

TUGAS AKHIR

**STUDI PENGARUH PENGEKANGAN TULANGAN SPIRAL
PADA LEKATAN BAMBU BULLUPERING TIPE TRAPESIUM
DENGAN BETON SCC**

***STUDY OF SPIRAL REINFORCEMENT EFFECT ON THE
BOND STRENGTH OF TRAPEZIUM-TYPE BULLUPERING
REINFORCEMENT BAMBOO WITH SELF COMPACTING
CONCRETE***

NADIA NUR AFIFA

D011 18 1030



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2022

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**STUDI PENGARUH PENGEKANGAN TULANGAN SPIRAL PADA LEKATAN
BAMBU BULLUPERING TIPE TRAPESIUM DENGAN BETON SCC**

Disusun dan diajukan oleh:

NADIA NUR AFIFA

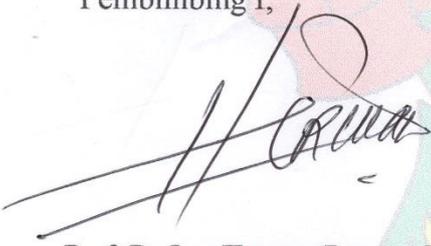
D011 18 1030

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 21 November 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

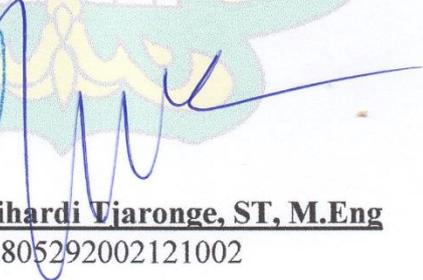
Pembimbing I,

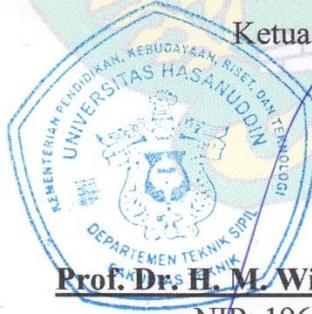
Pembimbing II,


Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng.
NIP: 196207291987031001


Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST, MT
NIP: 197912262005011001

Ketua Program Studi,


Prof. Dr. H. M. Wihardi Vjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Nadia Nur Afifa, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Studi Pengaruh Pengekangan Tulangan Spiral Pada Lekatan Bambu Bullupering Tipe Trapesium Terhadap Beton SCC**" adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 21 November 2022

Yang membuat pernyataan,



Nadia Nur Afifa

NIM: D011 18 1030

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahiim, Pertama dan yang paling utama, puji syukur yang tidak putus-putusnya saya panjatkan kehadirat Allah Subhanahuwata'ala yang telah melimpahkan segala rahmat, hidayah, dan inayah-Nya sehingga Tugas Akhir dengan judul "**STUDI PENGARUH PENGEKANGAN TULANGAN SPIRAL PADA LEKATAN BAMBU BULLUPERING TIPE TRAPESIUM DENGAN BETON SCC**" ini dapat saya selesaikan guna memenuhi salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi sarjana pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam melakukan penyusunan Tugas Akhir ini, saya menyadari bahwa terdapat banyak kendala dan hambatan yang dihadapi, namun saya mendapat banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan hati izinkan saya menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. M. Isran Ramli, ST., MT.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. Ir. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng.** selaku Kepala Laboratorium Riset Gempa dan Rekayasa Struktur sekaligus dosen pembimbing I.
4. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan sekaligus dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga pada penyusunan tugas akhir ini.
5. **Seluruh Bapak dan Ibu Dosen** Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas jasa dan ilmu yang telah diberikan kepada saya sejak semester satu hingga kini.
6. **Seluruh staf dan karyawan** Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, **Bapak La Udi Ari, S.P.** dan **Ibu Nurjani Siah, S.Pd., M.Pd.** atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan baik spiritual, moral, dan materil selama saya menempuh pendidikan sarjana ini.

Begitu juga untuk adik-adik yang saya banggakan, **Nabila Nur Syahirah, Husnul Khatimah, dan Khalilah Tsurayyah**, dan seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.

2. **Icha, Asih, Mantong, Ucil, Malsi, Ius, Sukma, Ekpur, Kak Herlina, Kak Fajar, dan Kak Nasrun** sebagai *partner* terkeren di **Laboratorium Riset Gempa dan Rekayasa Struktur** atas *support* dan bantuannya yang tak terhingga selama penelitian “**bambu-bambuan**” ini dari awal hingga akhir, terima kasih karena telah menjadi rekan penelitian yang menyenangkan dan saling menyemangati sehingga penelitian ini berjalan dengan lancar.
3. **Icha, Asih, Wana, Fitri, Upe, Ipa, Yusriah, Yuyun, Melani, Fikri, Radix, Charlie, Fiqih, dan Sam** sebagai sobat-sobit yang telah mewarnai dinamika kehidupan perkuliahan saya sejak semester satu, terima kasih atas segala bantuan dan dukungannya selama ini.
4. **Hikari, Fikri, Hari, Ucil, Fiqih, dan Kak Hasan** sebagai rekan dan *partner* Lab atas segala cerita dan kenangan yang telah dibagikan.
5. Rekan-rekan pengurus **HMS FT-UH Periode 2020/2021** atas ilmu dan pembelajaran yang sangat berarti dalam pengembangan diri saya, terima kasih atas semangat dan dukungannya yang tetap bergelora.
6. Saudara-saudari **TRANSISI 2019** atas waktu, cerita, kenangan, dan semangatnya yang tak lekang oleh masa, semoga tetap solid dan maju, terima kasih karena telah menjadi salah satu pendukung setia dalam penyusunan tugas akhir ini.

Tak ada gading yang tak retak, tak ada hal yang sempurna. Saya menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, maka saya sangat berterima kasih apabila ada yang berkenan untuk memberikan koreksi, saran, maupun kritik yang konstruktif dalam penyusunan yang lebih baik. Akhir kata, semoga Allah Subhanahuwata'ala senantiasa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita sehingga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat yang luas khususnya dalam bidang ketekniksipilan.

Gowa, 21 November 2022

Penulis

ABSTRAK

Beton bertulang merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan dalam industri konstruksi modern. Namun salah satu komponen penyusunnya yaitu tulangan baja berasal dari bijih besi yang keberadaannya terbatas. Selain itu sifat baja yang korosif dan harganya relatif mahal sehingga diperlukan alternatif material sebagai pengganti baja pada beton bertulang. Bambu merupakan material yang mudah dijumpai dan memiliki kekuatan tarik yang tinggi sehingga potensial menjadi substitusi tulangan baja, namun kelemahan bambu yaitu kemampuan lekatannya dengan beton. Untuk mengatasi hal tersebut, ada beberapa hal yang bisa dilakukan seperti pemberian takikan, penggunaan beton SCC, dan penambahan sengkang spiral. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pengekangan tulangan spiral terhadap nilai kekuatan lekat bambu pada beton SCC serta pengaruh bentuk takikan sejajar dan tidak sejajar bambu pada beton normal dan beton SCC.

Metode yang digunakan adalah pengujian *pull-out* tulangan bambu bullupering yang ditanam pada silinder beton dimensi 150 x 300 mm dengan mutu 25 MPa. Pengujian menggunakan alat *Universal Testing Machine* kapasitas 1000 kN. Tulangan ditakik berbentuk trapesium posisi sejajar dan tidak sejajar pada beton normal dan beton SCC serta menggunakan tulangan spiral dan tanpa menggunakan tulangan spiral.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan sengkang spiral dapat meningkatkan tegangan lekat antara tulangan bambu takikan trapesium terhadap beton. Nilai tegangan lekat maksimum terdapat pada variasi tulangan bambu takikan sejajar pada beton SCC menggunakan tulangan spiral yaitu sebesar 0,764 MPa. Tegangan lekat berbanding lurus dengan kekuatan tekan beton dimana penggunaan tulangan spiral sebagai sengkang dapat meningkatkan mutu beton, begitu pula dengan penggunaan beton SCC yang memiliki kemampuan menyelimuti seluruh permukaan tulangan dengan sempurna sehingga beton dapat memegang tulangan dengan baik. Takikan bambu sejajar menghasilkan tegangan lekat yang lebih tinggi daripada takikan tidak sejajar karena kedua sisi dari tulangan bambu mampu mengunci beton sehingga terjadi friksi antara bambu dan beton sedangkan pada takikan tidak sejajar hanya salah satu sisi dimana friksi hanya terjadi di salah satu sisi saja dan sisi lain tidak memiliki takikan (polos).

Kata Kunci: Bambu bullupering, Takikan, Trapesium, Tulangan sengkang spiral, *Pull-out*, Tegangan lekat

ABSTRACT

One of the most frequently utilized materials in today's building business is reinforced concrete. However, one of its essential parts, steel reinforcement, is made from iron ore, a resource with a finite supply. A different substance is required to replace steel in reinforced concrete because it is also corrosive and rather expensive. Bamboo is a material that is simple to find, has a high tensile strength, and has the potential to replace steel reinforcement. Nevertheless, bamboo's bonding capacity with concrete is one of its weaknesses. There are a number of ways to deal with this, including adding spiral stirrups, utilizing Self Compacting Concrete, and adding notches. This research aims to analyze the effect of spiral reinforcement restraints on the value of bamboo bonding strength in SCC concrete and the effect of parallel and non-parallel notches of bamboo in normal and SCC concrete.

The method used is a pull-out test of bullupering bamboo reinforcement planted on a concrete cylinder with dimensions of 150 x 300 mm with a quality of 25 MPa. Testing using the Universal Testing Machine with a capacity of 1000 kN. Notched reinforcement is trapezoidal in parallel and non-parallel positions in normal concrete and Self Compacting Concrete and using spiral reinforcement and without using spiral reinforcement.

The test results show that the use of spiral stirrups can increase the bond stress between the trapezoidal notch bamboo reinforcement and the concrete. The maximum bond stress value is found in the variation of parallel notch bamboo reinforcement in Self Compacting Concrete using spiral reinforcement, which is 0.764 MPa. The adhesive stress is directly proportional to the compressive strength of the concrete where the use of spiral reinforcement as stirrups can improve the quality of the concrete, as well as the use of Self Compacting Concrete which has the ability to perfectly cover the entire surface of the reinforcement so that the concrete can hold the reinforcement well. Parallel bamboo notches produce a higher bond stress than non-parallel notches because both sides of the bamboo reinforcement are able to lock the concrete so that friction occurs between the bamboo and the concrete while the non-parallel notches are only on one side where friction only occurs on one side and the other side has no notches (plain).

Keywords: *Bullupering bamboo, Notches, Trapezium, Spiral reinforcement, Pull-out, Bond strength, Self Compacting Concrete*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian.....	5
E. Batasan Masalah	5
F. Sistematika Penulisan	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
A. Penelitian Terdahulu	9
B. Self-Compacting Concrete	12
C. Bambu.....	15
C.1 Bambu Bullupering (<i>Gigantochloa Atter Hassk Kurz</i>).....	18
C.2 Sifat Fisis dan Mekanis Bambu.....	20
C.2.1 Kadar Air Bambu.....	20
C.2.2 Kekuatan Tarik Bambu.....	21
C.3 Takikan Bambu	22
D. Pengekangan Tulangan Spiral	24
E. Pengujian Pull Out.....	26
F. Lekatan Beton dengan Tulangan Bambu	28
G. Panjang Penyaluran Minimum.....	30

H. Tipe Keruntuhan.....	32
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	34
A. Diagram Alir Penelitian	34
B. Lokasi dan Waktu Penelitian	35
C. Alat dan Bahan Penelitian	35
D. Pemeriksaan Karakteristik Bambu.....	37
E. Pembuatan Takikan Bambu	37
F. Pemeriksaan Karakteristik Agregat	38
G. Pembuatan Benda Uji	39
H. Perawatan Benda Uji.....	46
I. Set-Up Pengujian	47
I.1 Set-Up Pengujian Karakteristik	47
I.1.1 Kekuatan Tekan	47
I.1.2 Pengujian Kekuatan Tarik Belah	48
I.1.3 Pengujian Kekuatan Lentur	48
I.2 Set-Up Pengujian Pull Out.....	49
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	51
A. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Bambu.....	51
A.1 Kadar Air Bambu	51
A.2 Kekuatan Tarik Bambu	51
B. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat.....	52
C. Komposisi <i>Mix Design</i>	53
D. Hasil Pengujian Benda Uji	54
D.1 Pengujian Karakteristik Beton.....	54
D.1.1 Pengujian Kekuatan Tekan	54
D.1.2 Pengujian Kekuatan Tarik Belah	55
D.1.3 Pengujian Kekuatan Lentur	56
D.2 Tegangan Lekat	57
D.2.1 Tegangan Lekat Tanpa Tulangan Spiral	57
D.2.2 Tegangan Lekat Menggunakan Tulangan Spiral	63
D.3 Pengaruh Pengekangan Tulangan Spiral	70
E. Perhitungan Nilai I_d Minimum.....	73

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	76
A. Kesimpulan	76
B. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA.....	78
LAMPIRAN	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Slump-Flow Test (Sumber: EFNARC Standard, 2005)	14
Gambar 2. Hubungan Tegangan-Regangan Bambu dan Baja	18
Gambar 3. Bambu Bullupering	19
Gambar 4. Pengambilan Spesimen Bambu (Sumber: Morisco, 1999).....	21
Gambar 5. Tipe Takikan Tulangan Bambu.....	23
Gambar 6. Takikan Tipe Trapesium	24
Gambar 7. Tulangan Spiral Pada Kolom	24
Gambar 8. Kurva Tegangan dan Regangan Pada Beton Terkurung (Confined Concrete) dan Beton Tidak Terkurung (Unconfined Concrete)	25
Gambar 9. Gaya Tekan antara Beton di Dalam Sengkang dan Beton di Luar Sengkang.	26
Gambar 10. Pengujian Pull Out.....	28
Gambar 11. Skema Panjang Penyaluran Tulangan dan Beton	30
Gambar 12. Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 13. Bahan Penelitian	36
Gambar 14. Detail Rencana Takikan Tipe Trapesium Sejajar	37
Gambar 15. Detail Rencana Takikan Tipe Trapesium Tidak Sejajar	37
Gambar 16. Detail Takikan Tipe Trapesium Sejajar	38
Gambar 17. Detail Takikan Tipe Trapesium Tidak Sejajar.....	38
Gambar 18. Rencana Benda Uji.....	40
Gambar 19. Persiapan Mould Benda Uji	42
Gambar 20. Persiapan Material.....	42
Gambar 21. Proses Pengecoran	43
Gambar 22. Proses Pengujian Slump	44
Gambar 23. Hasil Pengujian Slump	44
Gambar 24. Proses Penuangan Beton.....	45
Gambar 25. Proses Pengujian Slump Flow Beton SCC	46
Gambar 26. Perawatan Benda Uji.....	47
Gambar 27. Set-Up Pengujian Kekuatan Tekan.....	47

Gambar 28. Set-Up Pengujian Kekuatan Tarik Belah.....	48
Gambar 29. Set-Up Pengujian Kekuatan Lentur	49
Gambar 30. Set-Up Pengujian Pull Out.....	50
Gambar 31. Hubungan Beban-Perpindahan Beton SJ-N-TS dan TSJ-N-TS	58
Gambar 32. Hubungan Beban-Perpindahan Beton SJ-SCC-TS dan TSJ- SCC-TS	59
Gambar 33. Hubungan Beban-Perpindahan Beton SJ-N-TS, TSJ-N-TS, SJ-SCC-TS, dan TSJ-SCC-TS	60
Gambar 34. Tegangan Lekat Tanpa Tulangan Spiral.....	62
Gambar 35. Hubungan Beban-Perpindahan Beton SJ-N-S dan TSJ-N-S	64
Gambar 36. Hubungan Beban-Perpindahan Beton SJ-SCC-S dan TSJ- SCC-S	65
Gambar 37. Hubungan Beban-Perpindahan Beton SJ-N-S, TSJ-N-S, SJ- SCC-S, dan TSJ-SCC-S.....	66
Gambar 38. Tegangan Lekat Menggunakan Tulangan Spiral	69
Gambar 39. Grafik Gabungan Hubungan Beban-Perpindahan	71
Gambar 40. Hasil Perhitungan Tegangan Lekat.....	72
Gambar 41. Hubungan Tegangan Lekat dan Panjang Penyaluran.....	74

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kelebihan dan Kekurangan SCC	15
Tabel 2. Kekuatan Tarik Bambu Tanpa Nodia Kering Oven	22
Tabel 3. Standar Pengujian Karakteristik Bambu	37
Tabel 4. Standar Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus	39
Tabel 5. Standar Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	39
Tabel 6. Rincian Benda Uji	41
Tabel 7. Hasil Pengujian Kadar Air Bambu.....	51
Tabel 8. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Bambu.....	52
Tabel 9. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat	53
Tabel 10. Komposisi Mix Design Beton Normal.....	53
Tabel 11. Komposisi Mix Design Beton SCC.....	54
Tabel 12. Hasil Pengujian Kekuatan Tekan Beton.....	54
Tabel 13. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Belah Beton.....	55
Tabel 14. Hasil Pengujian Kekuatan Lentur Beton	56
Tabel 15. Perhitungan Tegangan Lekat Tanpa Tulangan Spiral	61
Tabel 16. Perhitungan Tegangan Lekat Menggunakan Tulangan Spiral..	68
Tabel 17. Nilai $l_{d \min}$	73

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Beton merupakan material yang paling banyak digunakan dalam industri konstruksi modern. Pembangunan infrastruktur serta sarana dan pra sarana dewasa ini tidak lepas dari pemanfaatan beton sebagai bahan penyusun utama yang memberikan kekuatan struktural bagi suatu infrastruktur, baik gedung, jembatan, bendungan, tanggul, dan lain sebagainya. Penggunaan beton sebagai material konstruksi mengalami peningkatan pada abad ke-19 ketika beton bertulang (*reinforced concrete*) mulai dikembangkan. Beton yang memiliki kekuatan untuk menahan gaya tekan namun lemah terhadap gaya tarik dan tulangan baja yang secara optimum dapat menahan gaya tarik merupakan kombinasi yang tepat untuk menciptakan suatu elemen struktur yang kokoh dan efisien.

Bahan dasar pembuatan tulangan baja adalah biji besi yang merupakan bahan yang tidak dapat diperbaharui dan keberadaannya semakin terbatas. Tulangan baja juga memiliki harga yang relatif tinggi, mudah mengalami korosif, dan dapat menjadi limbah yang tidak dapat terurai secara alamiah. Maka dari itu, dilakukan penelitian untuk menemukan material alternatif sebagai pengganti tulangan baja pada suatu elemen struktur. Morisco (1996) telah melakukan penelitian mengenai bambu dan peluangnya sebagai pengganti tulangan pada

beton. Dari segi kekuatan tarik, bambu memiliki kekuatan tarik mencapai 1280 kg/cm^2 . Kekuatan tarik bambu sejajar serat berkisar antara 200-300 MPa dengan kekuatan lentur rata-rata 84 MPa. Ghavami (2005) juga menyebutkan kekuatan tarik bambu yang relatif tinggi dapat mencapai 370 MPa.

Pada umumnya, bambu telah banyak dimanfaatkan pada konstruksi bangunan di Indonesia sebagai bahan baku pembuatan rumah tinggal dan jembatan darurat. Bambu memiliki keunggulan di antaranya yaitu merupakan bahan yang mudah diperoleh, keberadaannya dapat diperbaharui, dan harganya relatif murah. Namun sebagai pengganti tulangan, bambu memiliki kelemahan yaitu kekuatan lekat antara beton dan bambu relatif rendah. Dalam perencanaan dan analisis struktur beton bertulang, tulangan harus memiliki daya lekat yang baik dengan beton yang meliputinya agar tidak terjadi slip pada saat diberikan pembebanan. Kehilangan lekatan antara beton dan tulangan dapat menyebabkan keruntuhan struktural pada elemen beton bertulang.

Sebagai pengganti tulangan, karakteristik tulangan bambu seperti dimensi bambu, model tulangan bambu, dan besar bidang kontak tulangan dengan beton merupakan hal yang harus diperhatikan. Tulangan bambu dengan takikan berbentuk trapesium didesain untuk memperkecil kemungkinan terjadinya slip karena beton dan bambu akan saling mengunci pada saat dilakukan pengujian tarik (*pullout test*).

Menurut (Nawy, 1998), salah satu dari tiga jenis pengujian untuk dapat menentukan kualitas lekatan elemen tulangan adalah *pullout test*. Percobaan *pullout test* dapat memberikan perbandingan lekatan yang efisien terhadap berbagai variasi permukaan tulangan dan panjang tulangan yang tertanam di dalam beton karena gaya yang digunakan adalah gaya tarik aksial sehingga menimbulkan tegangan lekat aksial pula.

Selain beton normal, dikenal pula teknologi beton yang diperkenalkan oleh seorang peneliti jepang pada tahun 1980-an yaitu beton yang dapat memadat sendiri (*Self Compacting Concrete* atau SCC). Adukan beton segar SCC dapat mengisi seluruh volume *mould* dan mengalir melewati tulangan dengan mudah tanpa dipadatkan menggunakan alat penggetar. Kelecekan dan daya alir SCC mampu menyelimuti permukaan tulangan secara sempurna sehingga memungkinkan untuk meningkatkan kekuatan lekat antara tulangan dan SCC.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis melakukan penelitian secara eksperimental mengenai pengujian *pullout* untuk mengetahui daya lekat tulangan bambu dengan takikan tipe trapesium terhadap *Self Compacting Concrete* (SCC) akibat pengaruh pengekangan tulangan spiral. Penelitian ini dimanifestasikan dalam sebuah Tugas Akhir (Skripsi) dengan judul:

**“STUDI PENGARUH PENGEKANGAN TULANGAN SPIRAL PADA
LEKATAN BAMBU BULLUPERING TIPE TRAPESIUM DENGAN
BETON SCC”**

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pengekangan tulangan spiral sebagai efek *confinement* terhadap nilai kekuatan lekat tulangan bambu bertakikan trapesium pada beton SCC?
2. Bagaimana kekuatan lekat tulangan bambu bertakikan trapesium dengan posisi sejajar atau tidak sejajar terhadap beton?
3. Bagaimana perilaku kekuatan lekat tulangan bambu bertakikan trapesium terhadap beton normal dan beton SCC?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh pengekangan tulangan spiral sebagai efek *confinement* terhadap nilai kekuatan lekat bambu bertakikan trapesium pada beton SCC.
2. Menganalisis kekuatan lekat tulangan bambu bertakikan trapesium dengan posisi sejajar atau tidak sejajar terhadap beton.

3. Mengetahui perilaku kekuatan lekat tulangan bambu bertakikan trapesium terhadap beton normal dan beton SCC.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sejumlah manfaat sebagai berikut:

1. Keberadaan biji besi yang semakin terbatas sebagai salah satu material yang digunakan dalam pembuatan beton bertulang dapat disubtitusi oleh bambu sebagai material yang potensial karena mudah diperoleh, keberadaannya dapat diperbaharui, dan harganya relatif murah. Dengan demikian penelitian ini diharapkan dapat memberikan inovasi bagi industri konstruksi untuk memproduksi beton bertulang dengan material yang lebih ramah lingkungan.
2. Efektifitas pemanfaatan bambu sebagai pengganti tulangan dapat dilihat dari kekuatan lekat bambu terhadap beton itu sendiri sehingga penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam mengembangkan beton bertulang yang ramah lingkungan dan ekonomis.

E. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus pada tujuan penelitian yang ingin dicapai maka perlu dibuat batasan masalah sebagai berikut:

1. Jenis bambu yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bambu Bullupering (*Gigantochloa atter/ Hassk*) yang berasal dari kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan.
2. Tulangan bambu yang digunakan diberi takikan berbentuk trapesium dengan konfigurasi sejajar dan tidak sejajar.
3. Metode perawatan pada tulangan bambu adalah dengan cara dikeringkan.
4. Semen yang digunakan adalah semen portland komposit (PCC).
5. Sampel *pull-out* beton menggunakan pengekanan tulangan baja polos spiral diameter 6 mm.
6. Metode perawatan benda uji *pull-out* adalah dengan metode *curing* udara yaitu disimpan di dalam ruangan tertutup dengan temperature konstan.
7. *Superplastisizer* yang digunakan adalah Sika *viscocrete* 3115 N.
8. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil berdasarkan standar pengujian yang berlaku.
9. Pada perhitungan panjang penyaluran minimum ($L_{d\ min}$), nilai f_y yang digunakan adalah nilai f_u dari tulangan bambu sehingga diasumsikan $f_y=f_u$.

F. Sistematika Penulisan

Agar penulisan tugas akhir ini menjadi lebih sistematis, terdapat sistematika penulisan yang telah ditetapkan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan dengan urutan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini, Pokok-Pokok bahasan dalam BAB ini adalah latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini, diuraikan secara sistematis tentang teori, pemikiran, dan hasil penelitian terdahulu yang memiliki hubungan dengan penelitian ini. Bab ini memberikan kerangka dasar mengenai konsep dan teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini yang dituangkan dalam bentuk bagan alir penelitian, lokasi dan waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data serta analisis yang digunakan dalam mengolah data yang didapatkan dari lapangan maupun dari laboratorium.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, disusun hasil-hasil pengujian di antaranya adalah hasil pemeriksaan karakteristik material dan pengujian *pull-out* beton silinder dengan tulangan bambu.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Bambang Wijanarko (2011) meneliti tentang “**Pengaruh Jarak Sengkang Spiral Terhadap Kekuatan Tekan Beton**” dengan hasil sebagai berikut:

1. Mutu beton rata-rata 10.40 MPa dapat meningkat menjadi 16.28 MPa atau 56.54% dengan penambahan sengkang spiral jarak sengkang 7.5 cm, meningkat menjadi 18.79 MPa atau 80.67% dengan penambahan sengkang spiral jarak sengkang 5 cm, dan meningkat menjadi 26.92 Mpa atau 158.85% pada penambahan sengkang spiral berjarak 3 cm.
2. Sengkang dapat meningkatkan kekuatan tekan beton dan makin dekat jarak sengkang akan makin tinggi kekuatan tekan beton tersebut.

A. Arwin Amiruddin (2013) melakukan penelitian mengenai “**Perilaku Lekatan Tulangan Ulir Terhadap Material SCC**” dengan kesimpulan sebagai berikut:

1. Kekuatan tekan rata-rata yang diperoleh saat pengujian umur 28 hari yaitu untuk NVC sebesar 34.03 MPa dan SCC sebesar 39.42 MPa dengan deviasi kekuatan tekan sebesar 7.34%. Perbedaan itu disebabkan karena penambahan *admixture superplasticizer* ke dalam material SCC.

2. Hasil *pull-out test* pada variasi tulangan dan panjang penyaluran tulangan yang tertanam dalam specimen NVC dan specimen SCC memperlihatkan bahwa kekuatan lekat specimen NVC D10 lebih kecil dari specimen NVC D12 dengan deviasi sebesar 3.25% (tulangan putus) dan lebih kecil dari specimen NVC D13 dengan deviasi sebesar 11.82% (tulangan slip) dan kekuatan lekat specimen SCC D10 lebih kecil dari specimen SCC D12 dengan deviasi sebesar 3.25% (tulangan putus) dan lebih kecil dari specimen SCC D13 dengan deviasi sebesar 13.68% (tulangan slip). Hal tersebut menunjukkan bahwa kekuatan lekat akan meningkat dengan variasi tulangan dan panjang penyaluran dan efek *confinement* dan efek *gripping* beton serta kekuatan beton.

Purnawan Gunawan (2014) melakukan penelitian dengan judul **“Kajian Kekuatan Lekat Tulangan Bambu Ori Takikan Tipe V Sejajar dan Tidak Sejajar dengan Jarak Takikan 4 cm dan 5 cm Pada Beton Normal”** didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Kekuatan lekat tulangan bambu ori bertakik sejajar dan tidak sejajar berbentuk “V” dengan jarak takikan 40 mm dan 50 mm berturut-turut nilainya 0,026 MPa; 0,023 MPa dan 0,021 MPa; 0,019 MPa, sedangkan kekuatan lekat tulangan baja polos nilainya 0,1331 MPa.
2. Kekuatan lekat tulangan bambu yang memberikan hasil maksimum adalah bambu Ori takikan sejajar jarak takikan 40 mm, sedangkan

kekuatan lekat tulangan bambu yang memberikan hasil minimum adalah bambu Ori takikan tidak sejajar jarak takikan 50 mm, dengan f_c 18,30 MPa.

Ria Fahrina (2014) melakukan penelitian dengan judul **“Pemanfaatan Bambu Petung Bangka Sebagai Pengganti Tulangan Balok Beton Bertulangan Bambu”** dengan hasil sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan bambu betung sebagai pengganti tulangan baja pada beton bertulang. Sebelum digunakan sebagai pengganti tulangan, bambu telah dikeringkan selama 7 hari untuk memastikan tidak ada lagi air yang dikandung oleh bambu tersebut.
2. Hasil penelitian menunjukkan nilai kadar air bambu sebesar 18,29%; kekuatan tekan beton 28,577 MPa; kekuatan tarik bambu 350,974 MPa dengan kekuatan leleh 247,42 MPa; kekuatan lekat bambu terhadap beton 0,341 MPa; serta kekuatan lentur balok 3,874 MPa.

Benny Tri Prasetyo dkk (2016) melakukan penelitian mengenai **“Kekuatan Lekat Tulangan Bambu Wulung Takikan Tipe U Jarak 15 cm.”** Dari hasil pengujian *pull out* yang telah dilakukan, nilai kekuatan lekat rata-rata antara beton dengan bambu wulung adalah 0,134 MPa sedangkan nilai kekuatan lekat rata-rata antara beton dengan tulangan baja adalah 0,548 MPa, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai kekuatan lekat rata-rata bambu wulung bertakikan tipe U

jarak 15 cm lebih rendah 4 kali dibandingkan nilai kekuatan lekat rata-rata beton dengan tulangan baja polos diameter 8 mm.

Devi Fahreza (2020) melakukan penelitian dengan judul **“Analisa Korelasi Bentuk Benda Uji Standar dari Kekuatan Tarik Bambu Wilayah Sumatera Utara Bagian Timur.”** Adapun hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa:

1. Pengujian kadar air dari 14 jenis bambu yang berbeda menyatakan nilai rata-rata kadar air sebesar 14% dengan kadar air tertinggi berada pada bagian ruas bawah bambu.
2. Pada pengujian kekuatan tarik, bentuk benda uji yang digunakan adalah *dogbone* dan *strip*.
3. Hasil pengujian kekuatan tarik bambu menunjukkan bahwa bambu yang tidak memiliki nodia memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan dengan bambu yang memiliki nodia. Selain itu, bambu yang berbentuk *strip* menghasilkan nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi daripada bambu yang berbentuk *dogbone*.

B. Self-Compacting Concrete

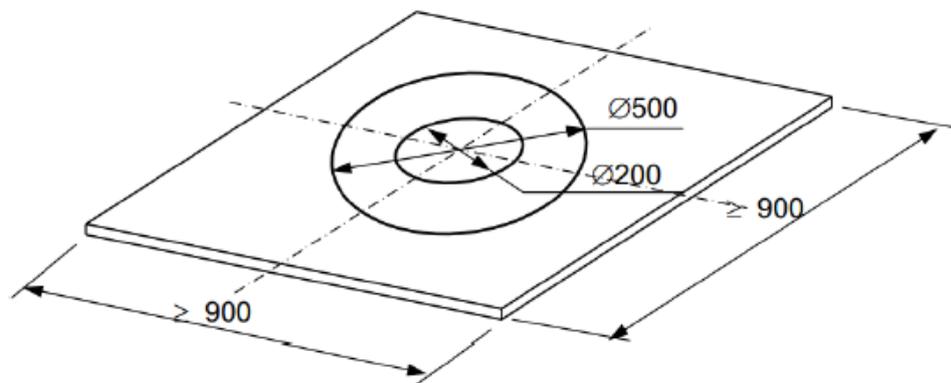
Self-Compacting Concrete atau biasa disebut dengan beton memadat mandiri adalah suatu campuran beton yang dapat memadat tanpa bantuan mesin penggetar (vibrator). Okamura pada tahun 1990an pertama kali memperkenalkan SCC sebagai solusi untuk mengatasi masalah pengecoran di Jepang.

Campuran SCC segar yang lebih cair dibandingkan campuran beton konvensional sehingga dapat mengalir dan memadat ke ruang-ruang kosong struktur bangunan yang sukar dijangkau oleh pekerja serta dapat memenuhi tinggi permukaan beton yang direncanakan (*self-levelling*) tanpa *bleeding*. Lebih lanjut, campuran SCC dapat mengalir melalui celah-celah antar tulangan struktur tanpa terjadi segregasi.

Campuran SCC dapat diperoleh dengan menambahkan *admixture* pada adukan beton berupa *high range water reducer* atau *superplasticizer*. Penambahan *superplasticizer* mengakibatkan partikel semen ini akan saling melepaskan diri dan terdispersi (menolak). Fenomena dispersi partikel semen dengan penambahan *superplasticizer* dapat menurunkan viskositas pasta semen sehingga pasta semen lebih fluid/alir. Dosis yang digunakan tergantung dari dosis yang disarankan oleh pembuat *superplasticizer*. Pemberian dosis yang berlebihan akan menyebabkan penundaan setting yang lama hingga beton justru kehilangan kekuatan akhir (Paul Nugraha. Antoni, 2007).

Menurut EFNARC (2002), campuran beton dapat dikatakan SCC jika memenuhi 3 kriteria yaitu *filling ability* (kemampuan mengisi cetakan), *passing ability* (kemampuan mengalir melewati tulangan), dan *segregation resistance* (kemampuan campuran untuk tetap homogen selama mobilisasi).

Filling ability adalah kemampuan dari campuran SCC segar untuk mengisi cetakan (*bekisting*) dengan beratnya sendiri secara gravitasi tanpa bantuan alat vibrator. Untuk menentukan "*filling ability*" dari beton SCC dilakukan *Slump-flow Test* dengan menggunakan kerucut Abrams sehingga diketahui kondisi workabilitas beton berdasarkan kemampuan penyebaran beton segar yang dinyatakan dengan besaran diameter yaitu antara 60-75 cm dengan *set-up* alat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. *Slump-Flow Test* (Sumber: EFNARC Standard, 2005)

Sementara itu, pada beton keras (*hardened concrete*) kriteria SCC adalah sebagai berikut:

- a) Memiliki tingkat absorpsi dan permeabilitas rendah,
- b) Memiliki tingkat durabilitas tinggi,
- c) Mampu membentuk campuran beton yang homogen.

Adapun kelebihan dan kekurangan dari penggunaan SCC seperti ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kelebihan dan Kekurangan SCC

(Sumber: Herbudiman & Siregar, 2013)

Kelebihan	Kekurangan
Tidak memerlukan pemadatan dengan menggunakan vibrator	Biaya SCC lebih mahal dibandingkan beton konvensional
Tenaga kerja yang diperlukan berkurang	Pembuatan bekisting harus diperhatikan karena mudah terjadi kebocoran campuran SCC pada saat pengecoran
Mengurangi kebisingan	Beton tidak boleh mengalami segregasi namun tetap memenuhi syarat <i>flowability</i>

C. Bambu

Bambu merupakan tanaman yang diklasifikasikan dalam famili *Gramineae* (rumput-rumputan) dan disebut pula *Giant Grass* (rumput raksasa). Bambu hidup hampir di seluruh dunia dengan 80% dari populasinya berada di Asia Selatan dan Asia Tenggara, kecuali di Eropa. Di Indonesia sendiri, kini tercatat lebih dari 130 jenis bambu yang tumbuh (10% dari bambu dunia) dengan umur panen 4-5 tahun (Pramono, 2012).

Pemanfaatan bambu sebagai material konstruksi sering dihadapkan pada kendala teknis maupun non teknis. Kendala teknis yaitu metode penyambungan bambu dan terbatasnya dimensi bambu

jika digunakan untuk struktur yang membutuhkan panjang bentang dan dimensi yang lebih besar. Pada umumnya, bambu memiliki diameter 75-175 mm dengan panjang efektif 750-2500 mm. Adapun kendala non teknis yaitu adanya stigma bahwa bambu hanya dimanfaatkan oleh masyarakat miskin (Mujiman, 2004). Dengan perkembangan teknologi yang ada saat ini, kita dituntut untuk dapat menanggulangi kendala-kendala tersebut agar bambu dinilai optimal sebagai material konstruksi.

Umumnya bambu dinilai memiliki tingkat keawetan alami yang rendah karena mudah terserang organisme seperti bubuk kayu kering, rayap kayu kering, dan rayap subteran. Bambu dan kayu secara anatomi memiliki beberapa kesamaan sehingga faktor-faktor yang mempengaruhi kayu juga akan memiliki pengaruh terhadap sifat-sifat bambu, seperti kadar air dan berat jenis (Liese, 1980). Menurut Janssen (1980), berikut adalah faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan bambu:

- a) Kandungan air, kekuatan tarik bambu berbanding terbalik dengan nilai kandungan atau kadar air dari bambu tersebut;
- b) Bagian arah melintang bambu, kekuatan tarik maksimum bambu terbesar adalah di bagian luar batang karena dipengaruhi oleh persentase serabut sklerenkim yang tinggi;
- c) Ada tidaknya nodia, pada bagian inter-nodia sel-selnya berorientasi ke arah sumbu aksial sedangkan di dalam nodia sel-sel yang ada

mengarah pada sumbu transversal sehingga batang-batang yang bernodia memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah.

Jansen (1980) juga menyatakan beberapa kelebihan pemanfaatan bambu yaitu:

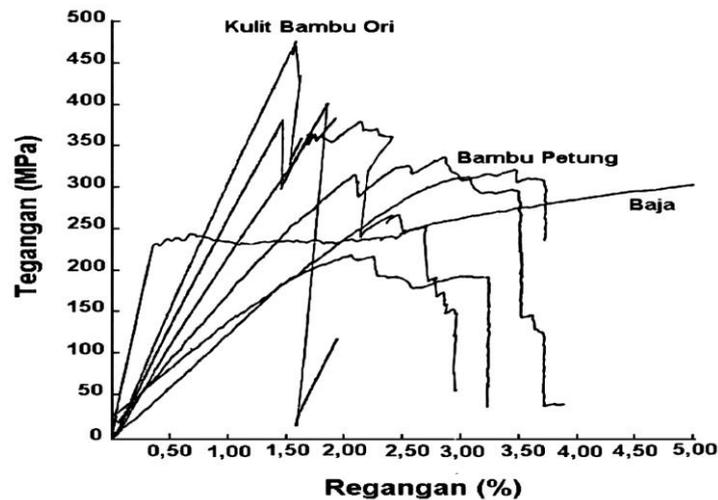
- a) Pertumbuhan bambu yang sangat cepat dan pembudidayaannya yang mudah
- b) Sifat-sifat mekanis bambu yang baik
- c) Hanya membutuhkan alat-alat sederhana dalam pengerjaannya
- d) Kulit terluar bambu banyak mengandung silica yang berfungsi sebagai pelindung bambu

Adapun kekurangan dari pemanfaatan bambu antara lain:

- a) Dibutuhkannya upaya dan metode pengawetan untuk memperoleh kondisi yang optimal untuk masa pemakaian yang cukup lama
- b) Bentuk dari batang bambu tidak utuh berbentuk silinder namun agak mengerucut
- c) Bambu bersifat mudah terbakar (*combustible material*)

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.



Gambar 2. Hubungan Tegangan-Regangan Bambu dan Baja
(Morisco, 1999)

Sifat fisik bambu sangat tergantung pada sifat tumbuh tanaman asal dan proses pengelolaannya. Sehingga walaupun dengan jenis bambu yang sama namun bisa saja sifat fisik dan mekaniknya berbeda karena berasal dari daerah yang berbeda. Selain itu, sifat fisik bambu sangat mempengaruhi sifat mekanik bambu, maka perlu dilakukan kedua pengujian baik sifat fisik maupun sifat mekanik dari bambu itu sendiri.

C.1 Bambu Bullupering (*Gigantochloa Atter Hassk Kurz*)

Widjaja (2001) menyatakan bahwa bambu dengan nama ilmiah *Gigantochloa Atter (Hassk) Kurz* (Gambar 3) memiliki nama berbeda-beda di setiap daerah yaitu bambu ater (Indonesia), pring jawa, pring legi, deling jawi, pring jawa (Jawa), pring pitik (Trenggalek), awi ater, awi

temen (Sunda), perrèng keles (Madura), buluh dabuk (Palembang), tabadiko fui (Ternate), buluh pring (Bantimurung), parin (Rantepao), bambu bonda (Poasia), wolo awo (Donggala), talelo (Tibawa), buluh pagar (Bolaang Mongondow), amut (Ratahan), kalaeng pitung (Sangihe), bulu ajer (Minahasa).



Gambar 3. Bambu Bullupering

(Sumber: Nadia Nur Afifa dkk, 2022)

Bambu jenis ini tumbuh dengan baik di daerah tropis yang lembab, di daratan rendah, di pesisir, hingga di dataran tinggi, umumnya bambu ini ditanam di pedesaan ataupun tumbuh di hutan sekunder. Bambu ini dapat tumbuh hingga mencapai 15 m dengan batang yang tegak dan rapat. Adapun ciri-cirinya yaitu rebung yang berwarna hijau kehitaman dengan ujung jingga tertutup bulu cokelat kehitaman. Ruas batangnya memiliki panjang 40-50 cm, berdiameter 6-8 cm, dan tebal dinding mencapai 8

mm. Cabang bambu ini tumbuh jauh dari permukaan tanah dengan salah satu cabang lebih besar dibandingkan cabang lainnya.

C.2 Sifat Fisis dan Mekanis Bambu

C.2.1 Kadar Air Bambu

Kadar air didefinisikan sebagai persentase kandungan air yang ada pada bambu terhadap berat kering ovennya. Pada umumnya sifat-sifat kekuatan bambu berbanding terbalik dengan tingkat kadar air yang terdapat pada bambu. Nilai kadar air bambu penting untuk diketahui karena mempengaruhi kestabilan dimensi bambu (Anokye et al, 2014).

Kadar air pada masing-masing bambu dapat berbeda hal tersebut dikarenakan pengaruh keadaan udara atau atmosfer. Kadar air bambu pada kondisi kering udara maksimum adalah 20%. Menurut Liese (1980), kandungan air dalam batang bambu bervariasi baik arah memanjang maupun arah melintang. Seperti halnya kayu, bambu bersifat hidroskopis artinya air yang terkandung di dalam sel-selnya bergantung pada suhu dan kelembaban udara di sekitarnya. Berdasarkan ISO 22157-2019, besarnya kadar air dihitung dengan Persamaan (1) sebagai berikut:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

dengan,

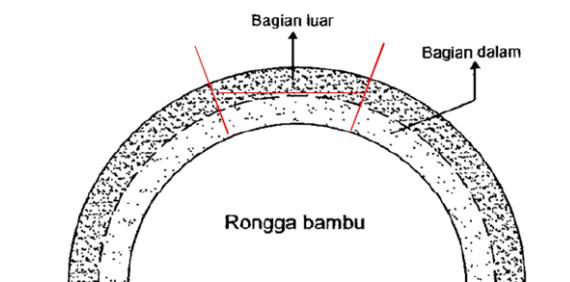
W = Kadar air (%)

W₁ = Berat spesimen awal bambu (gram)

W_2 = Berat spesimen akhir bambu (gram)

C.2.2 Kekuatan Tarik Bambu

Kekuatan tarik dapat diartikan sebagai kemampuan bambu dalam menahan gaya-gaya yang berusaha menarik lepas bagian bambu satu sama lain. Kekuatan tarik dibedakan menjadi dua jenis yaitu kekuatan tarik sejajar arah serat dan kekuatan tarik tegak lurus arah serat. Nilai kekuatan tarik sejajar arah serat akan lebih besar jika dibandingkan dengan kekuatan tarik tegak lurus arah serat. Pada tahun 1999, Morisco melakukan pengujian spesimen pada beberapa macam bambu untuk mengetahui perbedaan kekuatan bambu bagian luar dengan bagian dalam. Bambu dibelah tangensial sehingga didapatkan tebal sekitar setengah tebal bambu utuh (Gambar 4) sedangkan hasil pengujian disajikan dalam Tabel 2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa bambu bagian luar memiliki kekuatan tarik yang jauh lebih besar dibandingkan bambu bagian dalam. Hal tersebut diakibatkan karena pada bagian luar bambu terdapat kulit bambu yang memberikan kontribusi besar bagi kekuatannya.



Gambar 4. Pengambilan Spesimen Bambu (Sumber: Morisco, 1999)

Tabel 2. Kekuatan Tarik Bambu Tanpa Nodia Kering Oven

(Sumber: Morisco, 1999)

Jenis Bambu	Tegangan Tarik (MPa)	
	Bagian Dalam	Bagian Luar
Ori	164	417
Petung	97	285
Wulung	96	237

Bentuk benda uji pada pengujian kekuatan tarik bambu ini berbentuk *strip* mengacu pada **ASTM D3039**. Kekuatan tarik bambu dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2) sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2)$$

dengan,

σ = Kekuatan/tegangan tarik (MPa)

P = Beban tarik (N)

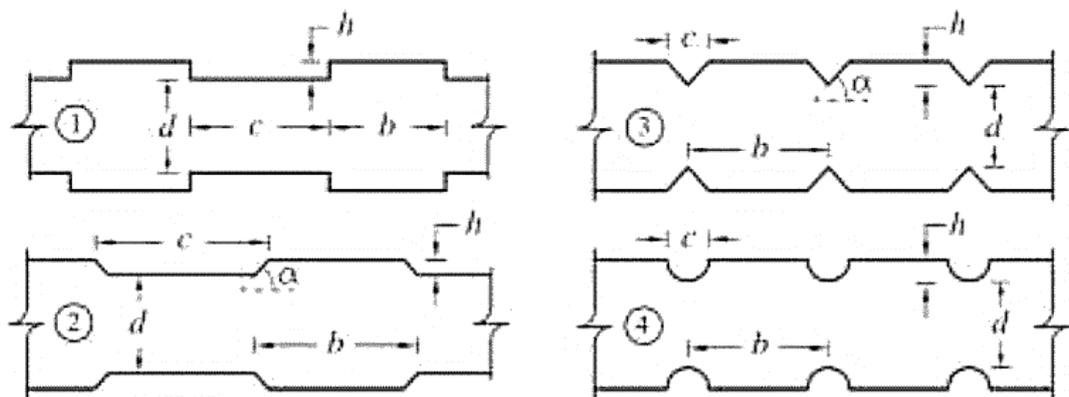
A = Luas penampang batang benda uji (mm²)

C.3 Takikan Bambu

Permukaan bambu yang polos rawan menyebabkan pergelinciran (*slip*) antara tulangan dan beton. Penggunaan takikan pada permukaan tulangan bambu dapat meningkatkan kekuatan lekat antara tulangan dan beton. Takikan dapat mengunci beton yang berada di sekeliling tulangan untuk menghindari penggelinciran. Pendekatan model tulangan bambu dilakukan dengan membuat takikan pada bagian sisi kiri dan kanan. Hal ini diharapkan akan meningkatkan kekuatan lekat antara bambu dan beton. Tulangan bambu bertakikan

dapat mengurangi pengaruh penyusutan atau pengembangan karena kandungan air, dengan adanya bagian saling mengunci antara permukaan tulangan dan beton. (Azadeh, 2013).

Untuk jenis-jenis takikan terdapat beberapa jenis tipe takikan yaitu takikan tipe U, takikan tipe trapesium, takikan tipe V, dan takikan tipe setengah lingkaran yang ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Tipe Takikan Tulangan Bambu

(Sumber: Azadeh, 2013)

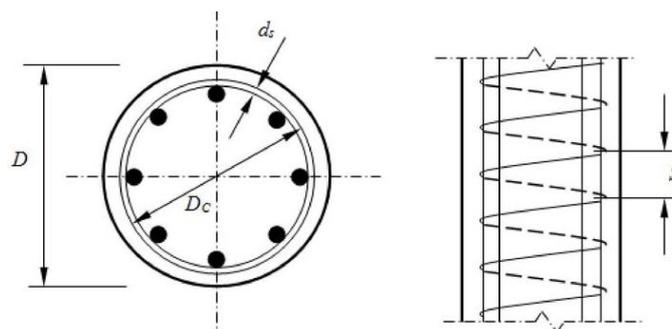
Pada penelitian ini digunakan model takikan dengan tipe trapesium. Berikut contoh bambu tulangan yang telah diberi takikan tipe trapesium dengan jarak antar takikan sepanjang 40 mm ditampilkan pada Gambar 6.



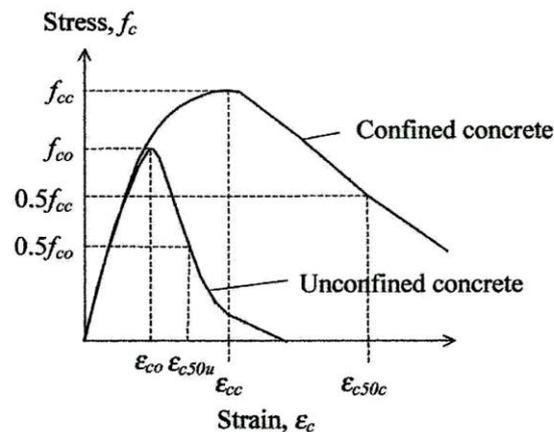
Gambar 6. Takikan Tipe Trapesium

D. Pengekangan Tulangan Spiral

Bentuk lain dari tulangan geser adalah tulangan spiral/melingkar. Tulangan spiral digunakan untuk meningkatkan daktilitas beton. Beton yang tidak berada di dalam efek kekangan dari tulangan spiral akan mengalami *spalling* yang tidak wajar dan mengalami gaya lateral seperti gaya gempa secara tiba-tiba. Sehingga, spasi/jarak dan ukuran tulangan spiral direncanakan untuk mempertahankan beban selain beban sendiri kolom. Jarak antara tulangan spiral berada pada rentang 1-3 inchi (25,2-76,2 mm) (Edward G. Nawy, 1998) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Tulangan Spiral Pada Kolom



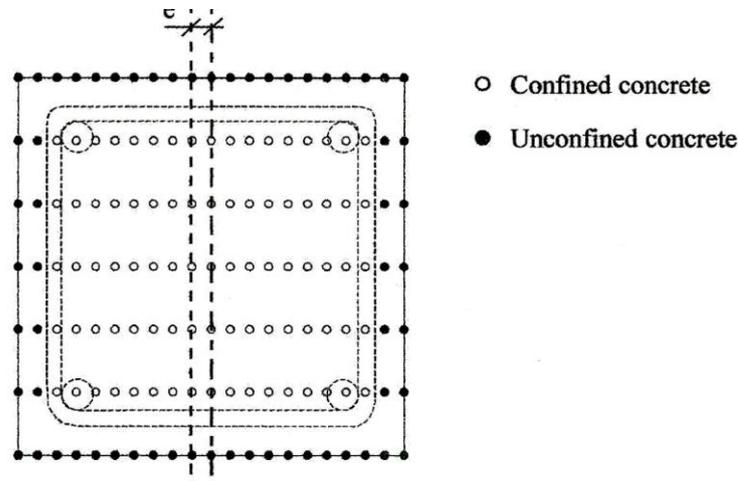
Gambar 8. Kurva Tegangan dan Regangan Pada Beton Terkurung (*Confined Concrete*) dan Beton Tidak Terkurung (*Unconfined Concrete*)

(Sumber: Christina Claeson Research Assistant, M.Sc.)

Gambar 8 di atas yang dikutip melalui Christina Claeson Research Assistant, M.Sc 2010 menunjukkan bahwa beton yang terkurung (*confined concrete*) mempunyai kuat tekan (f_c) dan regangan (ϵ) yang lebih baik dibandingkan beton yang tidak terkurung (*unconfined concrete*). Penggunaan kurva ini karena beton yang terkurung oleh sengkang akan mempunyai kuat tekan yang tinggi dan kerusakan yang terjadi lebih daktail. Hal ini terjadi karena beton akan sulit pecah karena tertahan oleh sengkang. Semakin rapat sengkang akan semakin tinggi kuat tekannya. Hal ini terjadi karena baja tulangan sengkang juga dapat memikul beban vertikal.

Penggunaan sengkang juga mempengaruhi kuat tekan pada beton dimana kuat tekan di dalam sengkang lebih besar jika

dibandingkan dengan kuat tekan beton yang berada di luar sengkang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Gaya Tekan antara Beton di Dalam Sengkang dan Beton di Luar Sengkang.

(Sumber: Christina Claeson Research Assistant, M.Sc.)

E. Pengujian Pull Out

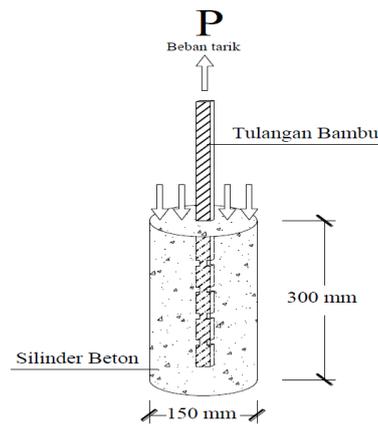
Menurut Nawy (1986), kekuatan lekat antara baja tulangan dan beton yang membungkusnya dipengaruhi oleh faktor:

- 1) Adhesi antara elemen beton dan bahan penguatnya yaitu tulangan dimana adhesi ini adalah gaya tarik menarik (ikatan kimiawi) yang terbentuk pada seluruh bidang kontak antara beton dan tulangan akibat adanya proses reaksi pergeseran semen.
- 2) Efek *gripping* (memegang) sebagai akibat dari susut pengeringan beton di sekeliling tulangan.
- 3) Tahanan geser (friksi) terhadap gelincir dan saling mengunci pada saat elemen tulangan mengalami tarik. Mekanisme ini terbentuk

karena adanya permukaan yang tidak beraturan pada bidang kontak antara tulangan dengan beton.

- 4) Efek kualitas beton termasuk kekuatan tarik dan tekannya. Akibat desakan oleh tegangan radial, beton mengalami tegangan tarik keliling, jika tegangan tarik beton terlampaui maka akan terjadi retak belah.
- 5) Efek mekanis penjangkaran ujung tulangan yaitu dengan panjang penyaluran/panjang lewatan, bengkokan tulangan, dan persilangan tulangan.
- 6) Diameter, bentuk, dan jarak tulangan.

Dalam pengujian pull-out secara langsung, panjang penanaman tulangan baja dan bambu diperoleh dengan memperhitungkan tulangan yang ditanam di dalam massa beton. Gaya tarik sebesar P diberikan pada tulangan sehingga tercabut dan mengalami gaya geser antara permukaan tulangan dan beton. Gaya ini selanjutnya akan ditahan antara tulangan dengan beton di sekelilingnya. Tegangan lekat bekerja sepanjang tulangan yang tertanam di dalam massa beton, sehingga total gaya yang harus dilawan sebelum tulangan tercabut keluar dari massa beton adalah sebanding dengan luas selimut bambu tulangan yang tertanam dikalikan dengan kekuatan lekat antara beton dengan bambu tulangan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 10 berikut:



Gambar 10. Pengujian Pull Out

F. Lekatan Beton dengan Tulangan Bambu

Ikatan efektif antara beton dan tulangan mutlak perlu, karena penggunaan secara efisien kombinasi tulangan dan beton tergantung pada pelimpahan tegangan beton pada tulangan. Kekuatan ikatan atau pengukuran efektivitas kekuatannya pegangan antara beton dan tulangan, paling baik ditentukan sebagai tegangan yang ada dimana terjadi pergelinciran yang sangat kecil. Ikatan awal ditahan oleh adhesi (daya perlekatan dua buah benda yang berlainan) dan daya tahan terhadap geseran. Tetapi segera setelah pergelinciran dimulai, maka adhesi hilang dan ikatan yang berikutnya ditahan oleh ketahanan terhadap geseran dan secara mekanik (Murdock et al dalam Gilang, 2011).

Kekuatan lekat dapat terjadi akibat adanya saling geser antara tulangan dan beton di sekelilingnya. Kuat lekat merupakan kombinasi kemampuan antara tulangan dan beton yang menyelimutinya dalam menahan gaya-gaya yang dapat menyebabkan lepasnya lekatan

antara tulangan dan beton (Winter, 1993). Gaya lekat ini akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya diameter tulangan, karena gaya lekat merupakan luas bidang singgung dikalikan dengan tegangan lekat. Hal ini berarti bahwa dengan diameter tulangan yang lebih besar mempunyai luas permukaan yang lebih besar juga, sehingga gaya yang dibutuhkan untuk menarik keluar juga semakin besar. Pada penggunaan sebagai salah satu komponen bangunan, beton selalu diperkuat dengan batang tulangan yang diharapkan dapat bekerja sama dengan baik, sehingga hal ini akan menutup kelemahan yang ada pada beton yaitu kurang kekuatan dalam menahan gaya tarik, sedangkan beton hanya diperhitungkan untuk menahan gaya tekan.

Pengujian kekuatan lekat beton bertulangan baja dapat dihitung dengan rumus pada Persamaan (3) berdasarkan **ASTM C-234-91a**.

$$P = L_d \pi d_s \mu \dots\dots\dots (3)$$

$$\mu = \frac{P}{L_d \pi d_s} \dots\dots\dots (4)$$

Luas bidang kontak pada tulangan bambu dapat disesuaikan dengan keliling penampang melintang dikalikan panjang penanaman. Sehingga perhitungan kekuatan lekat tulangan bambu dapat dihitung dengan Persamaan (5).

$$\mu = \frac{P}{L_d 2(l_b + t_b)} \dots\dots\dots (5)$$

dengan,

P = Beban (N)

L_d = Panjang penanaman (mm)

μ = Kekuatan lekat antara beton dengan tulangan (MPa)

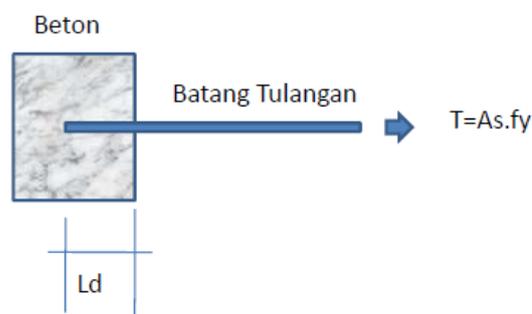
d_s = Diameter tulangan (mm)

l_b = Lebar tulangan bambu (mm)

t_b = Tebal tulangan bambu (mm)

G. Panjang Penyaluran Minimum

Panjang penyaluran minimum menurut **SNI 2847-2019** adalah panjang tulangan tertanam yang diperlukan untuk mengembangkan kuat rencana tulangan pada suatu penampang kritis. Panjang penyaluran menentukan tahanan terhadap tergelincirnya tulangan. Adapun dasar utama dari teori panjang penyaluran tersebut adalah dengan memperhitungkan sebuah tulangan yang tertanam di dalam beton seperti yang diilustrasikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Skema Panjang Penyaluran Tulangan dan Beton
Agar batang dapat menyalurkan gaya sepenuhnya melalui ikatan, maka batang tersebut harus tertanam di dalam beton hingga

suatu kedalaman tertentu yang dinyatakan dalam panjang penyaluran. Sebuah gaya tarik T bekerja pada tulangan tulangan tersebut. Gaya ini ditahan oleh lekatan antara beton sekeliling dengan tulangan. Bila tegangan lekat ini bekerja merata pada seluruh bagian batang yang tertanam, total gaya yang harus dilawan sebelum batang tersebut keluar dari beton akan sama dengan panjang bagian yang tertanam dikalikan keliling tulangan kali tegangan lekat.

Park dan Paulay (1975) mengemukakan bahwa untuk menghitung besarnya panjang tulangan yang tertanam pada beton diperlukan adanya nilai tegangan lekat (μ). Hal ini berarti bahwa tegangan lekat berhubungan erat dengan panjang penanaman tulangan pada beton. Sehingga panjang penyaluran minimum dapat dirumuskan seperti pada Persamaan (6) sebagai berikut:

$$l_{d \min} = k \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} A_s \dots\dots\dots (6)$$

(Sumber: Edward G. Nawy, 2005)

Dengan,

$l_{d \min}$ = Panjang penyaluran minimum (mm)

f_y = Tegangan leleh baja (MPa)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

A_s = Luas tulangan (mm²)

k = Koefisien panjang penyaluran minimum

Dimana nilai k dihitung dengan Persamaan (7) yaitu:

$$k = \frac{\sqrt{f'c}}{\pi D \mu} \dots\dots\dots (7)$$

Oleh karena itu, berdasarkan Persamaan (6) dan (7), maka dapat dihitung besar panjang penyaluran tulangan bambu dengan menyesuaikan luas penampang tulangan seperti pada Persamaan (8).

$$k = \frac{\sqrt{f'c}}{2(l+t) \mu} \dots\dots\dots (8)$$

Dengan,

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

l = Lebar tulangan bambu (mm)

t = Tebal tulangan bambu (mm)

μ = Tegangan lekat (MPa)

H. Tipe Keruntuhan

Keruntuhan lekatan antara baja tulangan dan beton yang mungkin terjadi pada saat dilakukan pengujian biasanya ditunjukkan oleh salah satu atau lebih dari peristiwa berikut ini (Nuryani TA, 2005:12) :

- 1) *Transverse Failure*, yaitu adanya retak pada beton arah transversal/melintang akibat tegangan tarik yang tidak dapat ditahan oleh selimut beton, keruntuhan ini akan menurunkan tegangan lekat antara baja tulangan dan beton.
- 2) *Splitting Failure*, yaitu adanya retak pada beton arah longitudinal/memanjang akibat tegangan radial geser yang tidak

dapat ditahan oleh selimut beton, keruntuhan ini akan menurunkan tegangan lekat antara baja tulangan dan beton.

- 3) *Pull Out Failure/Slip* yaitu kondisi dimana baja tulangan tercabut dari beton tanpa mengalami retak yang diakibatkan komponen tegangan geser yang memecah lekatan antara baja tulangan dan beton.
- 4) Baja tulangan mencapai leleh yaitu apabila baja tulangan meleleh diikuti oleh kontraksi/pengecilan diameter tulangan, hal ini mengakibatkan tidak berfungsinya lekatan terhadap beton yang mengelilinginya, sehingga akan menurunkan atau bahkan hilangnya daya lekatan antara baja tulangan dan beton.
- 5) Putusnya tulangan apabila penanamannya terlalu panjang.