awal terjadi pada 31.68 kN terdapat 2 retakan awal di bagian bawah pelat, saat beban mencapai 50.99 kN retakan berjumlah 71 retakan dan retakan awal semakin melebar dan memanjang. Kemudian pada beban maksimum 78.05 kN terjadi penambahan retak yaitu 108 retakan dan penambahan lebar retakan pada sumbu $x = 7\text{mm}$, $y = 2\text{mm}$

Pada gambar 22 menunjukkan kemiripan zona retakan yang dihasilkan dari aplikasi dan eksperimen. Pada hasil eksperimen retak awal terjadi pada 37.55 kN di bagian bawah pelat, saat beban mencapai 49.04 kN retakan berjumlah 53 retakan dan retakan awal semakin melebar dan memanjang. Kemudian pada beban maksimum 61.11 kN terjadi penambahan retak yaitu 75 retakan. Lebar retakan pada sumbu $x = 5.3\text{ mm}$, $y = 2\text{ mm}$.

Gambar 22 Hasil Validasi Pola Retak Aplikasi DIANA FEA dan Eksperimen Pelat beton 100 x 100 cm.

Sumber : Hasil Analisis DIANA FEA, 2023

5. PENUTUP

a. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pengujian ketiga pelat pola retak yang terjadi pada umumnya diawali dengan retak halus pada bagian bawah pelat yaitu sisi tarik penampang lalu diikuti dengan retak pada bagian sisi samping. Seiring bertambahnya beban retak terus merambat dan timbul retak baru sedangkan retak yang sudah ada akan semakin membesar.
2. Validasi hasil pola retak dari pengujian eksperimen dan aplikasi software DIANA FEA memiliki kemiripan yaitu pola retakan membentuk pola plus. Keretakan pada beton terjadi dikarenakan beban telah melebihi P retaknya.

b. Saran

Beberapa saran dengan melihat hasil penelitian ini:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk mengetahui ketahanan bambu sebagai tulangan pelat beton.
2. Perlu adanya pendalaman lebih lanjut tentang pemahaman penggunaan aplikasi DIANA FEA.
3. Perlu diadakan penelitian lanjutan menggunakan aplikasi yang berbeda, mutu beton yang berbeda, dan dimensi yang berbeda.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Taufiq Rochman, Suhariyanto. Multilayer bamboo composite hollow-core: Lab-scale and non-destructive testing of full-scale concrete bridges considering transverse bamboo pole as shear reinforcement.
- Benedictus Sonny Yoedono, Sri Murni Dewi, Agoes Soehardjono. Pondasi Pracetak Bambu Komposit
- Rahmat Hidayatullah, Pujo Priyono, Adhitya Surya Manggala. Struktur Kuat penampang Abutmen Beton Bertulang dengan muka penampang yang miring horizontal, jalan Tol Pandaan-Malang Jawa Timur.
- Dr.Ir. Muhtar, ST., MT., IPM.: Amri Gumnasti, ST.,MT.; Adhitya Surya Mangala, ST.,MT. Perkuatan Hubungan kolom-pondasi beton bertulang bambu menggunakan galvalum rumah sederhana.
- Tedy Wonlele, Sri Murni Dewi, Siti Nurlima. Penerapan Bambu Sebagai Tulangan Dalam Struktur Rangka Batang Beton Bertulang.
- Devi Nuralinah. Eksperimen dan Analisis Bebn Lentur pada Balok Beton Bertulangan Bambu Rajutan
- Domingos Rosario, Diana Ningrum, Spd.,MT. Dan Dr. Nawir Rasidi, ST. MT.
- Pengaruh Penggunaan Tulangan Bambu pada Struktur Pelat Atap/ Lantai dengan Mutu beton $f'c$ 25.5 mpa.
- Muhtar, Sri Murni Dewi, Wisnumurti, As'ad Munawir. Enhacing bamboo reinforcement using a hose-clamp to increase bond-stress and slip resistance.
- Muhtar, M. (2021). Analisis Eksperimental Pengaruh Jarak Klem Selang Pada Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang Bambu.
- Muhtar, M. Perkuatan Tulangan Bambu Menggunakan Klem-Selang (house clamp).
- Dharma Putra, I Wayan Sedana, dan Kadek Budi Santika. Kapasitas Lentur Plat Beton Bertulangan Bambu.
- Hanahantara, Adus Setiya Budi, Achmad Basuki. Kapasitas Lentur Plat Beton Bertulang Bambu Petung Polos.
- Riafahrina, Indra Gunawan. PEMANFAATAN BAMBU BETUNG BANGKA SEBAGAI PENGGANTI TULANGAN BALOK BETON BERTULANGAN. COLUMN-FEA SIIP
- Jim Butterwoth. FINITE ELEMENT ANALYSIS of STRUCTURAL STEELWORK BEAM to COLUMN BOLTED CONNECTION
- Thomas C A L V I N Putro Sasongko. KAPASITAS PELAT BERONGGA SATU ARAH DENGAN BAMBU PETUNG DENGAN ANALISIS FINITE ELEMENT.