

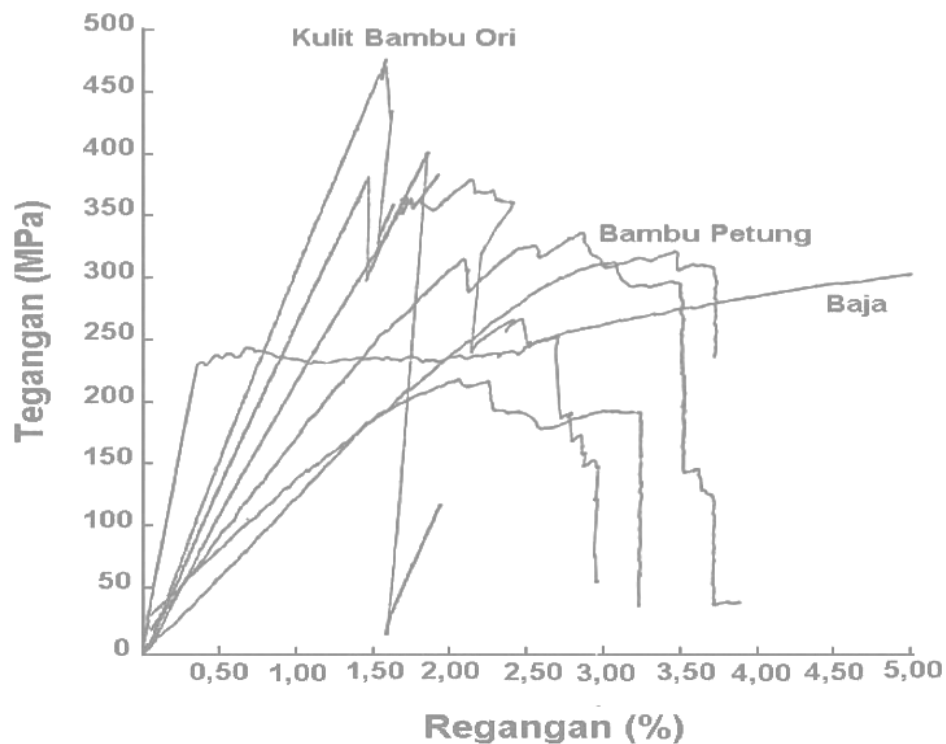
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Penggunaan bambu sebagai material alternatif tulangan baja pada beton bertulang dengan pertimbangan nilai ekonomis dan kekuatan yang dapat mendekati atau lebih besar dari baja dapat diteliti dan dikembangkan. Penelitian yang telah dilakukan oleh Kahre (2005), Morisco (1999), dan peneliti lainnya mendapatkan hasil bahwa bambu sangat potensial sebagai material alternatif tulangan baja pada beton bertulang.

2.1 Bambu Petung sebagai Pengganti Tulangan Baja

Bambu petung (*Dendrocalamus asper*) dikenal sebagai jenis bambu berukuran besar. Secara alami tersebar luas mulai dari Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Bali, Lombok, Kepulauan Nusa Tenggara sampai Maluku. Tumbuh baik di tempat-tempat yang tinggi, > 300 m di atas permukaan laut, berbukit dan beriklim basah (Verhoef, 1957; Sastrapradja., et al, 1977; Sutiyono, 1987; 1988; dalam Morisco, 1999). Bambu petung memiliki ukuran yang besar, dengan diameter batang bawah dapat mencapai 26 cm, panjang ruas berkisar antara 40-60 cm, tebal dinding 15-20 mm, dan tinggi batang mencapai 25 m. Sehingga batang bambu petung dapat dibelah dan dibentuk seperti tulangan untuk beton bertulangan.

Morisco (1999) melakukan pengujian kuat tarik Bambu Ori (*Bambusa Blumeana*), Bambu petung (*Dendrocalamus asper Back.*), dan jenis bambu lainnya terhadap kuat tarik baja tulangan. Hasil yang didapatkan adalah kuat tarik bambu Ori cukup tinggi yaitu hampir mencapai 500 MPa, atau sekitar dua kali tegangan luluh baja. Hasil pengujian kuat tarik rata-rata bambu petung juga lebih tinggi dari tegangan luluh baja, yaitu dapat mencapai 300 MPa. Data hasil pengujian yang dilakukan Morisco (1999) dapat dilihat pada Gambar 2.1 Grafik Tegangan-Regangan Bambu dan Baja



Gambar 2.1 Grafik Tegangan-Regangan Bambu dan Baja
(Sumber: Morisco, 1999)

2.2 Kuat Lekat antara Tulangan Bambu dan Beton

Istimawan (1994) menyatakan salah satu dasar anggapan yang digunakan dalam perancangan dan analisis struktur beton bertulang adalah ikatan antara tulangan dan beton yang mengelilinginya berlangsung sempurna tanpa terjadi pergeseran. Berdasarkan anggapan tersebut dan juga sebagai akibat lebih lanjut, pada waktu komponen struktur beton bertulang bekerja menahan beban akan timbul tegangan lekat yang berupa *shear interlock* pada permukaan singgung antara batang tulangan dan beton.

Sunarmasto (2007) melakukan pengujian kuat lekat tulangan baja polos dan tulangan baja ulir terhadap beton pada beton bertulang. Hasil dari penelitian tersebut adalah nilai kekuatan lekat tulangan baja berkisar di antara 1,9-7 MPa. Besar nilai kuat lekat tulangan baja yang diuji dipengaruhi oleh diameter tulangan, jenis tulangan baja yang digunakan, dan kekuatan beton yang digunakan. Berikut merupakan hasil pengujian kuat lekat tulangan baja polos dan tulangan baja ulir terhadap beton yang dilakukan oleh Sunarmasto (2007) pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kuat Lekat Baja Polos dan Ulir Terhadap Beton

Diameter Baja (mm)	Tulangan Baja Polos		Tulangan Baja Ulir	
	P maksimum rerata (N)	Tegangan Lekat (MPa)	P maksimum rerata (N)	Tegangan Lekat (Mpa)
8	6000	1,958	6150	5,150
10	14787	3,267	17225	6,962
12	21520	3,279	34500	6,202
16	26470	2,665	50100	5,051
19	36150	2,811	50375	4,326

(Sumber: Sunarmasto, 2007)

Penelitian yang dilakukan menggunakan tulangan baja polos (BJTP) dan tulangan baja ulir (BJTS) dengan diameter 8 mm, 10 mm, 12 mm, 16 mm, dan 19 mm. Sedangkan proporsi campuran beton yang digunakan adalah dengan perbandingan semen, pasir, dan kerikil berturut-turut adalah 1:2:3 dengan fas (faktor air semen) 0,48. Hasil dari pengujian yang dilakukan oleh Sunarmasto (2007) adalah kekuatan lekat tulangan baja polos (BJTP) terhadap beton adalah sebesar 1,958-3,279 MPa. Sedangkan kekuatan lekat tulangan baja ulir (BJTS) terhadap beton adalah sebesar 4,326-6,962 MPa.

Menurut Youngsi Jung (2006) kelayakan penggunaan bambu sebagai pengganti tulangan baja harus dievaluasi melalui uji kuat cabut tulangan bambu terhadap beton (*pull-out test*). Penelitian-penelitian kuat lekat antara tulangan bambu dan beton telah banyak dilakukan untuk mengetahui kelayakan bambu sebagai pengganti tulangan baja. Namun, hasil yang didapat dari pengujian-pengujian tersebut adalah nilai kuat lekat antara tulangan bambu dan beton lebih rendah dari tulangan baja.

Penggunaan bambu sebagai tulangan longitudinal pada beton bertulang memiliki permasalahan utama, yaitu nilai kuat lekat tulangan bambu terhadap beton yang rendah. Nilai kuat lekat tulangan bambu terhadap beton yang rendah disebabkan oleh sifat higroskopis bambu yang tinggi dan permukaan bambu yang polos (tidak berulir), tidak seperti tulangan baja.

2.2.1 Sifat higroskopis bambu

Sifat higroskopis bambu adalah kemampuan penyerapan dan pelepasan kadar air pada batang bambu di udara. Sifat higroskopis akan mempengaruhi kembang susut batang bambu. Basri dan Saefudin (2000) melakukan penelitian tentang kadar air bambu terhadap kembang susut batang bambu mendapatkan hasil sebagai berikut pada tabel 2.2 dan tabel 2.3.

Tabel 2.2 Pengaruh Kadar Air terhadap Penyusutan Batang Bambu

Umur, tahun	Bagia batang	Kadar air awal rata-rata (%)	Berat jenis	Penyusutan arah tebal pada 3 tingkat kekeringan		
				0%	6%	12 %
3	Pangkal	161	0,62	16,0	12,5	8,0
	Tengah	122	0,65	14,0	9,7	6,5
	Ujung	100	0,68	12,0	7,9	5,0
4	Pangkal	100	0,69	13,0	7,7	4,8
	Tengah	95	0,70	10,5	7,5	4,3
	Ujung	82	0,72	9,0	7,0	3,5
5	Pangkal	86	0,72	11,0	7,1	3,5
	Tengah	76	0,74	8,5	6,0	3,1
	Ujung	65	0,76	7,5	5,0	2,9

(Sumber: Basri dan Saefudin, 2000)

Tabel 2.3 Pengaruh Kadar Air terhadap Pengembangan Batang Bambu

Umur, tahun	Bagian batang	Berat jenis	Pengembangan arah tebal pada 3 tingkat kekeringan		
			0%	6%	12 %
3	Pangkal	0,62	3,6	4,6	5,8
	Tengah	0,65	3,3	4,2	5,2
	Ujung	0,69	3,1	3,8	4,4
4	Pangkal	0,68	3,1	3,8	4,3
	Tengah	0,70	2,9	3,5	4,0
	Ujung	0,73	2,5	3,3	3,0
5	Pangkal	0,72	2,5	3,4	3,0
	Tengah	0,74	2,2	3,1	2,5
	Ujung	0,76	2,0	2,9	2,2

(Sumber: Basri dan Saefudin, 2000)

Pengujian yang dilakukan oleh Basri dan Saefudin (2000) menunjukkan hasil terjadinya perubahan dimensi bambu ketika dilakukan penambahan atau

pengurangan kadar air. Penyusutan dimensi yang terjadi pada bambu adalah sebesar 2,9 - 16,0 %. Sedangkan pengembangan dimensi yang terjadi pada bambu adalah sebesar 2,0 - 5,2 %.

Perubahan dimensi akibat perubahan kadar air pada bambu berpengaruh pada kuat lekat tulangan bambu terhadap beton pada beton bertulang. Bambu akan menyerap air pada saat pengerjaan beton dan melepaskan air pada saat beton mengering. Sehingga perubahan dimensi tulangan bambu akan menghasilkan rongga antara tulangan dan beton pada saat beton telah kering (Ghavami, 2005). Sifat higroskopis bambu dapat dikurangi dengan melapisi permukaan tulangan bambu menggunakan pelapis yang kedap air.

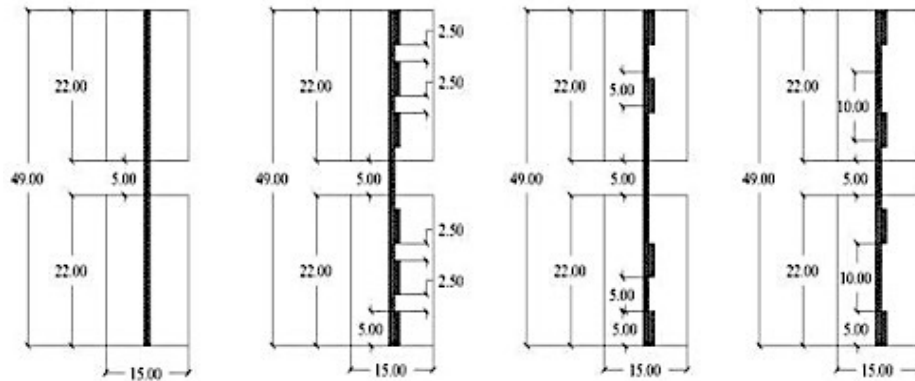
Mulyati dan Arman (2016) melakukan penelitian tentang kuat lekat antara tulangan bambu dan beton pada beton bertulang. Salah satu variasi yang digunakan pada penelitian tersebut adalah tulangan bambu petung persegi yang dilapisi dengan pernis. Proporsi campuran beton yang digunakan pada penelitian tersebut adalah dengan perbandingan semen, pasir, dan kerikil berturut-turut adalah 1:2:3 dengan hasil pengujian kuat tekan beton adalah sebesar 14,06 MPa. Hasil yang didapatkan oleh variasi tersebut adalah kekuatan lekat antara tulangan bambu dan beton sebesar 2,22 MPa. Nilai tersebut 3,5 kali lebih besar dibandingkan dengan nilai kekuatan lekat pada variasi bambu petung pilinan tanpa dilapisi dengan pernis, yaitu 0,62 MPa.

2.2.2 Takikan pada tulangan bambu

Permukaan bambu yang polos (tidak berulir) dapat menyebabkan penggelinciran (*slip*) antara tulangan dan beton. Penggunaan takikan pada permukaan tulangan bambu dapat meningkatkan kuat lekat antara tulangan dan beton. Takikan dapat mengunci beton yang berada di sekeliling tulangan untuk menghindari penggelinciran.

Lestari (2015) melakukan penelitian tentang kuat lekat tulangan bambu dengan kait terhadap beton dan kuat lentur balok bertulangan bambu dengan kait. Pengujian dilakukan dengan menggunakan variasi jarak kait 25 mm, 50 mm, dan 100 mm. Sedangkan hasil pengujian kekuatan beton yang digunakan pada

penelitian tersebut adalah 31,21 MPa. Berikut merupakan model benda uji dan hasil pengujian yang didapatkan pada penelitian tersebut.



Gambar 2.2 Model Benda Uji Penelitian Lestari (2015)

(Sumber: Lestari, 2015)

Tabel 2.4 Hasil Pengujian Kuat Lekat Tulangan Bambu dengan Kait terhadap Beton

Jarak Takikan (mm)	Beban Maks. (N)	Kuat Lekat (N/mm ²)	Kuat Lekat Rata-rata (N/mm ²)
tanpa takikan	8500	0,644	0,644
	8000	0,606	
	9000	0,682	
25	15000	1,136	1,162
	14500	1,098	
	16500	1,250	
50	11500	0,871	0,859
	10500	0,795	
	12000	0,909	
100	10500	0,795	0,821
	12000	0,909	
	10000	0,758	

(Sumber: Lestari, 2015)

Hasil yang didapatkan dari pengujian tersebut adalah nilai kuat lekat tulangan bambu dengan kait terhadap beton adalah sebesar 0,821-1,162 MPa. Kekuatan lekat tulangan bambu dengan kait terhadap beton pada penelitian tersebut dipengaruhi oleh jarak antar kait. Penggunaan kait dengan jarak 25 mm dapat meningkatkan kekuatan lekat antara tulangan dan beton hingga 80,35% dibandingkan dengan

tulangan bambu tanpa kait. Tetapi, hasil yang didapatkan masih jauh dari nilai kuat lekat baja tulangan polos yang dilakukan oleh Sunarmasto (2007), yaitu sebesar 1,958-3,279 MPa.

Pola keretakan yang terjadi pada balok bertulangan bambu dengan kait pada penelitian Lestari (2015) menunjukkan kombinasi pola keretakan dari keruntuhan lentur dan hilangnya lekatan antara tulangan bambu dan beton. Pola keretakan pada balok bertulangan bambu dengan kait dan balok bertulangan bambu tanpa kait pada umumnya sama. Hal tersebut kemungkinan disebabkan karena tulangan bambu masih mengalami perubahan dimensi selama pengerjaan beton pada benda uji.

Menurut Azadeh (2013), dikarenakan mekanisme tegangan yang terjadi antara tulangan dan beton pada tulangan baja dan tulangan bambu adalah sama, maka teori *interlocking* pada tulangan baja dapat digunakan pada tulangan bambu. Sehingga pemberian takikan pada tulangan bambu memiliki fungsi yang sama dengan ulir pada tulangan baja, yaitu mengunci beton pada cekungan antar ulir tulangan baja.

Perhitungan dimensi takikan yang benar dapat meningkatkan kemampuan takikan dengan maksimal. Azadeh (2013) mengemukakan teori perhitungan dimensi takikan dengan memperhatikan tegangan-tegangan yang terjadi pada permukaan tulangan bambu dan beton. Perhitungan dimensi takikan tersebut dapat dapat menyeragamkan penyaluran beban pada permukaan tulangan, sehingga kemampuan takikan dapat dimaksimalkan untuk meningkatkan kekuatan lekat antara tulangan bambu dan beton.

2.3 Kekuatan Lekat Tulangan Bambu yang dilapisi Pernis dengan Takikan terhadap Beton

Kekuatan lekat tulangan bambu terhadap beton yang rendah disebabkan oleh sifat higroskopis bambu yang tinggi dan permukaan tulangan bambu yang polos (tidak berulir). Sifat higroskopis bambu yang tinggi menyebabkan tulangan bambu mengalami perubahan dimensi selama pengerjaan beton. Sedangkan permukaan tulangan bambu yang polos menyebabkan penggelinciran (*slip*) antara tulangan dan beton.

Hasil penelitian Lestari (2015) menunjukkan penggunaan kait pada tulangan bambu belum memberikan hasil yang maksimal terhadap peningkatan kekuatan lekat antara tulangan dan beton. Hal tersebut kemungkinan disebabkan karena tulangan bambu masih mengalami perubahan dimensi selama pengerjaan beton pada benda uji. Penelitian yang dilakukan oleh Mulyati dan Arman (2016) menunjukkan pelapisan pernis pada permukaan tulangan bambu dapat meminimalkan sifat higroskopis bambu. Sedangkan Azadeh (2013) mengemukakan teori perhitungan dimensi takikan dengan memperhatikan tegangan-tegangan yang terjadi pada permukaan tulangan bambu dan beton. Teori tersebut dapat memaksimalkan kemampuan takikan untuk meningkatkan kekuatan lekat antara tulangan bambu dan beton.

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dilakukan, maka penelitian ini akan membahas lebih lanjut tentang kekuatan lekat tulangan bambu terhadap beton. Penelitian yang dilakukan adalah pengujian kuat lekat antara tulangan dan beton terhadap tulangan bambu yang dilapisi pernis. Tulangan bambu diberi takikan untuk mengetahui pengaruh takikan terhadap kuat lekat antara tulangan bambu dan beton. Dimensi takikan yang digunakan dihitung berdasarkan tegangan-tegangan yang terjadi pada permukaan tulangan (Azadeh, 2013). Kemudian penelitian dilanjutkan dengan membandingkan kuat lekat antara tulangan bambu yang dilapisi pernis tanpa takikan, tulangan bambu yang dilapisi pernis dengan takikan, dan tulangan baja berulir. Berikut merupakan perbedaan penelitian ini dengan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Perbedaan Penelitian ini dengan Penelitian Sebelumnya

Aspek Penelitian	Azadeh, 2013	Lestari, 2015	Mulyati dan Arman, 2016	Furqon AK, 2018
Judul Penelitian	New Approaches to Bond Between Bamboo and Concrete	Pengaruh Penambahan Kait pada Tulangan Bambu terhadap Respon Lentur Balok Beton Bertulangan Bambu	Tinjauan Kuat Lekat Tulangan Bambu dengan Beton	Pengaruh Takikan pada Tulangan Bambu Petung yang dilapisi Pernis terhadap Kuat Lekat antara Tulangan dan Beton
Bahan yang digunakan	Tulangan bambu (data penelitian diambil dari hasil tinjauan pustaka)	Tulangan bambu dengan kait, ukuran tulangan 2 cm x 1 cm	Tulangan bambu petung dan tulangan bambu wulung	Tulangan bambu petung yang dilapisi pernis dengan takikan, ukuran tulangan 2,5 cm x 1,5-2,5 cm
Pelapis tulangan yang digunakan	Tanpa pelapis, negrolin dan pasir, negrolin dan pasir dan kawat, sikadur GEL-32	Tanpa pelapis	tanpa pelapis, pernis, kawat, dan pilinan	pelapis pernis
Takikan yang digunakan	takikan dengan tinggi takikan 2 mm pada 1 sisi tulangan	kait dengan lebar 5 cm, jarak antar kait 2,5 cm, 5 cm, dan 10 cm.	tanpa takikan	takikan dengan tinggi takikan 2 mm, 3 mm, dan 4 mm pada 2 sisi tulangan. dimensi takikan dihitung berdasarkan tegangan-tegangannya yang terjadi pada permukaan tulangan (Azadeh, 2013)

<p>Parameter yang diukur</p>	<ul style="list-style-type: none"> • dimensi takikan (lebar dan jarak antar takikan) • kuat lekat tulangan teoritis • peningkatan kuat lekat tulangan teoritis 	<ul style="list-style-type: none"> • kuat lekat tulangan dengan takikan (2,5 cm, 5 cm, dan 10 cm) • kuat lentur, lendutan, dan pola retak balok 	<ul style="list-style-type: none"> • kuat lekat tulangan bambu petung (polos, permis, lilitan kawat, dan pilinan) • kuat lekat tulangan bambu wulung (polos, permis, lilitan kawat, dan pilinan) 	<ul style="list-style-type: none"> • kuat lekat tulangan bambu yang dilapisi permis tanpa takikan • kuat lekat tulangan bambu yang dilapisi permis dengan takikan • kuat lekat tulangan baja berulir
<p>Hasil penelitian</p>	<ul style="list-style-type: none"> • takikan dapat meningkatkan kekuatan lekat tulangan bambu terhadap beton • dimensi takikan pada tulangan bambu dapat dihitung berdasarkan tegangan-tegangan yang terjadi pada permukaan tulangan • perhitungan dimensi takikan dapat memaksimalkan peningkatan kuat lekat tulangan bambu dan beton 	<ul style="list-style-type: none"> • kait pada tulangan bambu dapat meningkatkan kuat lekat tulangan bambu terhadap beton hingga 80,34% • pola keretakan pada balok bertulangan bambu dengan kait dan balok bertulangan bambu tanpa kait pada umumnya sama, yaitu kombinasi dari keretakan lentur dan hilangnya lekatan antara tulangan bambu dan beton 	<p>tulangan bambu petung yang dilapisi permis memiliki kuat lekat tertinggi dibandingkan dengan kuat lekat pada variasi lainnya. kuat lekat tulangan bambu petung yang dilapisi permis adalah 2,22 MPa, sedangkan kuat lekat tulangan bambu petung pilinan adalah 0,62 MPa</p>	