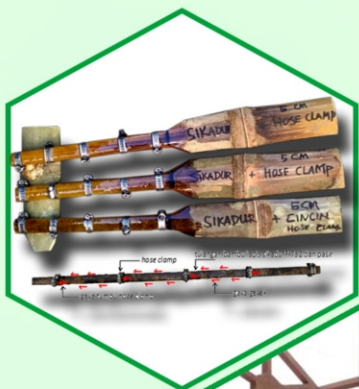


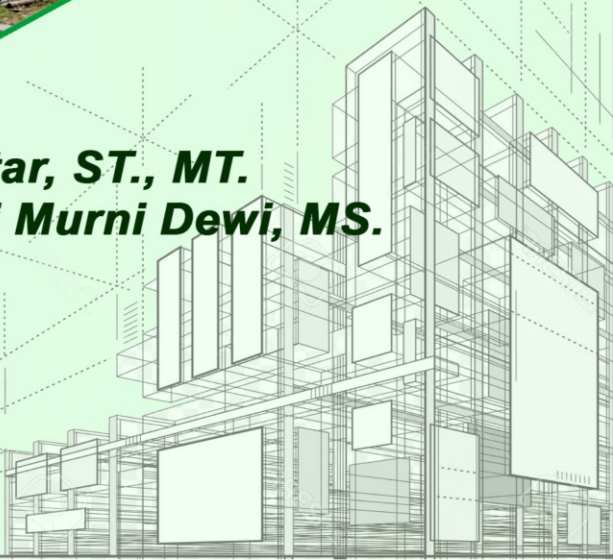
MONOGRAF

PERKUATAN TULANGAN BAMBU

MENGGUNAKAN
KLEM-SELANG (HOSE CLAMP)



Dr. Muhtar, ST., MT.
Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS.



Dr. Muhtar, ST., MT.
Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS.

MONOGRAF

**PERKUATAN
TULANGAN BAMBU
MENGUNAKAN KLEM-SELANG
(HOSE CLAMP)**



2019

Monograf: Perkuatan Tulangan Bambu Menggunakan Klem-Selang (*Hose Clamp*)

Copyright © 2019 Muhtar & Sri Murni Dewi

All rights reserved

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang. Pertama kali diterbitkan di Indonesia dalam bahasa Indonesia oleh Pustaka Abadi. Hak moral atas buku ini dimiliki oleh Penulis. Hak ekonomi atas buku ini dimiliki oleh Penulis dan Penerbit sesuai dengan perjanjian. Dilarang mengutip atau memperbanyak baik sebagian atau keseluruhan isi buku dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Penulis:

Muhtar

Sri Murni Dewi

Editor: Hermawan Septian Abadi

Desain Sampul & Penata Letak: Abdul Jalil

Cetakan Pertama, November 2019

15,5 x 23 cm ; 54 hlm

ISBN 978-623-7628-35-4

Diterbitkan Oleh:

CV. PUSTAKA ABADI

Anggota IKAPI No.185/JTI/2017

Kantor 1. Perum ITB Cluster Majapahit Blok P No.2, Jember, Jawa Timur, 68132

Kantor 2. Jl. Jawa 2 D No.1, Tegal Boto, Jember, Jawa Timur, 68121

Email: redaksi@pustakaabadi.co.id

Website: www.pustakaabadi.co.id

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur hanya milik Allah SWT semata, yang telah memberikan berokah, rahmad, dan izin-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Monograf ini dengan baik, yang berjudul “Perkuatan Tulangan Bambu Menggunakan Klem-Selang (*Hose Clamp*)”. Monograf ini merupakan hasil penelitian dengan dana internal universitas dalam rangka persiapan penyusunan proposal guna melanjutkan studi lanjut program doktor (S3) tahun 2013 dan penyempurnaan tahun 2019.

Buku ini membahas khusus perkuatan tulangan bambu sebagai tulangan beton menggunakan klem-selang. Dari banyak referensi keruntuhan beton bertulang bambu disebabkan oleh slip antara tulangan bambu dengan beton, hal ini dikarenakan lekatan antara bambu dan beton belum maksimal. Penggunaan klem-selang salah satu solusi untuk meningkatkan kuat lekat melalui transfer gaya gesek dan gaya tumpu dari tulangan bambu ke beton. Maksud dan tujuan diterbitkannya buku ini adalah agar dapat bermanfaat bagi masyarakat pengguna bambu terutama wilayah desa tertinggal yang banyak bambu, para peneliti, dan mahasiswa yang tertarik di bidang konstruksi. Tentu saja buku ini masih banyak kekurangannya, untuk itu demi perbaikan kami mengharap masukan dari semua pihak demi kesempurnaan buku ini di masa yang akan datang.

Terima kasih kami ucapkan kepada Rektor, Wakil Rektor, Dekan, dan Penerbit Pustaka Abadi yang telah bersedia menerbitkan buku ini. Terima kasih saya sampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS yang telah memberikan saran dan perbaikan Monograf ini. Tidak lupa kami ucapkan banyak terima kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini.

Jember, November 2019

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
RINGKASAN	xi
SUMMARY	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian	7
1.4. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Bambu sebagai Material Konstruksi	8
2.2. Bambu petung (<i>Dendrocalamus asper</i>)	9
2.3. Bambu sebagai tulangan beton	11
2.4. Kuat Lekat (Bond-strength) Tulangan Bambu	14
BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN	17
3.1. Kerangka Pikir Penelitian	17
3.2. Hipotesis Penelitian	18
3.3. Kebaruan (Novelty) Penelitian	19
BAB IV METODE PENELITIAN	20
4.1. Bahan	20
4.1.1. Bambu	20
4.1.2. Hose clamp dan perekat Sikadur®-752	20
4.2. Metode Pengujian	21
4.2.1. Uji cabut tulangan bambu	21

BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
5.1.	Hasil uji cabut	24
5.1.1.	Kuat Lekat Tulangan Bambu	24
5.1.2.	Pola Retak dan Pola Keruntuhan.....	26
5.2.	SOP perkuatan tulangan bambu dengan klem-selang	27
BAB VI	PENUTUP	32
6.1.	Kesimpulan	32
6.2.	Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA		34
LAMPIRAN		38

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Mekanik Bambu Petung dan Bambu Ori	11
Tabel 5.1	Hail test pull out tulangan bambu	24

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 1.1.	Pembengkakan tulangan bambu dalam beton dan retak mikro diikuti ekspansi tulangan bambu	3
Gambar 1.2.	Modifikasi kekasaran tulangan bambu dengan pasir .	4
Gambar 1.3.	Modifikasi kekasaran tulangan bambu dengan takikan	4
Gambar 1.4.	Modifikasi kekasaran tulangan bambu dengan lilitan kawat dan sabut	4
Gambar 1.5.	Rambatan retak beton bertulang bambu	5
Gambar 1.6.	Keruntuhan slip silinder beton bertulang bambu	5
Gambar 1.7.	Gaya gesek dan gaya tumpu pada tulangan bambu bercincin klem-selang	6
Gambar 2.1.	Hubungan modulus elastisitas dan kepadatan bambu dan bahan lainnya	8
Gambar 2.2.	Modulus lentur vs kuat lentur untuk macam-macam bahan konstruksi	8
Gambar 2.3.	Diagram Tegangan Regangan Tulangan Baja dan Bambu	9
Gambar 2.4.	Bambu Petung (<i>Dendrocalamus asper</i>)	10
Gambar 2.5.	Gaya gesek dan gaya tumpu pada tulangan baja ulir	16
Gambar 3.1.	Gaya gesek dan gaya tumpu pada tulangan bambu dengan klem-selang	18
Gambar 3.2.	Gaya gesek dan gaya tumpu pada tulangan baja ulir	18
Gambar 4.1.	Cincin klem-selang	21
Gambar 4.2.	Tulangan bambu dengan lapis kedap air, pasir dan klem-selang	21
Gambar 4.3.	Sikadur®-752 dan pasir	21
Gambar 4.4.	Proses pelaburan lapis kedap air dan pasir	21
Gambar 4.5.	Geometri, variasi perlakuan, dan alat uji cabut	22
Gambar 4.6.	Proses pembuatan dan set up pengujian benda uji cabut (a) tulangan bambu dengan klem-selang (b) pemasangan tulangan pada beton basah (c) Set up uji cabut tulangan bambu	23
Gambar 5.1.	Tegangan lekat tulangan bambu hasil uji cabut	25
Gambar 5.2.	Pola keruntuhan hasil uji cabut. (a) Keruntuhan bond slip (<i>bond-slip failure</i>). (b) Keruntuhan batang bambu (<i>Bamboo failure of node</i>). (c) Keruntuhan lekatan dan	

	prisma beton (<i>bond and concrete cone failure</i>)	26
Gambar 5.3.	Bambu petung (<i>Dendrocalamus asper</i>) di lokasi penebangan	27
Gambar 5.4.	Pengeringan bambu pada udara bebas sampai kadar air 12%	28
Gambar 5.5.	Pengelupasan bagian dalam sesuai dimensi rencana tulangan bambu	28
Gambar 5.6.	Perapian permukaan tulangan bambu	29
Gambar 5.7.	Penyiapan bahan dan alat (tulangan bambu, perekat lapis kedap air, klem-selang, kuas, talam, dan pasir halus	29
Gambar 5.8.	Pelaburan perekat lapis kedap air tahap awal	30
Gambar 5.9.	Pelaburan perekat kedua	30
Gambar 5.10.	Pelaburan pasir pada tulangan bambu setelah pelaburan perekat tahap kedua setengah kering	31

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Desain Campuran Beton	38
Lampiran 2.	Foto Benda Uji Tulangan Bambu untuk Uji Cabut	39
Lampiran 3.	Foto Klem-selang (<i>Hose-Clamp</i>)	39
Lampiran 4.	Foto Proses Pembuatan Benda Uji Cabut	40
Lampiran 5.	Foto Proses Pengujian Benda Uji Cabut	40
Lampiran 5.	Foto Hasil Uji Cabut	41

Perkuatan Tulangan Bambu Menggunakan Klem-Selang

RINGKASAN

Bambu sebagai tulangan beton, terutama pada konstruksi sederhana, karena memiliki kuat tarik relatif tinggi. Dari segi ekonomi, harga bambu jauh lebih murah dari harga tulangan baja untuk tingkat kekuatan yang sama. Penelitian pemanfaatan bambu sebagai tulangan beton telah banyak dilakukan, diantaranya sebagai tulangan balok, kolom, plat, dan rangka atap beton bertulang. Pemanfaatan lapisan perekat dan modifikasi kekasaran tulangan bambu telah dilakukan oleh banyak peneliti. Namun, kegagalan elemen batang beton bertulang bambu masih didominasi kegagalan lekatan antara tulangan bambu dan beton. Konsep pemakaian klem-selang pada tulangan bambu sama dengan konsep pemakaian tulangan ulir pada beton, dimana pada konsep ini terjadi interaksi gaya gesek dan gaya tumpu antara beton dan tulangan. Pemasangan klem selang pada tulangan bambu berfungsi sebagai tahanan slip antara tulangan bambu dengan beton. Gaya gesekan dari permukaan tulangan bambu akan terdistribusikan pada klem selang yang berfungsi sebagai konektor geser.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kuat lekat (*bond strength*) antara tulangan bambu dengan beton. Uji kuat lekat dilakukan pada tulangan bambu dengan dimensi 15 mm x 15 mm x 400 mm yang ditanam pada silinder beton sedalam 200 mm. Pengujian uji cabut tulangan bambu menggunakan metode *Conventional pull-out test*. Dari data hasil uji pull out tulangan bambu dengan perlakuan pelaburan perekat sikadur[®]-752, pasir, dan bercincin klem-selang yang tertanam pada silinder beton menunjukkan peningkatan tegangan lekat sebesar 240% dan 214% dari bambu tanpa perlakuan dengan jarak klem-selang berturut-turut 15 cm dan 20 cm.

Key words: Kuat lekat, Tulangan bambu, Klem-selang.

The Strengthening of Bamboo Reinforcement Using a Hose Clamps

SUMMARY

Bamboo as a concrete reinforcement, especially in simple construction, because it has a relatively high tensile strength. In terms of economy, the price of bamboo is far cheaper than the price of steel reinforcement for the same level of strength. Research on the use of bamboo as a concrete reinforcement has been carried out, including reinforcement of beams, columns, plates, and reinforced concrete roof truss. The failure of bamboo reinforced concrete elements is caused by the failure of the bond between bamboo and concrete reinforcement. The use of adhesive layers and modification of bamboo reinforcement roughness has been carried out by many researchers. However, the pattern of slip failure still appears. The concept of using the hose clamp on bamboo reinforcement is the same as the concept of using deformed bar reinforcement in concrete, wherein this concept there is the interaction between friction force and bearing force between concrete and reinforcement. Installation of hose clamps on bamboo reinforcement serves as a slip resistance between bamboo reinforcement and concrete. The friction force of the bamboo reinforcement surface will be distributed on a hose clamp that functions as a shear connector.

This study aims to increase the bond strength between bamboo reinforcement and concrete. The bond strength test was carried out on bamboo reinforcement with dimensions of 15 mm x 15 mm x 400 mm which were planted in a 200 mm deep concrete cylinder. The bamboo reinforcement bond strength test uses the Conventional pull-out test method. From the data of the pull-out test of bamboo reinforcement with the treatment of adhesives coating sikadur[®]-752, sand, and hose-clamp ringed embedded in concrete cylinders showed an increase in bond strength by 240% and 214% from normal bamboo with the hose-clamp span of 15 cm and 20 cm respectively.

Key words: Bond strength, Bamboo reinforcement, Hose clamps.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

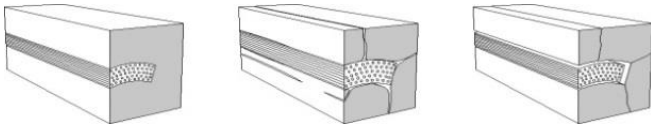
Pemakaian bahan bangunan produk industri yang terus-menerus dan mengabaikan pemakaian bahan bangunan terbarukan menyebabkan polusi permanen. Pemakaian bambu sebagai bahan bangunan terbarukan dapat meminimalkan konsumsi energi, konservasi sumber daya alam tidak terbarukan, mengurangi polusi dan memelihara lingkungan yang sehat (Ghavami, 2005). Bambu merupakan salah satu bahan yang memiliki keunggulan ekonomis, karena pertumbuhan yang relatif cepat dan untuk mencapai ketahanan mekanik maksimum hanya dalam beberapa tahun. Selain itu, bambu sangat melimpah di daerah tropis dan subtropis diseluruh dunia (Ghavami, 2005).

Bambu dapat menggantikan baja sebagai tulangan beton untuk perumahan sederhana masyarakat di wilayah desa tertinggal yang memiliki banyak bambu. Alasan mengapa bambu dianggap tidak menguntungkan adalah bukan karena keterbatasan material, akan tetapi metode yang diperlukan untuk perawatan sebelum digunakan. Sejauh ini penelitian mengarah keanalisis tentang bagaimana menyederhanakan perawatan bambu dan menghilangkan masalah operasional dalam membuat bambu sebagai salah satu bahan struktural utama. Saat ini para peneliti fokus pada pemeriksaan apakah tulangan bambu benar-benar lebih murah dari pada tulangan baja, mengingat biaya buruh, kerugian karena penyusutan, keterampilan yang dibutuhkan, dan kebutuhan *on-the-job-training* untuk digunakan dalam jangka panjang (Sabnani et al., 2012). Hampir semua penelitian tentang penggunaan bambu sebagai bahan bangunan membahas masalah kelayakan bambu, baik dari segi teknis, biaya, keawetan (durabilitas), dan lain-lain. Beberapa penelitian yang mengungkapkan bahwa bambu dapat digunakan sebagai bahan bangunan diantaranya: (Sakaray et al., 2012), (Pratima et al. 2013), (Imbulana et al. 2013), (Anurag et al., 2013), (Kaware et al., 2013), (Oka, Triwiyono et al., 2014), (Khan 2014), (Pawar 2014), dan (Sabnani et al. 2012). Salah satu penggunaan bambu adalah sebagai

tulangan beton untuk konstruksi sederhana bentang-bentang pendek.

Bambu sebagai pengganti alternatif tulangan baja dalam konstruksi beton karena memiliki beberapa keuntungan. Dari segi kekuatan, kuat tarik bambu relatif tinggi dapat mencapai 370 Mpa (Ghavami, 2005). Dari segi ekonomi, harga bambu jauh lebih murah dari harga tulangan baja untuk tingkat kekuatan yang sama. Sedangkan dari segi ketersediaannya, bambu mudah didapat, mudah ditanam, dapat tumbuh dengan cepat, dan merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Bambu yang dapat digunakan untuk material konstruksi minimal berumur 2-3 tahun dari masa tanam, dan dapat dipanen lagi tanpa perlu menanam lagi.

Bambu untuk dapat digunakan sebagai tulangan beton, harus direndam, dikeringkan, dan dilapisi dengan lapisan kedap air (*waterproof*) seperti cat kayu, epoksi, melamin, vernis, dan lain-lain. Hal ini dimaksudkan untuk menghalangi terjadinya saling menyerap air antara bambu dan beton. Penyerapan air terjadi dua tahap. Tahap pertama waktu beton basah. Air beton basah diserap oleh bambu yang bersifat *hygroscopic* dan menyebabkan bambu mengembang (*swelling*). Gambar 1.1 menunjukkan masalah mengembangnya tulangan bambu tanpa *treatment* dalam beton. Pada tahap kedua sesudah beton mengeras, air yang ada dibambu diikat oleh molekul semen di dalam beton. Proses ini disebut proses *hydrolysis* yang berlangsung sampai waktu tak terhingga. Dengan demikian jika bambu tidak dilapisi dengan lapisan kedap air maka bambu yang semula banyak mengandung air lama kelamaan akan mengecil karena air bambu diikat oleh beton. Javadian, Wielopolski, Smith, & Hebel, (2016) melakukan penelitian beberapa jenis lapisan *epoxy* untuk menentukan perilaku ikatan antara beton dan tulangan bambu-komposit. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa tulangan bambu-komposit tanpa lapisan ikatan cukup memadai dengan matriks beton, namun dengan lapisan dasar *epoxy* dan partikel pasir bisa memberikan perlindungan ekstra tanpa kehilangan kekuatan ikatan. Oleh karena itu pemberian lapisan kedap air (lapis perekat) dan pelaburan pasir mutlak diperlukan.



Gambar 1.1. Pembengkakan tulangan bambu dalam beton dan retak mikro diikuti ekspansi tulangan bambu.

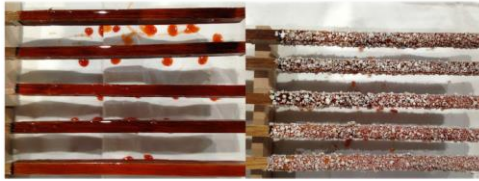
Sumber: Javadian et al. (2016, p.111)

Perekat tulangan bambu juga harus berfungsi sebagai lapisan kedap air dan pengikat laburan pasir pada tulangan bambu. Beberapa jenis perekat yang telah banyak digunakan oleh para peneliti antara lain: Negrolin, Sikadur 32 Gel (Ghavami 2005); Sikadur-31CFN (Leelatanon et al., 2010); Araldite, Tepecrete P-151, Anti Corr RC, dan Sikadur 32 Gel (Agarwal, Nanda, and Maity 2014); Araldite, Epoxy Resin, dan Coal Tar (Siddhpura et al., 2013); cat dan pasir kering (Nindyawati et al., 2013); lapis cat dan pasir (Dewi et al. 2018) (Dewi and Wonlele 2011); tulangan bambu lapis aspal dan pasir (Bhonde et al., 2014); lapis aspal dan lilitan tali sabut (Ikponmwosa et al., 2014); Concsresive Master Inject 1315 (Kumar and Vasugi 2014); synthetic resin and synthetic rubber (Terai et al., 2012); Water based epoxy coating dengan pasir halus, Water based epoxy coating dengan pasir kasar, TrueGrip EP dengan pasir kasar, TrueGrip BP dengan pasir kasar, Exaphen dengan pasir kasar, and Enamel (Javadian et al., 2016), dan Sikadur[®]-752 (Muhtar et al., 2018)

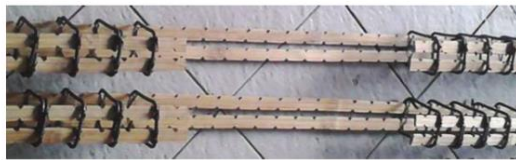
Mayoritas kegagalan beton bertulang bambu disebabkan oleh kegagalan lekatan (*bond-failure*) antara tulangan bambu dan beton. Kegagalan lekatan (*bond-failure*) antara tulangan bambu dan beton terjadi akibat dari: (1) permukaan licin pada tulangan bambu, (2) belum sempurnanya modifikasi kekasaran permukaan tulangan bambu, (3) modulus elastisitas bambu lebih rendah dari beton (Rahman et al. 2011). Peningkatan kapasitas balok beton bertulang bambu dapat meningkat setelah dilakukan beberapa *treatment* pada tulangan bambu, seperti perendaman, pengeringan, diberi lapisan kedap air, dan ditaburi pasir kering dengan tujuan modifikasi kekasaran permukaan tulangan bambu.

Modifikasi kekasaran seperti memberi takikan, lilitan kawat sudah dilakukan oleh beberapa peneliti namun belum mampu maksimal menambah kuat lekat (*bond-strength*), bahkan

memunculkan permasalahan baru berupa cacat tulangan, peoses yang lama, timbulnya karat, dan sebagainya.



Gambar 1.2. Modifikasi kekasaran tulangan bambu dengan pasir
Sumber: Javadian et al. (2016)



Gambar 1.3. Modifikasi kekasaran tulangan bambu dengan takikan
Sumber: Budi, Rahmadi, & Rismunarsi (2016)



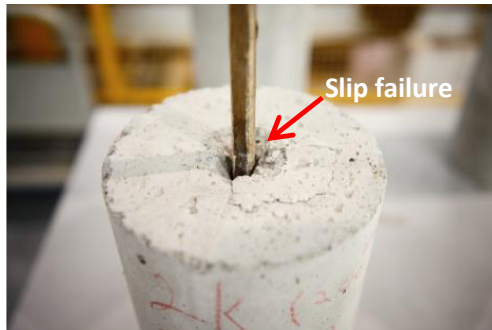
Gambar 1.4. Modifikasi kekasaran tulangan bambu dengan lilitan kawat dan sabut.
Sumber: Dey & Chetia (2016)

Modifikasi kekasaran tulangan bambu telah dilakukan oleh beberapa peneliti, diantaranya dengan takikan (Budi et al., 2016), lilitan kawat dan sabut (Dey and Chetia 2016), penambahan kait (Lestari et al., 2015) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.2 sampai dengan Gambar 1.4. Metode ini dapat meningkatkan kuat lekat (*bond-strength*), namun masih banyak kelemahan, seperti pelaksanaannya relatif sulit dan proses takikan dapat memperlemah

tulangan bambu. Walaupun sudah melalui beberapa *treatment*, kuat lekat (*bond-strength*) yang dihasilkan masih belum maksimal dan pola keruntuhan masih didominasi oleh keruntuhan akibat slip antara tulangan bambu dengan beton seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.5 dan Gambar 1.6.



Gambar 1.5. Rambatan retak beton bertulang bambu
Sumber: Agarwal, Nanda, & Maity (2014, p.616)



Gambar 1.6. Keruntuhan slip silinder beton bertulang bambu
Sumber: Javadian et al. (2016)

Pada beton bertulang baja, ikatan antara baja dan beton terdiri dari tiga mekanisme: adhesi, gesekan dan interlock mekanik. Kekuatan ikatan lebih dipengaruhi oleh energi fraktur (Ahmad, 2016). Ikatan yang baik antara beton dan baja sangat penting untuk kinerja struktural jangka panjang. Tanpa ikatan yang baik antara keduanya, sistem tidak bisa berperilaku sesuai keinginan. Kekuatan ikatan tulangan adalah interaksi kompleks antara deformasi lokal, adhesi kimia, dan faktor lainnya (Lee and Phares, 2015). Transfer gaya geser antara tulangan dan beton merupakan fase dominan pasca terjadinya *adhesive bond*. Kondisi permukaan dan luas

permukaan geser tulangan merupakan faktor penting pada besar kecilnya nilai tegangan lekat tulangan. Pada uji *pull-out* tulangan baja untuk kedalaman tertentu, kekuatan ikatan menurun seiring dengan kenaikan diameter tulangan dan semakin dalam tulangan tertanam, semakin tinggi nilai *bond-stress*-nya (Falade and Oyekan, 2006). Seiring dengan meningkatnya diameter tulangan, kekuatan ikatan menurun, dan slip terus meningkat (Diab et al., 2014). Semakin dalam tulangan tertanam, semakin besar kuat lekat yang terjadi (Diab et al. 2014).



Gambar 1.7. Gaya gesek dan gaya tumpu pada tulangan bambu bercincin klem-selang

Dari uraian diatas diperoleh beberapa fakta bahwa walaupun telah dilakukan treatmen dan modifikasi kekasaran tulangan bambu, kuat lekat masih belum maksimal yang ditunjukkan dengan keruntuhan akibat slip antara tulangan bambu dengan beton. Perkuatan tulangan bambu dengan klem-selang perlu dicoba untuk meningkatkan kuat lekat tulangan bambu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.7. Pemasangan klem-selang sebagai perkuatan tulangan bambu cukup mudah dan cepat, dan perkuatan ini belum ditemukan dalam publikasi ilmiah saat ini. Konsep perkuatan tulangan bambu dengan klem-selang sama dengan konsep pemakaian tulangan ulir pada beton (Islam et al., 2015), dimana pada konsep ini terjadi interaksi gaya gesek dan gaya tumpu antara beton dan tulangan. Pemasangan klem-selang pada tulangan bambu akan menambah tahanan gelincir (*slip*) di sepanjang tulangan. Hal ini disebabkan gaya gesek permukaan tulangan bambu akan terdistribusi pada klem-selang yang berfungsi sebagai *shear connector*.

1.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas diperoleh beberapa fakta bahwa bambu sebagai tulangan beton masih menunjukkan kegagalan slip akibat rendahnya tegangan lekat (*bond-stress*) antara tulangan bambu dengan beton. Pemasangan klem-selang pada

tulangan bambu bertujuan untuk meningkatkan tegangan lekat dan menambah tahanan slip antara bambu dan beton. Dengan asumsi bahwa tulangan bambu, klem-selang, dan perekat bekerja sebagai satu kesatuan monolit dalam beton, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah peningkatan kuat lekat (*bond-strength*) antara tulangan bambu dan beton dengan perkuatan klem-selang?
2. Bagaimanakah pola retak dan keruntuhan yang terjadi pada tulangan bambu dan beton jika menggunakan perkuatan klem-selang?
3. Bagaimanakah SOP perkuatan tulangan bambu dengan klem-selang?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan peningkatan kuat lekat (*bond-strength*) dengan parameter ukur beban ultimit dan pola keruntuhan pada uji cabut tulangan bambu dengan perkuatan klem-selang.
2. Mendapatkan pola keruntuhan beton dan tulangan bambu pada benda uji cabut tulangan bambu dengan perkuatan klem-selang.
3. Mendapatkan SOP perkuatan tulangan bambu yang dapat meningkatkan kuat lekat tulangan bambu dengan beton.

1.4. Manfaat Penelitian

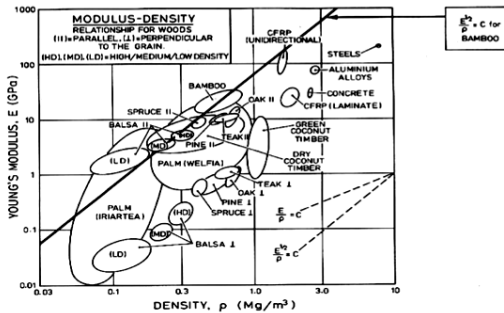
Hasil penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan manfaat bagi masyarakat, khususnya masyarakat wilayah desa tertinggal:

1. Hasil ini dapat digunakan sebagai dasar pemanfaatan bambu sebagai tulangan beton pengganti tulangan baja yang diaplikasikan pada struktur-struktur sederhana pada wilayah desa tertinggal dengan bahan lokal, murah, ramah lingkungan, dan dapat diterima.
2. Menghasilkan usulan solusi untuk meningkatkan kuat lekat dan mencegah terjadinya slip tulangan bambu dalam beton.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

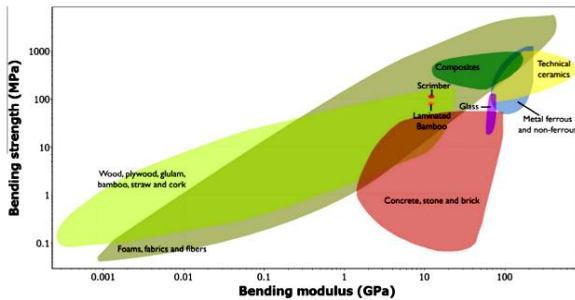
2.1. Bambu sebagai Material Konstruksi

Sifat fisik dan sifat mekanik bambu sebagai bahan konstruksi sangat penting diketahui. Sifat fisik bambu sangat tergantung pada sifat tumbuh tanaman asal dan proses pengelolaannya. Sifat fisik bambu sangat mempengaruhi sifat mekanik bambu. Keapatan (ρ) dan modulus elastisitas (E) merupakan sifat fisik dan sifat mekanik bambu yang sangat penting. Untuk mempelajari modulus elastisitas (E) dan keapatan (ρ) dapat menggunakan metode pemilihan material yang dikembangkan di Cambridge University (Wegst, 1993) dalam (Ghavami, 2005) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



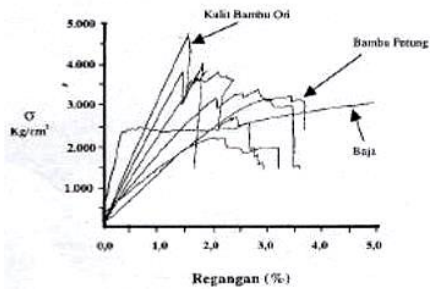
Gambar 2.1. Hubungan modulus elastisitas dan keapatan bambu dan bahan lainnya

Sumber: Wegst (1993) dalam Ghavami (2005, p.638)



Gambar 2.2. Modulus lentur vs kuat lentur untuk macam-macam bahan konstruksi

Sumber: Sharma, Gatóo, Bock, & Ramage (2015, p.71)



Gambar 2.3. Diagram Tegangan Regangan Tulangan Baja dan Bambu
 Sumber: Morisco (1999)

Dasar penggunaan bambu sebagai material telah banyak digunakan di masyarakat perdesaan, seperti konstruksi rumah tinggal, rangka jembatan semi permanen, konstruksi rangka gudang, dan sebagainya. Bahkan penggunaan bambu sebagai material alternatif pengganti tulangan baja dalam konstruksi beton telah banyak dilakukan oleh peneliti. Alasan bambu digunakan sebagai material alternatif tulangan baja karena kekuatan tariknya yang cukup tinggi. Beberapa hasil penelitian menyatakan bahwa bambu memiliki kekuatan tarik yang tinggi mendekati tulangan baja sebagaimana Gambar 2.3, sehingga dapat digunakan sebagai tulangan beton. Ghavami (2005) menyebutkan kekuatan tarik bambu yang relatif tinggi dapat mencapai 370 MPa pada serat luarnya. Keuntungan lain dari bambu adalah kekuatan lentur dengan rasio kepadatannya. Gambar 2.2 memperlihatkan bahwa kuat lentur bambu laminasi lebih tinggi dari beton maupun bahan komposit alami lainnya (Sharma et al., 2015). Selain itu, kebutuhan energi yang digunakan untuk menghasilkan baja 50 kali lebih besar daripada bambu, sehingga bambu merupakan salah satu material yang ekonomis dan lebih ramah terhadap lingkungan (Janssen, 2000).

2.2. Bambu petung (*Dendrocalamus asper*)

Petung (*Dendrocalamus asper*) adalah salah satu jenis bambu yang memiliki ukuran lingkaran batang yang besar dan termasuk ke dalam suku rumput-rumputan. Bambu ini memiliki aneka nama lokal seperti bambu betung, buluh petung (Melayu); bulu botung (Batak.); olah otong (Gayo); trieng betong (Aceh); lewu oguru (Nias); bambu batueng (Minangkabau.); pering betung (Lampung);

awi bitung (Sunda); pring petung, deling petung, jajang betung (Jawa); pereng petong (Madura); tiing petung (Bali.); bulo patung, b. patong (Makasar.); awo petung (Bugis); au pětung (Solor); bambu swanggi (Banda), dan lain-lain (Wikipedia Indonesia, 2016).

Bambu petung, rebungnya hitam keunguan, tertutup oleh bulu-bulu (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; warnanya bervariasi dari hijau, hijau tua, hijau keunguan, hijau keputihan, atau bertotol-totol putih karena liken seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Buku-bukunya dikelilingi oleh akar udara. Tebal dinding buluhnya antara 11 sampai 36 mm (Brink, M, 2008) dalam (Wikipedia Indonesia, 2016).



Gambar 2.4. Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*)

Penentuan sifat mekanis bambu berdasarkan prasyarat bahwa bambu merupakan bahan bangunan kering dengan kadar air 12%. Dalam penentuan sifat mekanika, perlu ditentukan rata-rata baik diameter maupun tebal batangnya. Berat jenis pada bambu dibedakan berdasarkan jenis dan letaknya. Secara umum berat jenis bambu 670-720 kg/m³. Namun, untuk konstruksi yang kering dengan kadar air 12%, berat jenis bambu di Indonesia dianggap rata-rata sebesar 700 kg/m³. Malikha (2009) dalam penelitiannya terhadap kuat tarik bambu Petung dalam arah radial menyatakan bahwa kekuatan bambu Petung melebihi kelas kuat kayu I (Dewi I, Dewi SM, & Soehardjono A, 2012).

Secara umum, bambu yang mampu tumbuh tinggi dan memiliki serat yang banyak menunjukkan sifat mekanik yang tinggi, dan bambu dengan diameter luar kulm yang besar memiliki serat yang sedikit dan sifat mekanik yang rendah. Tabel 2.1 menunjukkan sifat mekanik Bambu Petung bila dibanding dengan Bambu Ori (Ardhyananta, Fahmi, & Farid, 2012).

Tabel 2.1. Sifat Mekanik Bambu Petung dan Bambu Ori

Sifat Mekanik	Bambu Ori	Bambu Petung
Kekuatan tarik (MPa)	194±3	105±8
Modulus elastisitas (GPa)	31±4	26±5
Elongasi patahan (%)	14±0.7	16±1
Kekuatan fleksural (MPa)	215±4	153±11
Kekerasan (VHN)	8±0.6	5±1
Kekuatan impak (J/mm ²)	0.21±0.6	0.15±0.7

Sumber: Ardhyananta, Fahmi, & Farid (2012)

2.3. Bambu sebagai tulangan beton

Bambu sebagai pengganti alternatif tulangan baja dalam konstruksi beton karena memiliki beberapa keuntungan. Dari segi kekuatan, kuat tarik bambu relatif tinggi dapat mencapai 370 Mpa (Ghavami, 2005) bahkan hingga mencapai 417 Mpa (Morisco, 2005). Bambu untuk dapat digunakan sebagai tulangan beton, harus ditreatment terlebih dahulu seperti direndam, dikeringkan, dilapisi dengan lapisan kedap air, dan ditaburi dengan pasir kering. Pemberian lapisan kedap air dan pelaburan pasir pada tulangan bambu merupakan keharusan. Pemberian lapisan kedap air untuk mencegah terjadinya saling serap antara tulangan bambu dan beton. Sedangkan pelaburan pasir kering untuk memperkasar tulangan bambu. Bambu sebagai tulangan mempunyai kelemahan tidak bisa ditebuk, sehingga memerlukan tulangan distribusi sebagai penyalur gaya, terutama pada titik pertemuan batang atau buhul.

Ghavami (2005), dengan eksperimennya menunjukkan bahwa, daya dukung ultimate meningkat empat kali untuk bambu beton bertulang bambu (BRC) dari beton tidak bertulang. Dan ikatan antara bambu dan beton lebih rendah dibandingkan baja dan beton, dan mengurangi kapasitas daya dukung tariknya. Dalam ringkasan singkatnya, mengenai aplikasi struktural bambu dapat digunakan sebagai elemen beton struktural termasuk balok, jendela, rangka, dan elemen yang mengalami tegangan lentur.

Agarwal, Nanda, & Maity (2014) melakukan penelitian tulangan bambu yang dirawat dengan perekat Araldite, Tepecrete P-151, Anti Corr RC, dan Sicadur 32 Gel. Tulangan bambu yang dirawat dan mempunyai kuat lekat tertinggi diaplikasikan sebagai tulangan kolom dan balok. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa: (1) dari uji balok dengan beban 2 titik, menunjukkan bahwa kapasitas beban meningkat hingga 29,41% dengan luas tulangan bambu 1,49%; (2) dari semua tes menunjukkan bahwa bambu memiliki potensi untuk menggantikan baja sebagai tulangan elemen balok dan kolom.

Sakaray, Togati, & Reddy (2012) melakukan pengujian kelayakan bambu tipe moso sebagai bahan tulangan beton. Pada kesimpulannya menulis bahwa bambu dapat dijadikan material pengganti besi baja pada material beton. Nayak, Bajat, Jain, Khandelwal, & Tiwari (2013) melakukan penelitian untuk menganalisa pengaruh penggantian tulangan baja dengan tulangan bambu. Salah satu kesimpulannya menulis bahwa tulangan bambu 3 kali lebih murah dibandingkan dengan tulangan baja dan teknik penulangan dengan bambu lebih murah dibandingkan dengan teknik tulangan baja.

Kaware, Awari, & Wakehaure (2013) mereview bambu sebagai bahan penguat (tulangan) dalam struktur beton. Beberapa kesimpulannya antara lain: (1) bambu lemah terhadap geser maka bambu tidak dapat digunakan sebagai tulangan geser; (2) kelembaban bambu berubah sesuai topografi dan kondisi iklim. Kelembaban secara langsung mempengaruhi kekuatan bambu; (3) bambu lemah terhadap tegangan lekat (bonding stress) sehingga harus ditreatment menggunakan epoxy coating, tar coating, dan lain sebagainya; (4) bambu menunjukkan perilaku daktail seperti baja.

Khan (2014) melakukan penelitian bambu sebagai bahan alternatif pengganti baja tulangan. Studi dilakukan secara eksperimental terhadap bambu dan diaplikasikan pada 8 plat beton dengan ukuran 1000 mm x 1000 mm x 50 mm. Dua dari empat kesimpulannya mengungkapkan bahwa: (1) kekuatan tarik bambu adalah sekitar satu setengah dari kekuatan baja lunak dan modulus elastisitas bambu adalah sekitar sepertiga dari modulus elastisitas baja lunak; (2) bahwa bambu dapat digunakan sebagai alternatif pengganti tulangan baja pada plat. Pawar (2014) melakukan Studi mengenai penggunaan bambu sebagai bahan elemen konstruksi dan

non konstruksi. Salah satu hasil studinya mengungkapkan bahwa beton dengan tulangan bambu dapat digunakan dengan sukses untuk elemen struktural dan non struktural pada konstruksi bangunan.

Rahman, Rashid, Hossain, & Hasan (2011) melakukan pengujian pada balok beton tidak bertulang dan balok beton bertulang bambu. Balok beton bertulang bambu terdiri dari balok beton bertulang tunggal dan bertulang rangkap dengan dimensi 150 mm x 150 mm x 750 mm. Dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa bambu adalah sebuah material tulangan potensial pada beton. Dari kurva tegangan-regangan, bambu memiliki modulus elastisitas yang rendah dibandingkan dengan baja. Bambu tidak bisa mencegah retak beton akibat beban ultimit. Namun dari uji lentur, dapat diketahui bahwa penggunaan bambu sebagai tulangan beton dapat meningkatkan kapasitas beban balok dengan dimensi yang sama. Untuk tulangan tunggal, kapasitas beban meningkat sekitar 2 kali, dan untuk tulangan ganda kapasitas meningkat sekitar 2,5 kali dibandingkan dengan balok beton polos. Defleksi maksimum balok tulangan tunggal dan tulangan ganda adalah sekitar 4,5 dan 8 kali dari defleksi balok polos.

Terai & Minami (2011) melakukan penelitian terhadap 11 buah balok beton bertulang bambu dan diuji untuk memeriksa retak lentur dan kekuatan retak geser. Dari hasil pengujian disimpulkan bahwa: (1) pola retak balok beton bertulang bambu BRC menyerupai pola retak balok beton bertulang baja RCC, sehingga perilaku fraktur balok beton bertulang bambu BRC dapat dievaluasi dengan formula/rumus yang ada pada balok beton bertulang baja RCC. Sabnani, Latkar, & Sharma (2012) mengungkapkan dalam tulisannya bahwa: Balok beton bertulang bambu dengan perletakan sederhana telah diuji di PUC-Rio. Perawatan tulangan bambu dilakukan untuk meningkatkan ikatan bambu-beton. Rasio tulangan balok beton bertulang bambu diambil 3%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beban ultimate meningkat 400% dibandingkan dengan balok beton tanpa tulangan.

Sethia & Baradiya (2014) melakukan penelitian terhadap 3 macam balok beton, balok beton polos, balok beton bertulang bambu rangkap, dan balok beton bertulang baja. Dimensi balok adalah 150 mm x 150 mm x 750 mm. Beberapa kesimpulannya diantaranya: (1) dari tes lentur dapat diketahui bahwa dengan

menggunakan bambu sebagai tulangan dapat meningkatkan kapasitas beban dari balok; (2) pada balok beton bertulang bambu, kapasitas beban meningkat 3 kali dibandingkan dengan balok beton polos; (3) defleksi balok dengan tulangan bambu sebesar 1,5 kali dari balok beton polos; (4) meskipun kekuatan tarik bambu adalah sepertiga kuat tarik baja, tapi ini cukup untuk struktur gedung dan dapat menekan biaya konstruksi. Khan (2014), melakukan penelitian kinerja balok beton bertulang bambu sebanyak 12 buah balok dengan dimensi 150 mm x 150 mm x 700 mm. 9 balok beton bertulang bambu berpenampang kotak, lingkaran dan segitiga, dan 3 balok bertulang baja. Semua balok menggunakan sengkang baja diameter 6 mm. Salah satu kesimpulannya mengungkapkan bahwa bambu dapat digunakan sebagai alternatif pengganti tulangan baja pada balok.

2.4. Kuat Lekat (*Bond-strength*) Tulangan Bambu

Terjadinya slip batang tulangan dalam beton dapat dicegah dengan daya rekat antara tulangan dan beton. Faktor utama yang mempengaruhi lekatan antara batang tulangan dengan beton adalah: perekatan dari matrik semen, gaya friksi pada permukaan tulangan akibat penyusutan beton, dan tahanan gesek dari permukaan kasar tulangan (Ghavami, 2005).

Koefisien gesek atau gaya gesek persatuan luas bergantung dari kekasaran permukaan dan gaya kekang tegak lurus bidang gesek. Pada tulangan baja kekangan permukaan terjadi ketika beton menyusut dengan koefisien susut lebih besar dari baja. Oleh sebab itu beton cenderung mencengkam baja. Pada tulangan bambu kekangan akibat susut tidak terjadi karena deformasi susut cenderung hampir sama. Apalagi jika air beton segar tidak dicegah masuk pada tulangan bambu maka susut bambu lebih besar dari susut beton dan terjadi gap antara beton dan tulangan. Dengan proses pelapisan dengan cat atau perekat, deformasi susut bambu bisa dikurangi. Oleh sebab itu gaya gesek timbul akibat kekasaran permukaan. Kekasaran permukaan didapat dengan menaburkan pasir ketika perekat masih basah. Usaha lain dapat juga dilakukan dengan memasang *shear connector* pada tulangan bambu. Kuat gesek antara beton dan tulangan bambu dapat diperoleh dari uji cabut (*pull out test*).

Kuat lekat (*bond-strength*) atau tegangan lekat (*bond-stress*) tulangan bambu τ_b , dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-1) (Javadian et al., 2016):

$$\tau_b = \frac{P}{(2a + 2b)L_a} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (2-1)$$

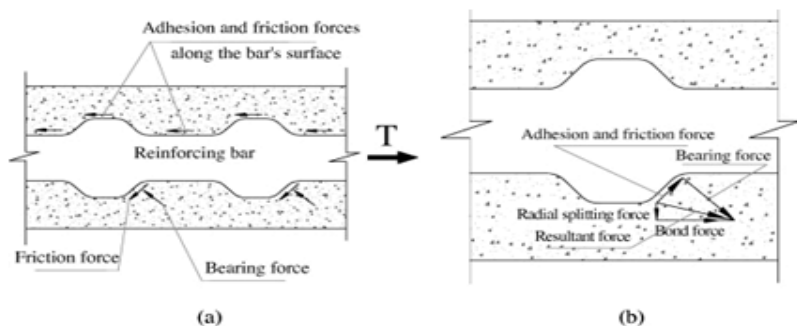
dengan P adalah gaya tarik *pull-out*, (2a+2b) adalah dimensi penampang tulangan bambu, dan L_a adalah panjang lekatan permukaan tulangan bambu. Tulangan bambu dapat terlepas dari beton karena terjadi split dalam arah longitudinal ketika daya rekat tinggi. Ketika tulangan bambu bisa ditarik keluar dan meninggalkan sebuah lubang di beton, itu berarti daya rekat rendah atau gesekan kecil.

Menurut Agarwal, Nanda, & Maity (2014) tegangan lekat bambu τ_b , (*bond stress*) dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-2):

$$\tau_b = \frac{F}{SL} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (2-2)$$

dimana F adalah gaya tarik pull out, S adalah parameter tulangan bambu, dan L adalah panjang lekatan permukaan tulangan bambu.

Pada beton bertulang baja, ikatan antara baja dan beton terdiri dari tiga mekanisme: adhesi, gesekan dan interlock mekanik. Kekuatan ikatan lebih dipengaruhi oleh energi fraktur (Ahmad, 2016). Ikatan yang baik antara beton dan baja sangat penting untuk kinerja struktural jangka panjang. Tanpa ikatan yang baik antara keduanya, sistem tidak bisa berperilaku sesuai keinginan. Kekuatan ikatan tulangan adalah interaksi kompleks antara deformasi lokal, adhesi kimia, dan faktor lainnya (Lee and Phares, 2015).



Gambar 2.5. Gaya gesek dan gaya tumpu pada tulangan baja ulir
 Sumber: Islam, Afefy, Sennah, & Azimi (2015)

Interaksi gaya gesek dan gaya tumpu antara beton dan tulangan baja ulir diperlihatkan pada Gambar 2.5 (Islam et al., 2015). Transfer gaya geser antara tulangan dan beton merupakan fase dominan pasca terjadinya adhesive bond. Kondisi permukaan dan luas permukaan geser tulangan merupakan faktor penting pada besar kecilnya nilai tegangan lekat tulangan. Pada uji *pull-out* tulangan baja untuk kedalaman tertentu, kekuatan ikatan menurun seiring dengan kenaikan diameter tulangan dan semakin dalam tulangan tertanam, semakin tinggi nilai *bond-stress*-nya (Falade and Oyekan, 2006). Seiring dengan meningkatnya diameter tulangan, kekuatan ikatan menurun, dan slip terus meningkat (Diab et al., 2014). Semakin dalam tulangan tertanam, semakin besar kuat lekat yang terjadi (Diab et al., 2014).

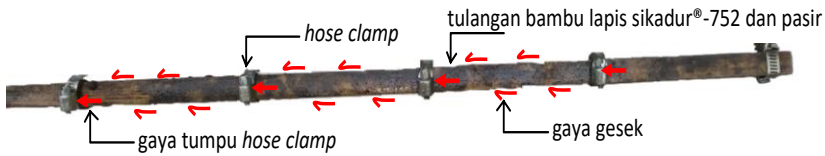
BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1. Kerangka Pikir Penelitian

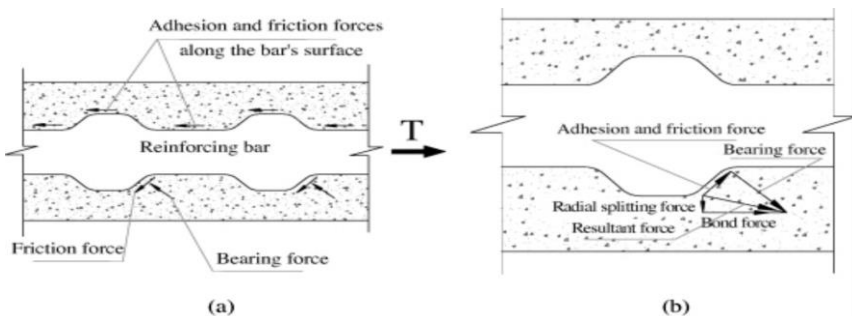
Dari penelitian pendahuluan dan kajian pustaka, telah didapatkan bahwa kegagalan balok beton bertulang bambu disebabkan oleh kegagalan lekatan (*bond-failure*) antara tulangan bambu dan beton. Kegagalan lekatan (*bond-failure*) antara tulangan bambu dan beton terjadi akibat dari: (1) permukaan licin pada tulangan bambu, (2) belum sepenuhnya modifikasi kekasaran permukaan tulangan bambu, (3) modulus elastisitas bambu lebih rendah dari beton. Peningkatan kapasitas balok beton bertulang bambu dapat meningkat setelah dilakukan beberapa *treatment* pada tulangan bambu, seperti perendaman, pengeringan, diberi lapisan kedap air, dan ditaburi pasir kering. Walaupun sudah melalui beberapa *treatment*, pola keruntuhan masih didominasi oleh keruntuhan akibat *slip* antara tulangan bambu dengan beton. Sifat *hygroscopic* bambu, proses *hydrolysis* setelah beton mengeras, permukaan licin, dan perbedaan sifat mekanik bambu dengan beton merupakan faktor yang menyebabkan keruntuhan akibat *slip* tulangan bambu dengan beton. Perbedaan modulus elastisitas bambu yang lebih rendah dari beton menyebabkan tidak mencengkrannya beton (*gripping*) pada tulangan bambu setelah proses hidrasi semen. Modifikasi kekasaran seperti memberi takikan, lilitan kawat sudah dilakukan oleh beberapa peneliti namun belum mampu maksimal, bahkan memunculkan permasalahan baru berupa cacat tulangan, peoses yang lama, timbulnya karat, dan sebagainya.

Konsep pemakaian klem-selang pada tulangan bambu sama dengan konsep pemakaian tulangan ulir pada beton, dimana pada konsep ini terjadi interaksi gaya gesek dan gaya tumpu antara beton dan tulangan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2. Namun demikian, perkuatan lekatan (*bond-strength*) tulangan bambu menggunakan klem-selang pada tulangan merupakan kajian yang belum diperoleh dalam publikasi ilmiah yang ada. Pemasangan klem-selang pada tulangan bambu akan menambah tahanan gelincir (*slip*) di sepanjang tulangan. Hal ini

disebabkan gaya gesek permukaan tulangan bambu akan terdistribusi pada klem-selang yang berfungsi sebagai *shear connector*. Konsep pemikiran ini, bertujuan untuk meningkatkan kuat lekat (*bond-strength*) tulangan bambu dan beton.



Gambar 3.1. Gaya gesek dan gaya tumpu pada tulangan bambu dengan klem-selang.



Gambar 3.2. Gaya gesek dan gaya tumpu pada tulangan baja ulir
 Sumber: Islam, Afefy, Sennah, & Azimi (2015)

3.2. Hipotesis Penelitian

Dari uraian latar belakang, kajian pustaka, kerangka pikir, dan model konseptual penelitian, maka hipotesis dalam penelitian ini dapat dituliskan berikut ini.

1. Perkuatan tulangan bambu menggunakan klem-selang akan meningkatkan kuat lekat (*bond-strength*) antara tulangan bambu dengan beton melalui mekanisme transfer gaya gesek dan gaya tumpu, yang ditunjukkan dengan meningkatnya beban ultimit, pola retak, dan pola keruntuhan.
2. Perkuatan tulangan bambu menggunakan klem-selang dapat mencegah terjadinya keruntuhan slip antara tulangan bambu dengan beton yang ditunjukkan dengan pola retak dan pola keruntuhan

3. Dengan SOP perkuatan tulangan bambu yang benar dapat meningkatkan kuat lekat tulangan bambu dengan beton.

3.3. Kebaruan (*Novelty*) Penelitian

Kebaruan hasil penelitian yang diharapkan adalah:

1. Mendapatkan model perkuatan tulangan bambu untuk meningkatkan kuat lekat antara tulangan bambu dengan beton.
2. Mendapatkan SOP perkuatan tulangan bambu dengan menggunakan perekat dan klem-selang pada tulangan bambu.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1. Bahan

4.1.1. Bambu

Bambu yang digunakan pada penelitian ini adalah bambu petung (*Dendrocalamus asper*) berumur antara 3-5 tahun (Agarwal et al., 2014). Batang bambu yang digunakan sebagai tulangan adalah sepanjang 6 meter dari dasar batang bambu. Bambu dibelah dengan ukuran 15 mm x 1050 mm, lalu direndam dalam air untuk mengeluarkan kandungan pati selama kurang lebih 24 jam (Agarwal et al., 2014). Setelah direndam, bambu dikeringkan pada udara bebas selama kurang lebih 30 hari (Agarwal et al., 2014). Tulangan bambu yang sudah kering digerus sisi dalamnya dan dirapikan dengan mesin gerinda sampai tulangan bambu berukuran 7 x 10 mm², 10 x 10 mm², dan 15 x 15 mm². Karena bambu dapat menyerap air hingga 32% (Bhonde et al. 2014), maka tulangan bambu harus diberi lapisan kedap air. Sedangkan permukaan licin tulangan bambu ditaburi pasir (Javadian et al., 2016) sesaat setelah lapis kedap air tahap kedua selesai. Lapis kedap air yang digunakan pada penelitian ini adalah Sikadur[®]-752.

4.1.2. Hose clamp dan perekat Sikadur[®]-752

Pemasangan klem-selang pada tulangan bambu bertujuan untuk menambah tahanan gelincir (*slip*) antara tulangan bambu dan beton, sehingga kuat lekat (*bond-strength*) meningkat. Pemasangan klem-selang dilakukan setelah pelaburan lapisan kedap air tahap pertama dianggap kering. Kemudian pemberian lapis kedap air kedua dilakukan dengan tujuan menutup cacat-cacat lapis kedap air tahap pertama dan agar klem-selang lebih merekat pada tulangan bambu. Diameter klem-selang yang digunakan adalah ¾ " produksi Taiwan. Sedangkan variasi jarak pemasangan klem-selang dibuat 0 cm, 15 cm, dan 20 cm. Lapis kedap air yang dipakai adalah Sikadur[®]-752. Klem-selang, Sikadur[®]-752, pelaburan lapis kedap air, dan pemasangan klem-selang ditunjukkan pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.4.



Gambar 4.1. Cincin klem-selang



Gambar 4.2. Tulangan bambu dengan lapis kedap air, pasir dan klem-selang.



Gambar 4.3. Sikadur®-752 dan pasir



Gambar 4.4. Proses pelaburan lapis kedap air dan pasir

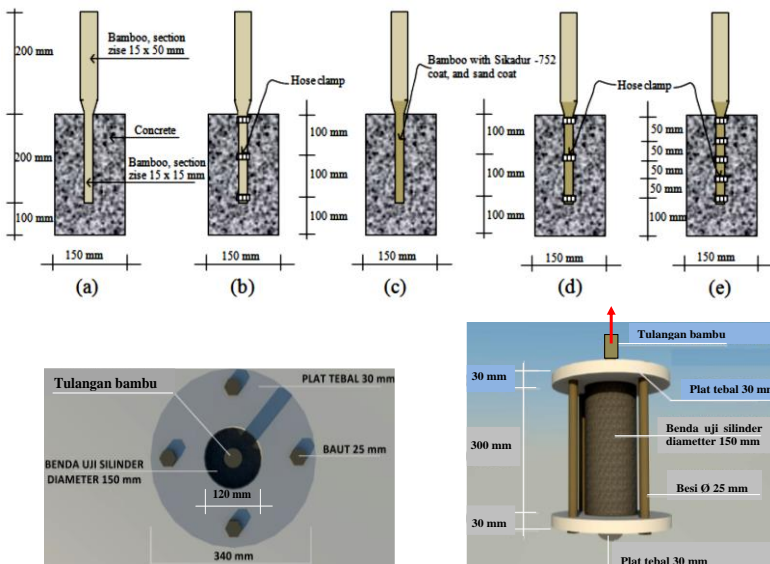
4.2. Metode Pengujian

4.2.1. Uji cabut tulangan bambu

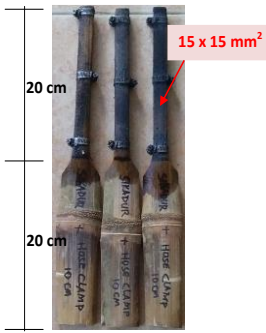
Beton untuk uji cabut tulangan bambu yang digunakan adalah beton normal dengan standart ACI Committee (ACI Committee 318, 2014) dengan proporsi campuran 1 PPC : 1,81 Ps : 2,82 Kr : 0,52 Air. Bahan beton normal adalah semen, pasir, agregat kasar,

dan air. Uji cabut dilakukan pada tulangan bambu dengan dimensi 15 mm x 15 mm x 400 mm yang ditanam pada silinder beton sedalam 200 mm. Silinder beton berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Tulangan bambu ditanam pada titik pusat silinder. Uji kuat lekat dilakukan dengan mesin *Universal Testing Machine* (UTM) kapasitas 1000 kN setelah silinder beton berumur 28 hari dari pengecoran. Metode uji cabut tulangan bambu mengikuti Ghavami (2005) yaitu menggunakan metode *Conventional pull-out test*. Dimensi tulangan bambu, pembuatan benda uji silinder, dan pengaturan pengujian kuat lekat diperlihatkan pada Gambar 4.5 sampai Gambar 4.7.

Rancangan eksperimen uji cabut menggunakan rancangan penelitian dua faktor sebagai variabel bebas. Faktor A adalah jarak klem-selang dan faktor B adalah pemberian lapis kedap air. Untuk membandingkan kinerja variabel penelitian dibuat lima perlakuan berbeda pada 15 benda uji, dengan perlakuan sebagai berikut: (1) tulangan normal, (2) tulangan dengan klem-selang jarak 100 mm, (3) tulangan dengan Sikadur[®]-752, (4) tulangan dengan klem-selang jarak 150 mm + Sikadur[®]-752, dan (5) tulangan dengan klem-selang jarak 200 mm + Sikadur[®]-752. Detail perlakuan benda uji dan pengaturan pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



Gambar 4.5. Geometri, variasi perlakuan, dan alat uji cabut



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.6. Proses pembuatan dan set up pengujian benda uji cabut
(a) tulangan bambu dengan klem-selang (b) pemasangan tulangan pada beton basah (c) Set up uji cabut tulangan bambu

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil uji cabut

5.1.1. Kuat Lekat Tulangan Bambu

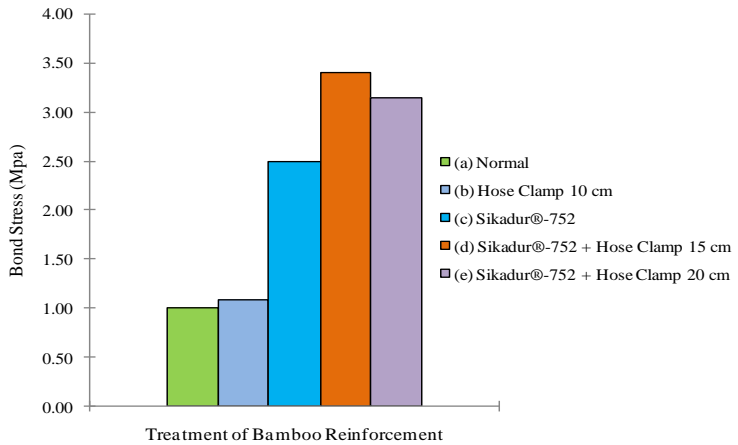
Gambar 5.1 menunjukkan bahwa kuat lekat (*bond-strength*) tulangan bambu dengan klem-selang meningkat hingga 240%, bila dibandingkan dengan tanpa klem-selang. Dari Tabel 5.1 dan Gambar 5.1 menunjukkan bahwa kuat lekat tulangan bambu dengan klem-selang jarak 10 cm meningkat 8% dari kuat lekat tulangan bambu normal, tulangan bambu dengan pelaburan perekat sikadur[®]-752 meningkat 150%, tulangan bambu dengan klem-selang jarak 15 cm + pelaburan perekat sikadur[®]-752 meningkat 240%, dan tulangan bambu dengan klem-selang jarak 20 cm + pelaburan perekat sikadur[®]-752 meningkat 214% dari kuat lekat tulangan bambu normal.

Tabel 5.1. Hasil uji *pull out* tulangan bambu

No benda uji	Perlakuan	Lebar b (mm)	Tebal t (mm)	Kedalaman tertanam pada silinder beton (mm)	Panjang keliling tulangan (mm)	Beban tarik (kN)	Tegangan lekat (MPa)	kuat lekat rata-rata (MPa)	.Pola keruntuhan
1			15		60	12	1.00		
2	(a) Normal	15	15	200	60	12	1.00	1.00	Bond slip failure
3			10		50	10	1.00		
4			15		60	13	1.08		
5	(b) Klem-selang 10 cm	15	15	200	60	13	1.08	1.08	Bond slip failure
6			10		50	11	1.10		
7			15		60	31	2.58		
8	(b) Sikadur [®] -752	15	15	200	60	30	2.50	2.50	Bond slip failure
9			15		60	29	2.42		
10			15		60	42	3.50		
11	(c) Sikadur [®] -752 + Klem-selang 15 cm	15	15	200	60	39.5	3.29	3.40	Bambu failure of node Bond and concrete cone failure
12			15		60	41	3.42		
13			15		60	38	3.17		
14	(d) Sikadur [®] -752 + Klem-selang 20 cm	15	15	200	60	38	3.17	3.14	Bambu failure of node Bond and concrete cone failure
15			15		60	37	3.08		

Gambar 5.1 menunjukkan bahwa pemasangan klem selang jarak 10 cm pada tulangan bambu tanpa lapis kedap air atau tanpa perekat tidak mempunyai pengaruh nyata terhadap kuat lekat. Hal ini disebabkan oleh sifat kembang susut bambu, pada saat beton basah bambu menyerab air dan cenderung mengembang sehingga

klem selang menjadi lebih kencang, namun sebaliknya pada saat proses hidrasi semen terjadi, kandungan air dalam bambu akan terserab oleh beton sehingga klem-selang akan menjadi kendur atau lepas.



Gambar 5.1. Tegangan lekat tulangan bambu hasil uji cabut

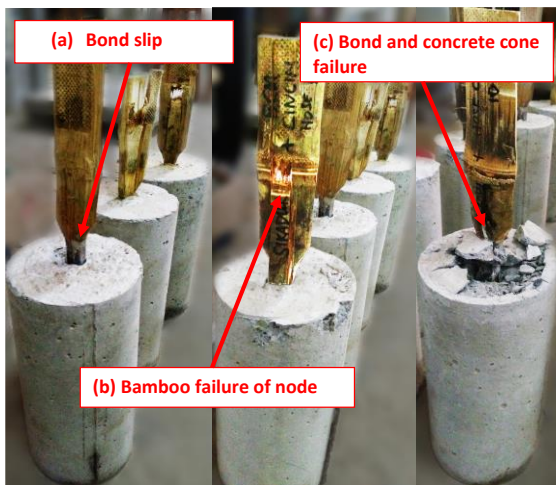
Pelaburan sikadur®-752 + pasir pada tulangan bambu menunjukkan pengaruh yang cukup signifikan, hal ini dapat dilihat pada rata-rata kenaikan kuat lekat mencapai 150%. Hal ini menunjukkan bahwa perekat sikadur®-752 efektif melindungi tulangan bambu dari aksi saling serab antara bambu dan beton pada saat beton basah. Sedangkan pelaburan pasir pada saat perekat setengah kering efektif untuk menambah kekasaran tulangan bambu, terutama pada permukaan yang licin. Dua faktor inilah yang dapat meningkatkan kuat lekat tulangan bambu.

Pemasangan klem-selang jarak 15 cm dan 20 cm pada tulangan bambu yang sudah diberi perekat sikadur®-752 + pasir dapat meningkatkan kuat lekat sampai 240%. Pemasangan klem-selang efektif meningkatkan kuat lekat jika tulangan bambu diberi lapisan perekat, namun demikian pemasangan klem-selang tanpa lapisan perekat tidak mempunyai pengaruh yang nyata. Hal ini dapat dilihat dari benda uji tulangan bambu normal dengan klem-selang jarak 10 cm yang hanya meningkat 8%. Kesimpulan sementara adalah bahwa pelaburan lapis kedap air dan pasir mutlak harus dilakukan, sedangkan pemasangan klem-selang tanpa pelaburan lapis kedap air dan pasir tidak mempunyai pengaruh yang nyata.

5.1.2. Pola Retak dan Pola Keruntuhan

Benda uji dengan tulangan bambu yang diberi perekat sikadur[®]-752, pelaburan pasir, dan klem-selang menunjukkan pola keruntuhan lekatan dan prisma beton (*bond and concrete cone failure*) dan keruntuhan batang bambu (*Bamboo failure of node*) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.2(b) dan Gambar 5.2(c). Hal ini menunjukkan adanya efek perekat Sikadur[®]-752 dan klem-selang pada tulangan bambu telah bekerja dengan baik, yang ditunjukkan dengan melekatnya beton pada tulangan bambu. Benda uji dengan perekat Sikadur[®]-752 dan pasir menunjukkan keruntuhan geser-lekat (*bond-slip failure*), namun mempunyai kuat lekat yang cukup tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.2a. Sedangkan benda uji dengan klem-selang tanpa perekat mengalami keruntuhan geser-lekat (*bond-slip failure*) dengan kuat lekat hampir sama dengan tulangan bambu tanpa perlakuan, pola keruntuhan ditunjukkan pada Gambar 5.2(a).

Dari analisa hasil uji dan pola keruntuhan, menunjukkan penggunaan perekat atau lapis kedap air mutlak harus dilakukan, sedangkan pemasangan klem-selang pada tulangan bambu tanpa perekat atau lapis kedap air tidak mempunyai pengaruh yang nyata.



Gambar 5.2. Pola keruntuhan hasil uji cabut. (a) Keruntuhan bond slip (*bond-slip failure*). (b) Keruntuhan batang bambu (*Bamboo failure of node*). (c) Keruntuhan lekatan dan prisma beton (*bond and concrete cone failure*).

5.2. SOP perkuatan tulangan bambu dengan klem-selang

Bambu sebagai tulangan beton khususnya untuk konstruksi-konstruksi sederhana bentang pendek sangat menguntungkan karena kuat tariknya tinggi dan harganya murah, namun sebelum digunakan bambu harus melalui perawatan (*treatment*). Hal ini dikarenakan bambu mempunyai sifat kembang susut dan penyerapan air (*absorption*) yang cukup tinggi. Dari proses perawatan tulangan bambu sampai dengan proses pembuatan benda uji *pull-out* tulangan bambu, dapat dirangkum sebuah SOP atau *standard operation procedure* sebagai berikut:

1. Penebangan bambu

Bambu yang digunakan adalah Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*). Warna rebung hitam keunguan, ditutupi dengan bulu (miang) seperti beludru coklat hingga hitam. Ukuran besar, panjang ruas berkisar 40-50 cm, dan diameter 12-18 cm. Tinggi bambu petung keseluruhan dapat mencapai 20 m dengan ujung melengkung, warnanya bervariasi dari hijau, hijau tua, hijau keunguan, hijau keputihan, atau bintik-bintik putih karena lumut. Nodanya dikelilingi oleh akar udara. Ketebalan dinding bambu adalah antara 11 hingga 36 mm (Brink, M, 2008) dalam (Wikipedia Indonesia, 2016). Bambu yang digunakan dalam penelitian ini minimal berusia 3-5 tahun dengan bintik-bintik putih, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 5.3.



Gambar 5.3. Bambu petung (*Dendrocalamus asper*) di lokasi penebangan

Batang bambu yang digunakan panjangnya 6 meter dari pangkal batang. Hal ini dikarenakan bagian bambu sepanjang 6 meter dari pangkal memiliki sifat mekanik dan ketebalan yang lebih besar daripada bagian batang setelah 6 meter. Setelah penebangan, bambu dipotong sesuai ukuran yang direncanakan dan direndam dalam air selama kurang lebih 1 bulan.

2. Pengeringan bambu pada udara bebas selama \pm 1 bulan setelah perendaman



Gambar 5.4. Pengeringan bambu pada udara bebas sampai kadar air \pm 12%.

3. Pengelupasan bagian dalam dan penyesuaian dimensi rencana tulangan bambu



Gambar 5.5. Pengelupasan bagian dalam sesuai dimensi rencana tulangan bambu

4. Perapian tulangan bambu dengan mesin gerinda



Gambar 5.6. Perapian permukaan tulangan bambu.

5. Penyiapan bahan dan alat *treatment* tulangan bambu



Gambar 5.7. Penyiapan bahan dan alat (tulangan bambu, perekat lapis kedap air, klem-selang, kuas, talam, dan pasir halus)

6. Pelaburan perekat tahap pertama dan pemasangan klem-selang pada tulangan bambu



Gambar 5.8. Pelaburan perekat lapis kedap air tahap awal.

Catatan:

- Pemasangan klem-selang dilakukan setelah laburan perekat pertama kering.
- Pengencangan klem-selang menggunakan alat obeng dan dilakukan berlahan sampai putaran obeng berhenti, tidak boleh ada pengencangan berulang, dengan tujuan untuk menghindari cacat dan kebocoran lapis kedap air pada tulangan bambu.
- Setelah klem-selang terpasang, pelaburan perekat kedua dilakukan.
- Pelaburan pasir pada tulangan bambu dilakukan setelah pelaburan perekat kedua setengah kering.

7. Pelaburan perekat tahap kedua dan pelaburan pasir



Gambar 5.9. Pelaburan perekat kedua



Gambar 5.10. Pelaburan pasir pada tulangan bambu setelah pelaburan perekat tahap kedua setengah kering.

BAB VI PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Perkuatan tulangan bambu dengan klem-selang dapat meningkatkan kuat lekat hingga 240% bila dibanding dengan tulangan bambu tanpa perkuatan dan treatment. Kuat lekat meningkat hingga 150% dengan pelaburan perekat Sikadur[®]-752 + pasir walaupun tanpa klem-selang. Perkuatan klem-selang tidak mempunyai pengaruh signifikan terhadap kuat lekat tanpa perekat Sikadur[®]-752.
2. Perkuatan tulangan bambu yang diberi perekat sikadur[®]-752, pelaburan pasir, dan klem-selang menunjukkan pola keruntuhan lekatan dan prisma beton (*bond and concrete cone failure*) dan keruntuhan batang bambu (*Bamboo failure of node*). Perkuatan dengan perekat Sikadur[®]-752 dan pasir menunjukkan keruntuhan geser-lekat (*bond-slip failure*), namun mempunyai kuat lekat yang cukup tinggi. Sedangkan perkuatan dengan klem-selang tanpa perekat mengalami keruntuhan geser-lekat (*bond-slip failure*) dengan kuat lekat hampir sama dengan tulangan bambu tanpa perlakuan. Hal ini menunjukkan penggunaan perekat atau lapis kedap air mutlak harus dilakukan, sedangkan pemasangan klem-selang pada tulangan bambu tanpa perekat atau lapis kedap air tidak mempunyai pengaruh yang nyata.
3. Penggunaan bambu sebagai tulangan beton harus melalui perawatan (*treatment*) yang benar, agar dicapai hasil yang optimal. Dari proses perawatan tulangan bambu sampai dengan proses pembuatan benda uji *pull-out* tulangan bambu, dapat dirangkum sebuah SOP atau *standard operation procedure* seperti yang ditunjukkan pada bab 5 sub-bab 5.2.

6.2. **Saran**

Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut, bagaimana jika tulangan bambu dengan klem-selang diaplikasikan pada elemen balok, kolom, rangka, dan sebagainya.
2. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut, bagaimana jika klem-selang dipakai sebagai perkuatan panjang penyaluran tulangan bambu.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 318. 2014. *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14)*.
- Agarwal, Atul, Bharadwaj Nanda, and Damodar Maity. 2014. "Experimental Investigation on Chemically Treated Bamboo Reinforced Concrete Beams and Columns." *Construction and Building Materials* 71:610–17.
- Ahmad, Mohammad Suhaib. 2016. "Bond in Flexure : A Review of ACI CODE 408R." *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science* 4(02):79–84.
- Anurag, Nayak, S. Bajaj Arehant, Jain Abhishek, Khandelwal Apoorv, and Tiwari Hirdesh. 2013. "Replacement of Steel by Bamboo Reinforcement." *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)* 8(1):50–61.
- Bhonde, Dinesh, P. B. Nagarnaik, D. K. Parbat, and U. P. Waghe. 2014. "Experimental Analysis of Bending Stresses in Bamboo Reinforced Concrete Beam." Pp. 1–5 in *Proceedings of 3rd International Conference on Recent Trends in Engineering & Technology (ICRTET'2014)*. Nagpur , India: Elsevier Ltd.
- Budi, Agus Setiya, A. P. Rahmadi, and Endang Rismunarsi. 2016. "Experimental Study of Flexural Capacity on Bamboo Ori Strip Notched V Reinforced Concrete Beams." Pp. 030052-1–030052-7 in *AIP Conf. Proc. 1788 - International Conference on Engineering, Science and Nanotechnology 2016 (ICESNANO 2016)*. Vol. 1788. American Institute of Physics.
- Dewi, Sri Murni, Devi Nuralinah, As'ad Munawir, and M. N. Wijaya. 2018. "Crack Behavior Study of Bamboo Reinforced Concrete Beam with Additional Pegs in Reinforcing." 9(7):1632–40.
- Dewi, Sri Murni and Tedy Wonlele. 2011. "Roof Frame from Bamboo Concrete Composite." 1:113–16.
- Dey, Abhijeet and Nayanmoni Chetia. 2016. "Experimental Study of Bamboo Reinforced Concrete Beams Having Various Frictional Properties." *Materials Today: Proceedings* 5(1):436–44.
- Diab, Ahmed M., Hafez E. Elyamany, Mostafa A. Hussein, and

- Hazem M. Al Ashy. 2014. "Bond Behavior and Assessment of Design Ultimate Bond Stress of Normal and High Strength Concrete." *Alexandria Engineering Journal* 53(2):355–71.
- Falade, F. and G. L. Oyekan. 2006. "Bond Strength of Reinforced Laterized Concrete." Pp. 1–11 in *31st Conference on Our World in Concrete & Structures*. CI-Premier PTE LTD.
- Ghavami, Khosrow. 2005. "Bamboo as Reinforcement in Structural Concrete Elements." *Cement and Concrete Composites* 27(6):637–49.
- Ikponmwo, Efe, Funso Falade, Christopher Fapohunda, and James Okosun. 2014. "Flexural Performance of Bamboo Reinforced Foamed Aerated Concrete Beams With and Without Compression Reinforcement." *International Journal of Scientific & Engineering Research* 5(3):271–78.
- Imbulana, P. K. et al. 2013. "Bamboo As a Low Cost and Green Alternative For." *SAITM Research Symposium on Engineering Advancements* 2013:166–72.
- Islam, Sirajul, Hamdy M. Afefy, Khaled Sennah, and Hossein Azimi. 2015. "Bond Characteristics of Straight- and Headed-End, Ribbed-Surface, GFRP Bars Embedded in High-Strength Concrete." *Construction and Building Materials* 83:283–98.
- Janssen, Jules J. a. 2000. *Designing and Building with Bamboo*.
- Javadian, Alireza, Mateusz Wielopolski, Ian F. C. Smith, and Dirk E. Hebel. 2016. "Bond-Behavior Study of Newly Developed Bamboo-Composite Reinforcement in Concrete." *Construction and Building Materials* 122:110–17.
- Kaware, Ajinkya, U. R. Awari, and M. R. Wakchaure. 2013. "Review of Bamboo as Reinforcement Material in Concrete Structure." *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 2(6):2461–64.
- Khan, I. K. 2014. "Performance of Bamboo Reinforced Concrete Beam." *International Journal of Science, Environment and Technology* 3(3):836–40.
- Kumar, Prem V and V. Vasugi. 2014. "Study on Mechanical Strength of Bamboo Reinforced Concrete Beams." *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology* 2(3):103–5.

- Lee, Yoon-si and Brent Phares. 2015. "Bond Strength and Development Length of Galvanized Reinforcing Steel." *International Journal of Civil and Structural Engineering Research* 3(1):311–17.
- Leelatanon, Satjapan, Suthon Srivaro, and Nirundorn Matan. 2010. "Compressive Strength and Ductility of Short Concrete Columns Reinforced by Bamboo." *Songklanakarinn Journal of Science and Technology* 32(4):419–24.
- Lestari, Agustin Dita, Sri Murni Dewi, and Wisnumurti. 2015. "Pengaruh Penambahan Kait Pada Tulangan Bambu Terhadap Respon Lentur Balok Beton Bertulangan Bambu." 9(2):81–87.
- Muhtar, Sri Murni Dewi, Wisnumurti, and As'ad Munawir. 2018. "The Stiffness and Cracked Pattern of Bamboo Reinforced Concrete Beams Using a Hose Clamp." *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)* 9(8):273–84.
- Nindyawati, Sri Murni Dewi, and Agoes Soehardjono. 2013. "The Comparison Between Pull-Out Test And Beam Bending Test To The Bond Strength Of Bamboo Reinforcement In Light Weight Concrete." *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)* 3(1):1497–1500.
- Oka, Gusti Made, Andreas Triwiyono, Ali Awaludin, and Suprpto Siswosukarto. 2014. "Effects of Node, Internode and Height Position on the Mechanical Properties of Gigantochloa Atroviolacea Bamboo." Pp. 31–37 in *Procedia Engineering*. Vol. 95. Elsevier B.V.
- Pawar, Satish. 2014. "Bamboo in Construction Technology." *Advance in Electronic and Electric Engineering* 4(4):347–52.
- Pratima, A. Patel, Patel Jaymin A, Magdallawala Sunny H, Maiwala Adit R, and Gajera Vivek J. 2013. "Design of Bamboo Reinforced Concrete Water Tank Resting Over Firm Ground." *International Journal of Engineering, Business and Enterprise Applications (IJEBA)* 113–17.
- Rahman, M. M., M. H. Rashid, M. A. Hossain, M. T. Hasan, and M. K. Hasan. 2011. "Performance Evaluation of Bamboo Reinforced Concrete Beam." *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS* 11(04):113–18.
- Sabnani, Chandra, M. V Latkar, and Utpal Sharma. 2012. "Bamboo

an Alternative Building Material for Modest Houses, to Increase the Stock of Affordable Housing, for the Urban Poor Living Close to Bamboo Producing Regions in India.” *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering* 6(11):977–88.

Sakaray, Harish, N. V. Vamsi Krishna Togati, and I. V. Ramana Reddy. 2012. “Investigation on Properties of Bamboo as Reinforcing Material in Concrete.” *International Journal of Engineering Research and Applications* 2(1):77–83.

Sharma, Bhavna, Ana Gatóo, Maximilian Bock, and Michael Ramage. 2015. “Engineered Bamboo for Structural Applications.” *Construction and Building Materials* 81:66–73.

Siddhpura, Nirav B., Deep B. Shah, Jai V Kapadia, Chetan S. Agrawal, and Jigar K. Sevalia. 2013. “Experimental Study on Flexural Element Using Bamboo as Reinforcement.” *International Journal of Current Engineering and Technology* 3(2):476–83.

Terai, Masakazu & Minami, Koichi. 2012. “Research and Development on Bamboo Reinforced Concrete Structure.” *World Conferences on Earthquake Engineering* 1–10.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Desain Campuran Beton

Perencanaan Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000)

NO	URAIAN	TABEL/GRAFIK	NILAI	
1.	Kuat tekan yang disyaratkan (2 hr, 5%)	Ditetapkan	18,7	Mpa
2.	Deviasi Standar	Diketahui	12	Mpa
3.	Nilai tambah (margin)	(k=1.64) 1.64x(2)	19,68	Mpa
4.	Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan	(1)+(3)	38,38	Mpa
5.	Jenis Semen	Ditetapkan	Normal (tipe 1)	
6.	Jenis agregat : kasar	Ditetapkan	Batu Pecah	
	Jenis agegat : halus	Ditetapkan	Alami	
7.	Faktor air semen bebas	Tabel 2, Grafik 1	0,485	(Silinder)
8.	Faktor air semen maksimum	Ditetapkan	0,6	
9.	Slump	Ditetapkan	60 - 100	mm
10.	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	40	mm
11.	Kadar air bebas	Tabel 6	185	kg/m ³
12.	Jumlah semen	(11):(7)	381,4433	kg/m ³
13.	Jumlah semen maksimum	Ditetapkan	-	kg/m ³
14.	Jumlah semen minimum	Ditetapkan	275	kg/m ³
15.	Faktor air-semen yang disesuaikan	-	-	
16.	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6	zona 2	
17.	Persen agregat halus	Grafik 10 - 12	39	%
18.	Berat jenis relatif agregat (ssd)	Diketahui	2,547	kg/m ³
19.	Berat jenis beton	Grafik 13	2331,971	kg/m ³
20.	Kadar agregat gabungan	(19)-(11)-(13)	1765,528	kg/m ³
21.	Kadar agregat halus	(17)x(20)	688,5558	kg/m ³
22.	Kadar agregat kasar	(20)-(21)	1076,972	kg/m ³

	Banyaknya bahan (teoritis)	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar
		kg	kg (lt)	kg	kg
-	Tiap m ³ dengan ketelitian 5 kg (teoritis)	381,44	185	688,56	1076,97
-	Tiap campuran uji 0.0375 m ³	12,87	6,24375	25,82	40,39
-	Tiap m ³ dengan ketelitian 5 kg (aktual)	381,44	197,33	689,14	1064,04
-	Tiap campuran uji 0.0375 m ³	12,87	6,659888	23,26	35,91
<hr/>					
-	Proporsi (teoritis)	1	0,49	1,81	2,82
-	Proporsi (aktual)	1	0,52	1,81	2,79

Data pengujian bahan

Bahan	Jenis	d maks (mm)	Sg	ρ (kg/m ³)	Abs (%)	wc (%)	Kondisi	Ec (%)	Fm
Semen	Tipe I	-	3,16	1400	0	0	Kering	0	0,25
Pasir	Alami	4,75	2,512	1,510	1,574	1,666	ssd	25	3,639
Kerikil	Pecah	3/8"	2,572	1,584	2,987	1,782	ssd	25	8,866
Air	PAM	-	1	1000	0	0	basah	0	0

Lampiran 2. Foto Benda Uji Tulangan Bambu untuk Uji Cabut



Lampiran 3. Foto Klem-selang (*Hose-Clamp*)



Lampiran 4. Foto Proses Pembuatan Benda Uji Cabut



Lampiran 5. Foto Proses Pengujian Benda Uji Cabut



Lampiran 5. Foto Hasil Uji Cabut



Tentang Penulis



Muhtar, lahir di Jember pada tanggal 10 Juni 1973 adalah Dosen Dpk pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jember sejak tahun 1997 hingga sekarang. Pendidikan SLTP ditempuh melalui ST Negeri 2 Jember Jurusan Sipil Bangunan, SLTA ditempuh melalui STM Negeri Jember Jurusan Sipil Bangunan Gedung, S1 Teknik Sipil Struktur pada Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jember, S2 Teknik Sipil Rekayasa Struktur Universitas Brawijaya Malang, dan S3 Teknik Sipil Rekayasa Struktur Universitas Brawijaya Malang. Pengalaman lain bergerak di bidang Jasa Konsultasi Konstruksi dan Kontraktor semenjak lulus SLTA atau STM.



Sri Murni Dewi, lahir di Bukittinggi pada tanggal 11 Desember 1951 adalah Dosen sekaligus Guru Besar pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang pada Bidang Rekayasa Struktur dari tahun 1981 sampai sekarang. Riwayat Pendidikan S1 dan S2 Bidang Teknik Sipil Rekayasa Struktur di Institut Teknologi Bandung (ITB), dan S3 Teknik Sipil Rekayasa Struktur di ITS Surabaya. Telah banyak menulis buku tentang Rekayasa Struktur, statisti dan keandalan struktur, serta penulis puluhan artikel ilmiah Nasional maupun Internasional.



Muhtar, lahir di Jember pada tanggal 10 Juni 1973 adalah Dosen Dpk pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jember sejak tahun 1997 hingga sekarang. Pendidikan SLTP ditempuh melalui ST Negeri 2 Jember Jurusan Sipil Bangunan, SLTA ditempuh melalui STM Negeri Jember Jurusan Sipil Bangunan Gedung, S1 Teknik Sipil Struktur pada Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jember, S2 Teknik Sipil Rekayasa Struktur Universitas Brawijaya Malang, dan S3 Teknik Sipil Rekayasa Struktur Universitas Brawijaya Malang. Pengalaman lain bergerak di bidang Jasa Konsultasi Konstruksi dan Kontraktor semenjak lulus SLTA atau STM.



Sri Murni Dewi, lahir di Bukittinggi pada tanggal 11 Desember 1951 adalah Dosen sekaligus Guru Besar pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang pada Bidang Rekayasa Struktur dari tahun 1981 sampai sekarang. Riwayat Pendidikan S1 dan S2 Bidang Teknik Sipil Rekayasa Struktur di Institut Teknologi Bandung (ITB), dan S3 Teknik Sipil Rekayasa Struktur di ITS Surabaya. Telah banyak menulis buku tentang Rekayasa Struktur, statisti dan keandalan struktur, serta penulis puluhan artikel ilmiah Nasional maupun Internasional.

