



## ULASAN MENGENAI KUAT LEKATAN ANTARA *NATURAL FIBER REINFORCED POLYMER* (NFRP) DENGAN BETON UNTUK PERKUATAN

Shafira Salsabila<sup>a,\*</sup>, Taufiq Saidi<sup>b</sup>, Muttaqin Hasan<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

<sup>b</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

\*Corresponding author, email address: shafirasalsabila69@gmail.com

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 05 April 2022

Accepted 10 May 2022

Online 31 June 2022

#### Keywords:

Concrete

Natural Fiber Reinforced

Polymer (NFRP)

Fibres

Bond strength

### ABSTRACT

Retrofits and reinforcements are needed in structures that have experienced a decline in performance to continue to meet their strength requirements. Reinforcement of reinforced concrete structures can use the method of strengthening with Fiber Reinforced Polymer (FRP) which is made from synthetic fibers. But now there is a new innovation, namely FRP which is made from natural fibers. The use of natural fibers as the basis for composite materials can reduce the negative impact on the environment because the manufacturing process is environmentally friendly and renewable when compared to synthetic-based FRP. Some natural fibers that have been explored and researched consist of bamboo fiber, bagasse, hemp, abaca, and several other fibers that have high tensile strength values. The purpose of this study was to examine the characteristics of natural fibers which include tensile strength and the effect of NFRP material on structural reinforcement by externally bonding methods from various references and also to study the failure modes that occur in the test object. Furthermore, it is presented in a literature regarding the bond strength between NFRP material and concrete. There are several studies on bond strength that have been collected and seen various differences between the studies on the bond strength. Most of the composite process is the attachment of composites to the concrete surface by the hand lay-up method.

©2022 Magister Teknik Sipil USK. All rights reserved

## 1. PENDAHULUAN

Menurut Saidi (2021) lekatan secara eksternal digunakan untuk memperkuat struktur beton bertulang yang telah mengalami penurunan kinerja. Penurunan kinerja disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya faktor lingkungan, umur, desain awal yang kurang baik, kejadian-kejadian alam seperti gempa dan lemahnya perawatan. Chen (2001) Lekatan eksternal sudah dilakukan sejak tahun 1960-an. Sebelumnya material yang digunakan sebagai perkuatan adalah pelat baja namun beberapa dekade terakhir material *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) yang digunakan untuk menggantikan pelat baja untuk perkuatan struktur karena sifatnya yang unggul. Zaman (1999) FRP adalah material komposit yang tersusun dari dua material yaitu resin dan serat sebagai perkuatan. Umumnya serat yang digunakan adalah serat sintesis seperti serat karbon, kaca, dan aramid. Pada industri yang modern ini, penggunaan FRP sudah dikenal luas. FRP memiliki kelebihan antara lain memiliki kuat tarik yang tinggi, mudah dibentuk, dan mudah diaplikasikan. Namun, FRP tidak ramah lingkungan karena sulit untuk didaur ulang.

Gowda (1999) karena kelemahan yang dimiliki oleh FRP sehingga muncul sebuah inovasi baru yaitu *Natural Fiber Reinforced Polymer* (NFRP) yang berbahan dasar serat alam. Beberapa serat alam yang dapat dijadikan sebagai material dasar NFRP diantaranya serat pisang, serat rami, serat sisal dan serat kapas. Chin (2020) NFRP memiliki berbagai keunggulan diantaranya dapat mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan karena jumlahnya yang melimpah ruah dan biaya produksi yang ekonomis. Serat alam seperti serat pisang, serat rami, serat sisal dan serat kapas juga bukan merupakan kategori dari limbah yang merusak alam walaupun dalam jumlah yang banyak karena serat-serat tersebut dapat dengan mudah terurai dan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk alami.

Penelitian ini bertujuan untuk melihat karakteristik dari serat alam yang meliputi kuat tarik dan pengaruh material NFRP terhadap perkuatan struktur dengan metode lekatan secara eksternal yang dikutip dari berbagai referensi.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Jenis dan Karakteristik Serat Alam

Vigneshwaran (2020) Pada tahun 1970-an mulai ditemukan berbagai resin dan serat sintetis yang mulai digunakan sebagai material baru yang akan digunakan dalam perubahan dunia konstruksi. Serat yang terdiri dari kaca, gelas dan aramid merupakan serat sintetis yang digunakan sebagai bahan dasar untuk FRP karena berbagai keunggulan yang dimiliki serat sintetis tersebut dalam berbagai aplikasi. Meskipun serat sintetis ini memiliki banyak kelebihan tapi serat sintetis ini tidak dapat terurai dan dapat mengakibatkan masalah lainnya. Oleh karena itu NFRP hadir sebagai alternatif yang dapat menggantikan FRP sebagai perkuatan pada struktur.

Jeyapragash (2020) *Natural Fiber Reinforced Polymer* (NFRP) adalah matrik resin yang diperkuat oleh serat alam. Serat alam yang dipilih untuk dijadikan material dasar NFRP adalah serat alam yang tersedia dengan jumlah yang melimpah diantaranya serat yang berasal dari kulit kayu, batang, daun dan buah. Jenis serat dan jumlah produksinya tercantum pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Jenis Serat Alam dan Jumlah Produksinya (Faruk, 2012)

No	Jenis serat alam	Jumlah produksinya ( $10^3$ )
1	Bambu	30.000
2	Ampas tebu	75.000
3	Rami (jute)	2300
4	kenaf	970
5	Lenan	830
6	Sisal	375
7	Rami (hemp)	214
8	Sabut	100
9	Rami (ramie)	100
10	Abaka	70

Selain jumlahnya yang melimpah dan dapat diperbaharui, serat alam juga memiliki nilai kuat tarik. Kuat tarik yang dimiliki serat alam cukup baik dan dapat digunakan untuk menggantikan serat sintetis seperti serat kaca, karbon dan aramid sebagai bahan dasar perkuatan. Ku (2011) Kuat tarik komposit yang diperkuat serat alam akan meningkat sesuai dengan kandungan serat. Nilai kuat tarik akan meningkat sampai mencapai nilai maksimum kemudian nilai akan menurun. Namun modulus elastisitas dari komposit serat alam akan meningkat dengan meningkatnya pemuatan serat. Gowda (1999) Kekuatan tarik bahan komposit tergantung pada kekuatan dan modulus elastisitas serat, kekuatan perekat dan kekuatan lekatan antara matriks dan serat dalam mentransfer tegangan. Nilai kuat tarik yang dimiliki oleh serat alam tercantum pada Tabel 2.

Faruk (2012) Serat alam yang dijadikan bahan dasar NFRP memiliki beberapa kandungan seperti selulosa, hemiselulosa, lignin dan waxes dengan jumlah kandungan yang berbeda-beda. Semua dinding sel tanaman terdiri dari polimer berbasis gula yaitu selulosa dan hemiselulosa yang dikombinasikan dengan lignin dengan jumlah ekstraktif, protein, pati, dan anorganik yang lebih sedikit. Komponen kimia didistribusikan keseluruh dinding sel, yang terdiri dari lapisan dinding primer dan sekunder. Komposisi kimia bervariasi dari tanaman ke tanaman dan

dalam bagian yang berbeda dari tanaman yang sama. Berdasarkan kandungan selulosa yang tinggi diperoleh kuat tarik serat yang tinggi pula. Komposisi kimia serat alam tercantum pada Tabel 3.

**Tabel 2.** Kuat Tarik dari Serat Alam (Jawaid, 2011)

No	Jenis Serat Alam	Kuat Tarik (MPa)	Modulus Elastisitas (GPa)
1	Lenan	88-1500	60-80
2	Rami (Hemp)	550-900	70
3	Rami (jute)	400-800	10-30
4	Rami (Ramie)	500	44
5	Sabut	220	6
6	Sisal	600-700	38
7	Abaka	980	-
8	Kapas	400	12

**Tabel 3.** Komposisi Kimia Serat Alam (Faruk, 2012)

No	Serat Alam	Selulosa (wt%)	Hemiselulosa (wt%)	Lignin (wt%)	Waxes (wt%)
1	Bambu	26-43	30	21-31	-
2	Lenan	71	18,6-20,6	2,2	1,5
3	Rami (jute)	61-71	14-20	12-13	0,5
4	Rami (Hemp)	68	15	10	0,8
5	Rami (Ramie)	68,6-76,2	13-16	0,6-0,7	0,3
6	Abaka	56-63	20-25	7-9	3
7	Sisal	65	12	9,9	2
8	Sabut	32-43	0,15-0,25	40-45	-
9	Nanas	81	-	12,7	-

## 2.2 Jenis dan Karakteristik Perekat

Holbery (2006) Beberapa jenis perekat yang biasanya digunakan diberbagai aplikasi otomotif, infrastruktur, listrik dan kelautan diantaranya epoksi, poliester dan vinil ester. Epoksi merupakan perekat yang sangat efektif untuk digunakan sebagai perekat dan sebagai laminating untuk sebagian besar aplikasi dalam dunia konstruksi. Bahkan epoksi memiliki sifat mekanik yang lebih unggul dibandingkan dengan poliester. Perekat vinyl ester mempunyai daya rekat yang sangat baik untuk diaplikasikan di berbagai macam serat. Karakteristik dari masing-masing perekat tercantum pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Karakteristik Perekat untuk Serat Alam (Holbery, 2006)

No	Properti	Poliester	Vinyl ester	Epoksi
1	Kepadatan	1,2 – 1,5	1,2 – 1,4	1,1-1,4
2	Modulus elastisitas	2 – 4,5	3,1 – 3,8	3-6
3	Kuat Tarik	40 - 90	69 - 83	35 – 100
4	Kuat tekan	90 - 250	100	100 - 200
5	Pemanjangan (%)	2	4-7	1-6
6	Pengaruh susut (%)	4-8	N/A	1-2
7	Penyerapan air (24 h@20°C)	0,1-0,3	0,1	0,1-0,4

## 2.3 Kuat Lekatan Material NFRP dengan Beton

Kotynia (2006) Salah satu cara perkuatan pada struktur adalah dengan melekatkan secara eksternal komposit pada permukaan beton. lekatan eksternal dari lembaran komposit untuk perkuatan pada struktur beton bertulang sudah menjadi metode yang sangat populer beberapa tahun terakhir. Hal ini disebabkan karena komposit memiliki berbagai kelebihan diantaranya ketahanan terhadap korosi yang baik dan mudah untuk diaplikasikan.

## 2.4 Model Persamaan Kuat Lekatan

Monti (2003) mempertimbangkan zona beton yang tidak retak dan retak. Untuk beton yang tidak, panjang lekatan efektif digunakan dan dimodelkan regangan pada area lekatan sepanjang pengangkuran. Untuk zona beton yang retak, model yang digunakan dihitung berdasarkan rasio antara lebar material NFRP serat rami dan beton serta kekuatan tarik beton. Persamaan Monti (2003) dapat dilihat dibawah ini

$$\tau_{max} = 1,8\beta_w f_t \quad (1)$$

$$\beta_w = \sqrt{\frac{1.5(2-\frac{b_f}{b_c})}{1+b_f/100}} \quad (2)$$

Keterangan:

$\tau_{max}$  : kuat lekatan

$\beta_w$  : rasio lebar

$f_t$  : kuat tarik beton

$b_f$  : lebar FRP

$b_c$  : lebar beton bertulang

Dai dan Ueda (2003) menemukan bahwa peningkatan kekakuan FRP dan kekakuan geser perekat mempengaruhi peningkatan kinerja FRP yang terikat pada beton. Hal ini mengarah pada efisiensi penggunaan bahan FRP dengan kekuatan tinggi. Untuk lembaran NFRP serat alam yang direkatkan kebeton, kuat tekan semen diperhitungkan dengan kekakuan geser perekat sehingga terjadinya retak permukaan. Modulus elastisitas dan ketebalan NFRP termasuk dalam model. Parameter yang bersangkutan dalam model adalah energi rekahan dan dua konstanta empiris lainnya. Persamaan kekuatan ikatan mereka adalah sebagai berikut

$$\tau_{max} = \frac{-1,575\alpha K_a + \sqrt{2,481\alpha^2 K_a^2 + 6,3\alpha\beta^2 K_a G_f}}{2\beta} \quad (3)$$

$$\beta = 0,0035 K_a (E_f t_f / 1000)^{0,34} \quad (4)$$

$$\alpha = 0,028 (E_f t_f / 1000)^{0,254} \quad (5)$$

$$K_a = G_a / t_a \quad (6)$$

$$G_a = \frac{E_a}{2(1+\gamma_a)} \quad (7)$$

$$G_f = 7,554 K_a^{-0,449} (f'_c)^{0,343} \quad (8)$$

Keterangan:

$\tau_{max}$  : kuat lekatan

$K_a$  : kekakuan geser lapisan perekat

$\alpha$  dan  $\beta$  : konstanta empiris

$G_f$  : fraktur antarmuka antara material FRP dengan semen (MPa)

$E_f$  : Modulus elastisitas FRP (MPa)

$t_f$  : tebal FRP (mm)

$G_a$  : modulus geser perekat (MPa)

$E_a$  : Modulus elastisitas perekat (MPa)

$t_a$  : tebal perekat (mm)

$\gamma_a$  : rasio poisson perekat

$f'_c$  : kuat tekan beton (MPa)

Holzenkämpfer (1994) menyelidiki tentang kuat lekatan antara pelat baja dan beton menggunakan analisis mekanika fraktur nonlinier (NLFM) yang menghasilkan persamaan seperti di bawah ini:

$$P_u = 0,78b_p \sqrt{2G_f E_p t_p} \quad \text{if } L \geq L_e$$

$$0,78b_p \sqrt{2G_f E_p t_p} \frac{L}{L_e} \left(2 - \frac{L}{L_e}\right) \quad \text{if } L < L_e \quad (9)$$

$$L_e = \sqrt{\frac{E_p t_p}{4f_{ctm}}} \quad (mm) \quad (10)$$

$$G_f = c_f k_p^2 f_{ctm} \text{ (N.mm/mm}^2\text{)} \quad (11)$$

$$k_p = \sqrt{1,125 \frac{2-b_p/b_c}{1+b_p/400}} \quad (12)$$

Keterangan:

- $P_u$  : kuat lekatan (MPa)
- $b_p$  : lebar dari pelat FRP (mm)
- $G_f$  : fraktur antarmuka antara material FRP dengan semen (MPa)
- $E_p$  : Modulus elastisitas pelat (MPa)
- $t_p$  : ketebalan dari pelat FRP (mm)
- $L$  : panjang lekatan (mm)
- $L_e$  : panjang lekatan efektif (mm)
- $f_{ctm}$  : kekuatan tarik permukaan beton (MPa)
- $c_f$  : koefisien energi fraktur
- $k_p$  : koefisien geometris (4d)
- $b_c$  : lebar beton (mm)

Neubauer dan Rostasy (1997) melakukan modifikasi dari persamaan Holzenkämpfer menjadi sebuah persamaan baru yang meneliti tentang kuat lekatan antara *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) dengan beton serta pelat baja dengan beton yang dilakukan pengujian geser ganda. Disimpulkan bahwa persamaan ini dapat digunakan untuk pengujian yang benda ujinya mengalami mode kegagalan pada beton dan delimitasi FRP.

$$P_u = \begin{cases} 0,64k_p b_p \sqrt{E_p t_p f_{ctm}} & \text{if } L \geq L_e \\ 0,64k_p b_p \sqrt{E_p t_p f_{ctm}} \frac{L}{L_e} \left(2 - \frac{L}{L_e}\right) & \text{if } L < L_e \end{cases} \quad (13)$$

$$L_e = \sqrt{\frac{E_p t_p}{2f_{ctm}}} \quad (14)$$

Keterangan

- $f_{ctm}$  : kekuatan tarik permukaan beton (MPa)
- $c_f$  : koefisien energi fraktur
- $k_p$  : koefisien geometris (4d)
- $G_f$  : energi fraktur (MPa)
- $E_p$  : Modulus elastisitas pelat (MPa)
- $t_p$  : ketebalan dari pelat FRP (mm)
- $b_p$  : lebar dari pelat FRP (mm)

Persamaan yang dikutip dari Taljsten (1994) seperti di bawah ini

$$P_u = \sqrt{\frac{2E_p t_p G_f}{1 + \alpha_T}} b_p \quad (15)$$

$$\alpha_T = \frac{E_p t_p}{E_c t_c} \quad (16)$$

Keterangan:

- $G_f$  : energi fraktur (MPa)
- $E_p$  : Modulus elastisitas pelat FRP (MPa)
- $t_p$  : ketebalan dari pelat FRP (mm)
- $b_p$  : lebar dari pelat FRP (mm)

- $\alpha_T$  : koefisien  
 $E_c$  : Modulus Elastisitas Beton (MPa)  
 $t_c$  : ketebalan beton (mm)

Namun, karena kesulitan dalam mengakses tesis yang ditulis oleh Taljsten (1994) sehingga tidak jelas bagaimana cara menghitung variabel dari  $G_f$ . Yuan dan Wu (1999) dan Yuan (2001) mempelajari tentang kuat lekatan antara FRP dengan beton bertulang dan menghasilkan sebuah persamaan kuat lekatan yang sama seperti persamaan 2.7. Namun adanya penambahan koefisien lebar dari FRP dan beton bertulang sehingga  $\alpha_T$  pada persamaan 2.8 diganti menjadi  $\alpha_\gamma$  yang dapat dilihat seperti di bawah ini:

$$P_u = \sqrt{\frac{2E_p t_p G_f}{1 + \alpha_\gamma}} b_p \quad (17)$$

$$\alpha_\gamma = \frac{b_p E_p t_p}{b_c E_c t_c} \quad (18)$$

Keterangan:

- $G_f$  : energi fraktur (MPa)  
 $E_p$  : Modulus elastisitas pelat FRP (MPa)  
 $t_p$  : ketebalan dari pelat FRP (mm)  
 $b_p$  : lebar dari pelat FRP (mm)  
 $\alpha_\gamma$  : koefisien  
 $E_c$  : Modulus Elastisitas Beton (MPa)  
 $t_c$  : ketebalan beton (mm)

Menurut Chen dan Teng (2001) beberapa persamaan yang menggunakan variabel energi fraktur tidak dapat digunakan karena rumus untuk mendapatkan nilainya tidak tersedia. Terdapat persamaan yang tidak dapat digunakan untuk desain praktis yang aman karena tidak memperhitungkan nilai panjang lekatan efektif dengan baik. Selain itu, kekurangan dari persamaan lainnya adalah penggunaan variabel kekuatan tarik permukaan beton yang memerlukan pengujian khusus untuk mendapatkan nilainya dan banyak penelitian tidak melakukan pengujian tersebut. Karena beberapa kekurangan dari model-model diatas sehingga dibutuhkan pengembangan model baru yang lebih baik dalam memprediksi kuat lekatan untuk semua jenis bahan komposit serta dapat digunakan untuk desain praktis yang sederhana yang juga memperhitungkan nilai panjang lekatan efektif yang baik. Persamaan tersebut merupakan persamaan yang dikutip dari Chen & Teng (2001). Persamaan ini sangat cocok digunakan untuk desain praktis karena menggunakan nilai dari kuat tekan beton yang tersedia dalam banyak kasus. Persamaannya sebagai berikut:

$$P_u = 0,427 \beta_p \beta_L \sqrt{f'_c b_p L_e} \quad (19)$$

$$L_e = \sqrt{\frac{E_p t_p}{\sqrt{f'_c}}} \quad (20)$$

$$\beta_p = \sqrt{\frac{2 - b_p/b_c}{1 + b_p/b_c}} \quad (21)$$

$$\beta_L = 1 \text{ if } L \geq L_e ; \beta_L = \sin \frac{\pi L}{2L_e} \text{ if } L \leq L_e \quad (22)$$

Sebuah modifikasi dari persamaan Chen dan Teng (2001) yang dijelaskan oleh Diab (2014). Modifikasi ini dilakukan karena persamaan Chen dan Teng (2001) yang dijelaskan pada persamaan 19 tidak dapat memprediksi nilai kuat lekatan untuk kasus FRP yang dilekatkan pada beton menggunakan perekat fleksibel. Studi ini menegaskan bahwa jenis lapisan perekat sangat mempengaruhi peningkatan kapasitas lekatan antara FRP dengan beton bertulang. Oleh karena itu, jenis lapisan perekat harus dipertimbangkan

sehingga sebuah persamaan hadir dengan tambahan variabel baru yang mempertimbangkan jenis lapisan perekat yang dapat dilihat seperti dibawah ini

$$P_u = 0,427\beta_b\beta_L\beta_f L_e \sqrt{\beta_a f'_c} \quad (23)$$

$$L_e = \sqrt{\frac{E_f t_f}{\beta_a^2 \sqrt{f'_c}}} \quad (24)$$

$$\beta_b = \sqrt{\frac{2-b_f/b_c}{1+b_f/b_c}} \quad (25)$$

$$\beta_L = 1 \text{ if } L \geq L_e ; \beta_L = \sin \frac{\pi L}{2L_e} \text{ if } L \leq L_e \quad (26)$$

$$\beta_a = \sqrt{\frac{E_a}{2,45}} \quad (27)$$

Keterangan:

- $P_u$  : kuat lekatan (N)  
 $E_f$  : modulus elastisitas FRP (N/mm<sup>2</sup>)  
 $E_a$  : modulus elastisitas perekat (GPa)  
 $t_f$  : tebal lembaran FRP (mm)  
 $b_f$  : lebar lembaran FRP (mm)  
 $f'_c$  : kuat tekan beton (N/mm<sup>2</sup>)  
 $b_c$  : lebar balok (mm)  
 $L_e$  : panjang efektif lekatan (mm)  
 $L$  : panjang lekatan (mm)  
 $b_c$  : lebar beton (mm)  
 $\beta_b, \beta_L, \beta_a$  : koefisien

## 2.5 Mode Kegagalan

Chen (2001) Beberapa mode kegagalan yang terjadi setelah dilakukan pengujian pada FRP atau pelat baja yang dilekatkan pada beton bertulang diantaranya:

1. Kegagalan pada beton
2. Kegagalan tarik pada pelat termasuk pecah FRP dan leleh baja
3. Kegagalan perekat
4. Kegagalan antara beton ke perekat
5. Kegagalan antara pelat dan perekat

## 3. METODE PENELITIAN

Beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya mengenai pengaruh lekatan material komposit FRP terhadap perkuatan dan metode lekatan antara FRP dengan beton diantaranya seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Diab (2014) yang mempelajari tentang kuat lekatan dan panjang lekatan efektif. Komposit dilekatkan pada beton menggunakan perekat epoksi fleksibel dan kaku yang memiliki modulus elastisitas yang tinggi. Pada penelitian ini, benda uji yang digunakan memiliki dimensi 100x100x200 mm<sup>3</sup> dan 100x100x250 mm<sup>3</sup>. Kedua beton dihubungkan dengan menggunakan strip lembaran dari FRP yang dilekatkan secara eksternal pada sisi bawah dan atas beton. Selanjutnya baja dengan diameter 22 mm ditambahkan dibagian tengah penampang. Beton yang akan ditempelkan material komposit sebelumnya telah dikasarkan terlebih dahulu menggunakan penggiling mekanis untuk memudahkan penempelan komposit pada permukaan beton. Kemudian permukaan beton dilapisi dengan perekat kaku atau fleksibel. Selanjutnya ditempelkan satu persatu lapisan FRP pada beton menggunakan perekat yang sama. Dua jenis lembaran FRP yang digunakan yaitu serat *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) dan *Basalt Fiber Reinforced Polymer* (BFRP). FRP yang digunakan sebagai perkuatan terdiri dari

1, 2 dan 3 lapisan FRP. Salah satu beton yang digunakan ditambahkan angkur untuk mencegah terjadinya slip pada lembaran FRP saat dilakukan pengujian. Sedangkan pada beton lainnya yang telah ditempelkan FRP ditambahkan *strain gauge* untuk mengukur regangan yang terjadi. Selanjutnya diberikan beban tarik pada kedua sisi baja tulangan untuk melihat kuat lekatan antara lembaran FRP dengan beton. Detail benda uji dapat dilihat pada Gambar 1.

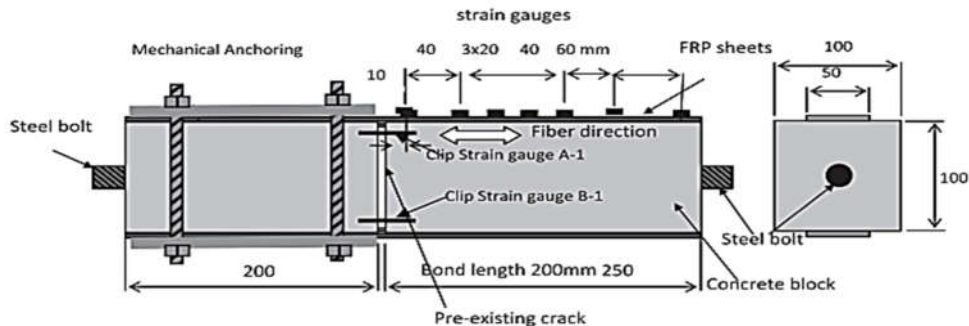


Fig. 1. Specimen details and instrumentation.

### Gambar 1 Benda Uji Kuat Lekatan

Sumber : Diab (2014)

Selain itu, penelitian mengenai kuat lekatan juga dilakukan oleh Yinh (2021) dengan menggunakan serat sisal sebagai bahan dasar untuk material komposit sebagai perkuatan. Benda uji yang digunakan yaitu kolom dengan dimensi 100 mm x 200 mm dan balok dengan dimensi 100 mm x 100 mm x 500 mm tanpa tulangan dengan menggunakan resin epoksi dan poliester. Jumlah lapisan yang digunakan diantaranya 1 dan 2 lapis FRP serat sisal. Sedangkan benda uji lainnya yaitu balok beton bertulang dengan dimensi 120 mm x 180 mm x 1460 mm yang juga diperkuat dengan FRP serat sisal dengan jumlah lapisan yaitu 2 dan 4 lapis dengan tambahan angkur. Saat dilakukan pembebanan pada benda uji, digunakan LVDT untuk melihat deformasi aksial dan lateral beton. Selama pengujian dilihat mode kegagalan dan tampilan retakan. Pada balok beton bertulang dipasang angkur untuk mencegah terjadinya delaminasi komposit FRP serat sisal. Pada benda uji kolom FRP dilekatkan secara keseluruhan pada permukaan kolom yang sebelumnya telah diolesi perekat. Sedangkan untuk benda uji balok dan balok beton bertulang FRP serat sisal hanya dilekatkan pada dua sisi saja yaitu sisi kiri dan kanan pada beton yang sebelumnya juga sudah diolesi perekat. FRP serat sisal ditempelkan satu persatu lapisan pada beton menggunakan perekat yang sama. FRP serat sisal dilekatkan dengan metode *hand lay-up* seperti yang terlihat pada Gambar 2-4.

Jirawattanasomkul (2019) melakukan sebuah penelitian untuk melihat kuat lekatan antara NFRP serat alam dengan beton bertulang. NFRP yang digunakan tersusun dari serat rami dan benda uji beton bertulang. Beton bertulang yang digunakan sebelumnya telah dilakukan perawatan selama 28 hari, untuk melihat kuat tekan digunakan beton silinder. Benda uji control mutu yang berbentuk beton silinder diuji untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton dan diperoleh nilai kuat tekan beton rata-rata sekitar 33 MPa. Benda uji yang digunakan sebanyak 15 benda uji dengan dimensi 100x200 mm. Sebelum dilakukan pelekatan NFRP serat rami, permukaan beton dibersihkan untuk menghilangkan lapisan mortar yang ada pada benda uji. Komposit NFRP yang dilekatkan pada beton memiliki lebar 50 mm dan panjang lekatan 200 mm. Pada benda uji ada bagian yang tidak terikat sepanjang 50 mm yang berguna untuk menghindari konsentrasi tegangan dititik awal. Pada permukaan benda uji yang telah dilekatkan komposit NFRP serat rami dipasang *strain gauge* dengan jarak 10 mm didaerah yang terikat untuk melihat regangan yang terjadi.





**Gambar 2.** Penempelan FRP serat sisal pada benda uji silinder  
Sumber : Yinh (2021)

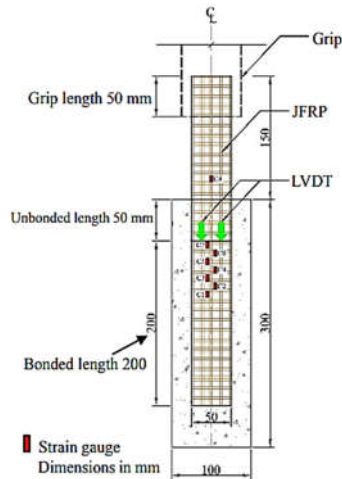


**Gambar 3.** Penempelan FRP serat sisal pada benda uji balok  
Sumber : Yinh (2021)



**Gambar 4** Penempelan FRP serat sisal pada benda uji balok beton bertulang  
Sumber : Yinh (2021)

Selain *strain gauge*, juga dipasang *Linear Variable Differential Transducer (LVDT)* yang dipasang pada titik awal area lekatan untuk mengukur slip ujung yang dibebani antara beton dan lembaran NFRP. Digunakan perekat epoksi dengan 2 tipe yaitu epoksi dengan kinerja normal (NP) dan epoksi dengan kinerja tinggi (HP). Pengujian kuat lekatan dilakukan menggunakan alat *Universal Testing Machine (UTM)* dengan tingkat pembebanan 0,2 mm/menit. Rincian benda uji tercantum pada Gambar 5.

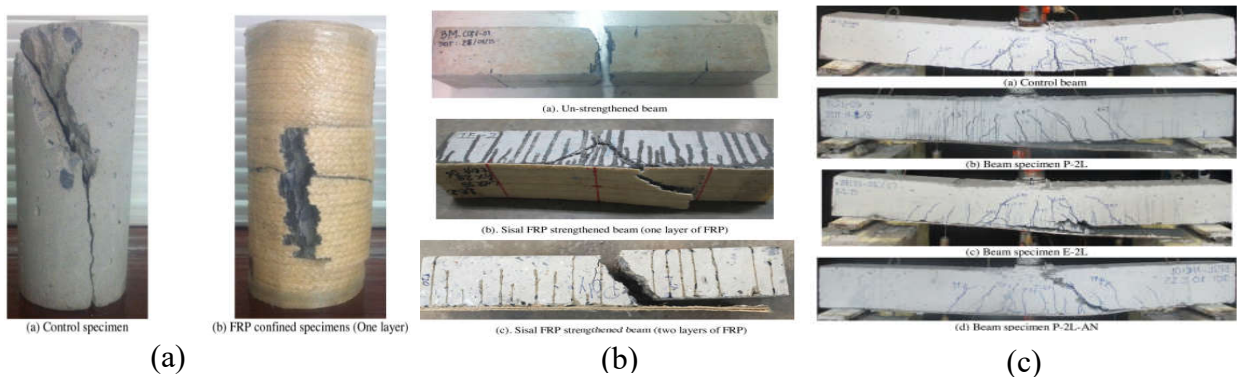


**Gambar 5.** Benda uji kuat lekatan  
 Sumber : Jirawattanasomkul (2019)

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan Diab (2014) diperoleh bahwa perekat fleksibel meningkatkan panjang lekatan efektif dan kekuatan lekatan lembaran FRP dibandingkan dengan perekat kaku yang digunakan. Selain itu juga dibuktikan dari hasil perbandingan nilai kuat lekatan yang dihitung dengan persamaan Cheng dan Teng yaitu pada persamaan (19) dan persamaan Diab yaitu pada persamaan (23) yang menunjukkan bahwa persamaan Diab (2014) jauh lebih baik untuk digunakan dalam menghitung nilai kuat lekatan antara FRP dengan beton karena mempertimbangkan jenis perekat yang digunakan.

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Yinh (2021), seperti diperlihatkan Gambar 6, diperoleh hasil bahwa mode kegagalan yang terjadi pada benda uji yang diperkuat dengan FRP serat sisal adalah pecahnya FRP untuk FRP serat sisal 1 lapis dan delaminasi FRP serat sisal 2 lapis disebabkan oleh perambatan retak yang tiba-tiba disepanjang permukaan beton dan FRP serat sisal. Sedangkan untuk peningkatan kekuatannya, pengaruh dari penambahan lapisan dari NFRP serat sisal sangat signifikan dalam meningkatkan kekuatan dari benda uji.



**Gambar 6.** (a) Mode kegagalan pada kolom, (b) Mode kegagalan balok, (c) Mode kegagalan pada balok beton bertulang

Sumber : Yinh (2021)

Penelitian yang telah dilakukan oleh Jirawattanasomkul (2019) diperoleh hasil bahwa mode kegagalan yang terjadi pada benda uji yang diperkuat dengan FRP serat rami diantaranya untuk benda uji yang diperkuat dengan FRP serat rami 2 lapis adalah kerusakan FRP serat rami sedangkan untuk benda uji yang diperkuat dengan lebih banyak lapisan FRP serat rami terjadi mode kegagalan delimitasi FRP dan kegagalan beton. Pertambahan jumlah lapisan FRP serat rami dapat meningkatkan kekuatan lekatan. Sedangkan untuk 2 tipe perekat yang digunakan diperoleh bahwa resin epoksi dengan kinerja tinggi memiliki nilai kekakuan yang tinggi. Hal ini juga mempengaruhi kekuatan lekatan sehingga dapat diketahui bahwa penambahan lapisan FRP serat rami dan kekakuan perekat yang tinggi dapat meningkatkan kekuatan lekatan secara signifikan.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

NFRP serat alam dapat dijadikan alternatif untuk menggantikan FRP sintetis karena memiliki berbagai kelebihan diantaranya jumlahnya yang melimpah, memiliki kuat tarik yang tinggi dan ekonomis. Beberapa jenis serat yang dapat dijadikan bahan dasar NFRP diantaranya abaka, rami, lenan dan nanas. Dari beberapa literatur yang telah dikumpulkan yang telah dilakukan penelitian mengenai kuat lekatan antara material komposit dengan beton. Beberapa literatur yang telah dikumpulkan dapat disimpulkan bahwa untuk melekatkan komposit pada beton menggunakan cara *hand lay-up* dengan cara satu per satu lapisan dari FRP yang digunakan direkatkan pada beton. Penambahan angkur pada beberapa benda uji dengan tujuan yang berbeda yaitu pada penelitian Diab (2014) angkur digunakan untuk mencegah terjadinya slip pada lembaran FRP saat dilakukan pengujian sedangkan pada penelitian Yinh (2021) angkur digunakan untuk mencegah terjadinya delimitasi komposit FRP. Regangan yang terjadi pada benda uji pada penelitian Diab (2014) diukur dengan *strain gauge* sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Yinh (2021) regangan diukur dengan LVDT.

Saran untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya adalah agar kedepannya lebih banyak penelitian mengenai pengujian kuat lekatan antara NFRP serat alam dengan beton serta diperoleh persamaan khusus yang dapat digunakan untuk memperhitungkan nilai kuat lekatan antara material NFRP dengan beton.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro A T 2012 *Pengaruh variasi serat abaka terhadap susut plastis fly ash-based geopolymer mortar*. Thesis, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
- ASTM D3039 2014 *Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Baan, R A., Grosse, Y. 2004. *Man-made mineral (vitreous) fibres : evaluations of cancer hazard by the IARC monographs programme*. Mutation Research 553, pp. 43-58.
- Caggiano, Antonio., Martinelli, E., Faella, C. 2012. A fully-analytical approach for modelling the response of FRP plates bonded to a brittle substrate. *International Journal of Solids and Structures*. 49, pp. 2291-2300.
- Chen, J.F., Teng, J. G. 2001. *Anchorage strength models for FRP and steel plates bonded to concrete*.
- Chin, S C., Tong, F S., Doh, S I., Lim, K S., Gimbin, J. 2020. Effect of soil burial on mechanical properties of bamboo fiber reinforced epoxy composites. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. Universitas Malaysia Pahang. 736.
- Diab, H M. 2013. Performance of different types of FRP sheets bonded to concrete using adhesive. *TOJSAT : The Online Journal of Science and Technology*, 3 (2).
- Diab, H. M., Farghal, O.A. 2013. Bond strength and effective bond length of FRP sheets/plate bonded to concrete considering the type of adhesive layer. *The Online Journal of Science and Teknologi.. Assiut University, Egypt*. 58, pp. 618-624
- Faruk, O., Bledzki, A K., Fink, H P., Sain, M. 2012. *Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010*. Progress in Polymer Science. 37, pp. 1552-1596
- G. Monti, M. Renzelli, P. Luciani. 2003. *FRP adhesion in uncracked and cracked concrete zones*. Fibre-Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures. p. 183-192.

- Gowda, T.M., Naidu, A.C.B., Chaya, R. 1999. *Some mechanical properties of untreated jute fabric-reinforced polyester composites*. Composites. Part A 30, pp. 277-284.
- Hasan, M., Saidi, T., Amalia, Z., Salsabila, S. 2021. Pengaruh jenis serat alam natural fiber reinforced polymer (NFRP). Banda Aceh. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 15*.
- Holbery J, Houston D. 2006. *Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications*. JOM. 58(11), pp. 80–6
- Holzenkämpfer, O. 1994. *Engineering models of bonded reinforcement for concrete components*. Dissertation, TU Braunschweig
- Jawaid, M., Khalil, H.P.S Abdul. 2011. *Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composit : a review*. Carbohydrate Polymers. 86, pp. 1-18.
- Jeyapragash, R., Srinivasan, V., Sathiyamurthy. 2020. Mechanical properties of natural fiber/particulate reinforced epoxy composites – a review of the literature. *Materials Today : Proceedings*. 22, pp. 1223-1227.
- JG. Dai, T. Ueda. 2003. Local bond stress slip relations for FRP sheets-concrete interfaces. *Proceeding of 6th international symposium on FRP reinforcement for concrete structures*. Singapore: World Scientific Publications. pp.143-152.
- KOTYNIA, R. 2006. *Debonding phenomena in FRP – strengthened concrete members*. Poland. Proc. Int. Symp. Brittle Matrix Composites 8.
- Ku, H., Wang, H., Pattarachaiyakoop, N., Trada, M. 2011. *A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites*. Composites: Part B 42, pp. 856-873
- Mohammed, L., Ansari, M.N.M., Pua, G., Jawaid, M., Islam, M.S. 2015. A review on natural fiber reinforced polymer composite and its applications. Malaysia. *International Journal of Polymer Science*.
- Neubauer, U., Rosta'sy, F. S. 1997. Design aspects of concrete structures strengthened with externally bonded CFRP plates. *Proc., 7th Int. Conf. on Struct. Faults and Repairs, ECS Publications, Edinburgh, Scotland*, 2, 109–118.
- Saidi, T., Amalia, Z., Hasan, M. Hasanuddin, I., Setiawan, K. 2021. Number of layer effect of abaca fiber as natural FRP material for shear-strengthened reinforced concrete beam. Banda Aceh. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Saidi, T., Hasan, M., Amalia, Z., Bakri, N.S.A. 2021. Kapasitas maksimum balok beton bertulang yang diperkuat dengan natural fiber reinforced polymer berbahan serat abaka.. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 15*. Banda Aceh.
- Saidi, T., Hasan, M., Amalia, Z., Joda, R.R. 2021. Pengaruh jenis perekat natural fiber reinforced polymer (NFRP) terhadap kapasitas maksimum perkuatan balok beton bertulang. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 15*. Banda Aceh.
- Sebastian, W M. 2001. *Significance of midspan debonding failure in FRP-plated concrete beams*. J. Struct. Eng. 127, pp. 792-798.
- T, Jirawattanasomkul., S. Marin., T, Ueda., JG, Dai., S, Likitlersuang., N, Kongwang., N, Wuttiwannasak. 2019. Bond behavior between concrete and jute fiber reinforced polymer laminates by the single-lap shear method. *The 3<sup>rd</sup> ACF Symposium Assessment and Intervention of Existing Structures*.
- Taljsten, B. 1994. *Plate bonding: strengthening of existing concrete structures with epoxy bonded plates of steel or fibre reinforced plastics*. Doctoral thesis, Lulea University of Technology, Sweden.
- Thomsen, H., Spacone, E., Limkatanyu, S., Camata, G. 2004. *Failure mode analyses of reinforced concrete beams strengthened in flexure wih externally bonded fiber-reinforced polymers*. J. Compos. Constr. 8, pp. 123-131.
- Tong F S, Chin S C, Doh S I, Gim bun J. 2017. Natural fiber composites as potential external strengthening material – a review. *Indian J. Sci. Technol.* 10 (2), pp. 1-5.

- Vigneshwaran, S., Sundarakannan, R., John, K.M., Johnson, R. Deepak Joel., Prasath, K. Arun., Ajith, S., Arumugaprabu, V., Uthayakumar, M. 2020. Recent *Advancement in The Natural Fiber Polymer Composites : A Comprehensive Review*. Journal of Cleaner Production. 277.
- Wu, Y., Zhou, Z., Yang, Q., Chen, W. 2010. *On Shear Bond Strength of FRP-Concrete Structures*. Engineering Structures 32, pp. 897-905.
- Wu, Yu-Fei., Xu, Xin-Sheng., Sun, Jia-Bin., Jiang, Cheng. 2012. *Analytical Solution for The Bond Strength of Externally Bonded Reinforcement*. Composite Structures 94, pp. 3232-3239.
- Wu, Z., Islam. S. M., Said, H. 2009. A three parameter bond strength model for FRP concrete interface. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 28 (19).
- Yuan, H., Wu, Z. S., and Yoshizawa, H. 2001. *Theoretical solutions on interfacial stress transfer of externally bonded steel/composite laminates*. J. Struct. Mech. and Earthquake Engrg., Tokyo.
- Zaman, A., Gutub, S.A., Wafa, M.A. 2014. A review on FRP composites applications and durability concerns in the construction sector. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*.