

TUGAS AKHIR

**EFEK TAKIKAN BAMBU BULLUPERING TIPE TRAPESIUM
TERHADAP KEKUATAN LEKATAN BETON SCC**

***THE EFFECT OF TRAPEZIUM NOTCHES OF BAMBOO
BULLUPERING ON CONCRETE SCC
BOND STRENGTH***

**ASIHANA RANTE PARINDING
D011 18 1346**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2022**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**EFEK TAKIKAN BAMBU BULLUPERING TIPE TRAPESIUM TERHADAP
KEKUATAN LEKATAN BETON SCC**

Disusun dan diajukan oleh:

ASIHANA RANTE PARINDING

D011 18 1346


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,


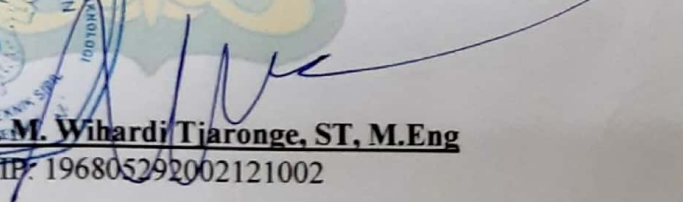
Pembimbing I,

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 Tjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Asihana Rante Parinding, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Efek Takikan Bambu Bullupering Tipe Trapesium Terhadap Kekuatan Lekatan 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, September 2022

Yang membuat pernyataan,



Asihana Rante Parinding
NIM: D011 18 1346

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tugas Akhir yang berjudul "**Efek Takikan Bambu Bullupering Tipe Trapesium Terhadap Kekuatan Lekatanan Beton SCC**", ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan pembaca dan juga kepada penulis dalam memahami beton bertulang.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk dan perhatian dari beberapa pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak **Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Bapak **Prof. Dr. Ing. Herman Parung, M. Eng.**, selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. Bapak **Dr. Eng. Ir. Andi Arwin Amiruddin, S.T., M.T.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan dan selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
5. Seluruh dosen, staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil serta staf Laboratorium dan asisten Lab Bahan dan Struktur Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu dan mendukung penulisan tugas akhir ini.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Piter Parinding** dan ibunda **Feronika Raya Rante** atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan dan kebaikan selama ini, baik spritual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.

2. Saudara tercinta **Adi, Tono, Dey** dan **Astrid** atas doa, kasih sayang, segala dukungan dan kebaikan selama ini.
3. **Nirwana, Yuyun, Ica, Upe, Fitri, Ipa, Yusriah, Melani** dan **Nadia** selaku sahabat yang selalu membantu dan memberikan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. **Kak Herlina, Kak Fajar dan Kak Nasrun** selaku rekan TA yang senantiasa yang memberi masukan dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Teman seperjuangan di Laboratorium Riset Struktur Gempa dan Rekayasa Struktur **Malsi, Ius, Ica, Nadia, Ucil, Mega, Eka** dan **Sukma** serta kakak-kakak senior yang senantiasa banyak memberikan bantuan dan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Teman-teman, yakni **Romba, Amos, Egi, Bara, Sopian** yang telah banyak membantu selama proses penelitian ini.
7. Keluarga **KMKO SIPIL** dan **KMKO Teknik**, terkhusus angkatan 2018 dan **PMK KOTA/ PERKANTAS MAKASSAR** yang senantiasa memberikan dukungan dan doa dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Saudara-saudari **TRANSISI 2019**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Angkatan 2018 yang senantiasa memberikan warna yang begitu indah, dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
9. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu dengan semua bantuan dan dukungan hingga penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini banyak kekurangan dan memerlukan perbaikan. Oleh karena itu, dengan segala keterbukaan penulis mengharapkan masukan dari semua pihak. Akhirnya semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, September 2022

Asihana Rante Parinding
D011 18 1346

ABSTRAK

Beton bertulang adalah material utama yang banyak digunakan pada konstruksi saat ini. Jenis tulangan yang biasa digunakan adalah tulangan baja. Namun, harga yang relatif tinggi serta mudahnya terkena korosi menyebabkan perlunya alternatif tulangan lain, yaitu bambu. Bambu memiliki nilai kekuatan tarik yang mendekati baja, sumber daya alam yang dapat diperbaharui (*renewable*), murah, mudah ditanam, pertumbuhan cepat, dapat mereduksi efek pemansan global (*global warming*) namun kekuatan lekatannya rendah. Rendahnya kekuatan lekatan bisa diminimalisir dengan memberikan beberapa perlakuan pada tulangan bambu, salah satunya memberi takikan pada bambu.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bentuk takikan trapesium sejajar dan tidak sejajar terhadap nilai kekuatan lekatan pada beton konvensional dan beton SCC dan mengidentifikasi tipe keruntuhan lekatan antara beton dan tulangan bambu bertakikan trapesium pada beton konvensional dan beton SCC.

Pembuatan dan pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanudin. Terdapat 4 jenis sampel yang dibedakan berdasarkan jenis mutu beton dan bentuk takikan (beton konvensional takikan sejajar, beton konvensional takikan tidak sejajar, beton SCC takikan sejajar dan beton SCC takikan tidak sejajar) dengan bentuk benda uji silinder 150 mm x 300 mm.

Berdasarkan hasil pengujian *pull out*, rata-rata kekuatan lekatan beton konvensional takikan sejajar dan tidak sejajar adalah 0,62 MPa dan 0,61 MPa dan beton SCC takikan sejajar dan tidak sejajar adalah 0,64 MPa dan 0,62 MPa. Takikan sejajar memiliki bentuk ikatan efektif antara beton dan tulangan pada sisi kanan dan kiri sehingga mengunci beton yang berada di sekeliling tulangan untuk menghindari penggelinciran sehingga nilai kekuatan lekatan takikan sejajar lebih baik dibanding takikan tidak sejajar. Begitupun dengan mutu beton, bahwa beton SCC memiliki nilai kekuatan lekatan lebih besar dibandingkan beton konvensional.

Kata kunci : Beton bertulang, tulangan bambu, takikan sejajar dan tidak sejajar, uji *pull out* dan kekuatan lekatan.

ABSTRAC

Reinforced concrete is the main material that is widely used in construction today. The type of reinforcement commonly used is reinforcing bar. However, the relatively high price and the ease of exposure to corrosion cause the need for an alternative to other reinforcement, namely bamboo. Bamboo has a strong tensile value that is close to bar, renewable natural resources, cheap, easy to plant, fast growth, can reduce the effect of global warming but is strongly low. The lowstrength of bond strength can be minimized by giving several treatments to bamboo reinforcement, one of which is giving notches to bamboo.

This study aims to determine the effect of parallel and non-parallel trapezium notches on the value of bond strength in conventional concrete and SCC concrete and identify the type of collapse of the attachment between concrete and trapezium notches bamboo reinforcement on conventional concrete and SCC concrete.

The manufacture and testing of test objects is carried out in the Structure and Materials Laboratory of the Department of Civil Engineering, Hasanudin University. There are 4 types of samples that are distinguished based on the type of concrete quality and notch shape (parallel notches conventional concrete, non-parallel notches conventional concrete, parallel notches SCC concrete and non-parallel notches SCC concrete) with the shape of a cylindrical test object 150 mm x 300 mm.

Based on the results of the pull out test, the average bond strength of parallel and non-parallel conventional concrete is 0.62 MPa and 0.61 MPa and the parallel and non-parallel SCC concrete is 0.64 MPa and 0.62 MPa. Parallel notches have the form of an effective bond between concrete and reinforcement on the right and left sides so that they lock the concrete around the reinforcement to avoid slipping so that the bond strength value of the parallel notch is better than the non-parallel notch. Likewise with the quality of concrete, that SCC concrete has a greater bond strength value than conventional concrete.

Keywords : Reinforced concrete, bamboo reinforcement, parallel and parallel notches, pull out test and bond strength.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRAC.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	5
E. Batasan Masalah	5
F. Sistematika Penulisan	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Penelitian Terdahulu	8
B. Bambu.....	13
B.1. Bambu Bullupering.....	17
B.2. Sifat Fisis dan Mekanis Bambu	19
B.2.1. Kadar Air.....	21
B.2.2.Kekuatan Tarik.....	23
C. <i>Self Compacting Concrete</i>	25
D. Material Penyusun <i>Self Compacting Concrete</i>	29
D.1. Semen Portland	29
D.2. Agregat	30
D.2.1 Agregat Kasar.....	31

D.2.2 Agregat Halus	32
D.3. Air	35
D.4. Bahan Tambah	37
E. Pengujian Karakteristik Beton	38
E.1. Kekuatan Tekan	38
E.2. Kekuatan Lentur.....	40
E.3. Kekuatan Tarik Belah.....	41
F. Lekatan Antara Bambu dan Beton.....	42
G. Pengujian <i>Pull out</i>	45
H. Sifat-Sifat Keruntuhan Lekatan	46
I. Panjang Penyaluran (L_d).....	47
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	49
A. Prosedur Penelitian	49
B. Waktu dan Lokasi Penelitian	50
C. Jenis Penelitian dan Sumber Data	51
D. Alat dan Bahan Penelitian	51
E. Pemeriksaan Karakteristik Material	53
E.1. Kerikil.....	53
E.2. Pasir	54
E.3. Bambu	55
F. Pembuatan Benda Uji.....	55
G. Perawatan (<i>Curing</i>) Benda Uji	59
H. Pengujian Benda Uji.....	60
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	61
A. Pemeriksaan Karakteristik Agregat	61
B. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis dan Mekanis Bambu	61
B.1. Kadar Air Bambu.....	62
B.2. Kekuatan Tarik Bambu.....	63

C. Rancangan Campuran	65
D. Hasil Pengujian Karakteristik Benda Uji	66
D.1. Kekuatan Tekan Beton	66
D.2. Kekuatan Tarik Belah Beton	68
D.3. Kekuatan Lentur Beton	69
D.4. Kekuatan Lekatan Beton Tulangan Bambu.....	69
E. Tipe Keruntuhan Benda Uji	76
F. Panjang Penyaluran ($L_{d_{min}}$)	76
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	79
A. Kesimpulan	79
B. Saran	80
DAFTAR PUSTAKA.....	81
LAMPIRAN	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Hubungan Tegangan-Regangan Bambu dan Baja	16
Gambar 2. Potongan Bambu.....	19
Gambar 3. Batang bambu menerima gaya tarik	24
Gambar 4. Benda Uji Tarik Strip.....	25
Gambar 5. Pengujian <i>Pull out</i>	46
Gambar 6. <i>Flowchart</i> Pengujian	50
Gambar 7. Lokasi Penelitian	50
Gambar 8. Material Yang Digunakan	53
Gambar 9. Sketsa Tulangan Bambu (a) Takikan Sejajar; (b) Takikan Tidak Sejajar; (c) Sampel <i>Pull Out</i>	57
Gambar 10. Curing Benda Uji	59
Gambar 11. Pengujian <i>Pull Out</i>	60
Gambar 12. Histogram Kadar Air Bambu	63
Gambar 13. Pengujian Kekuatan Tarik Bambu	63
Gambar 14. Bagian Batang Bambu.....	65
Gambar 15. Pengujian Kekuatan Tekan Beton	67
Gambar 16. Pengujian Kekuatan Tekan Beton	67
Gambar 17. Hubungan Beban dan Perpindahan Beton Konvensional dan Beton SCC.....	71
Gambar 18. Grafik Hubungan Beban dan Perpindahan pada Beton SCC	72
Gambar 19. Grafik Hubungan Beban dan Perpindahan pada Beton Konvensional	73
Gambar 20. Histogram Perbandingan Kekuatan Lekatan Beton Konvensional dan Beton SCC	75
Gambar 21. Histogram Panjang Penyaluran Beton Konvensional dan Beton SCC.....	78

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Susunan Butiran Agregat Kasar	31
Tabel 2. Tabel Distribusi Butiran.....	34
Tabel 3. Pemeriksaan karakteristik kerikil.....	54
Tabel 4. Pemeriksaan karakteristik pasir	54
Tabel 5. Pemeriksaan karakteristik bambu	55
Tabel 6. Jumlah Benda Uji	56
Tabel 7. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat	61
Tabel 8. Hasil Perhitungan Kadar Air Bambu	62
Tabel 9. Hasil Uji Tarik Bambu	64
Tabel 10. Komposisi <i>Mix Design</i> Beton Konvensional	66
Tabel 11. Komposisi <i>Mix Design</i> Beton SCC.....	66
Tabel 12. Hasil Uji Kekuatan Tekan Beton Konvensional	67
Tabel 13. Hasil Uji Kekuatan Tekan Beton SCC	67
Tabel 14. Hasil Uji Kekuatan Tarik Belah Beton Konvensional	68
Tabel 15. Hasil Uji Kekuatan Tarik Belah Beton SCC	68
Tabel 16. Hasil Uji Kekuatan Lentur Belah Beton Konvensional	69
Tabel 17. Hasil Uji Kekuatan Lentur Beton SCC.....	69
Tabel 18. Data Uji <i>Pull Out</i>	70
Tabel 19. Perhitungan L_{dmin} Beton Konvensional	77
Tabel 20. Perhitungan L_{dmin} Beton SCC.....	77

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Beton bertulang (*reinforced concrete*) adalah struktur komposit yang sangat baik untuk digunakan pada konstruksi bangunan. Pada struktur beton bertulang terdapat berbagai keunggulan akibat dari penggabungan dua buah bahan, yaitu beton (agregat halus, agregat kasar, semen, air dan zat aditif) dan baja sebagai tulangan. Keunggulan dari beton adalah kekuatan tekannya yang tinggi, sementara baja tulangan sangat baik untuk menahan gaya tarik dan geser. Penggabungan antara material beton dan baja tulangan memungkinkan pelaku konstruksi untuk mendapatkan bahan baru dengan kemampuan untuk menahan gaya tekan, tarik dan geser sehingga struktur bangunan secara keseluruhan menjadi lebih kuat dan aman.

Menyadari beton memiliki kekuatan tekan (*compression strength*) tinggi, namun memiliki kekuatan tarik (*tensile strength*) relatif rendah, dikembangkan beton yang diberi perkuatan (*reinforcement*) dengan menambahkan tulangan (*reinforcing bar*). Beton yang kemudian dikenal sebagai beton bertulang diberi perkuatan dari batang besi atau baja untuk memberikan kekuatan tarik (McCormac, 2004, hlm. 1-2). Penambahan tulangan di dalam massa beton tidak hanya memberi kekuatan tarik, tetapi juga memungkinkan beton bertulang untuk dibuat dalam bentangan horizontal, bahkan dirancang dalam sebuah struktur monolitik.

Penerapan beton bertulang pada struktur bangunan biasanya dapat dijumpai pada: pondasi (jenis pondasi dalam seperti tiang pancang, *bored pile*, balok ikat (*sloof*), kolom, balok, plat beton, dan dinding geser (*shear wall*). Peningkatan laju penduduk memengaruhi meningkatnya kebutuhan tempat tinggal. Dengan meningkatnya kebutuhan akan tempat tinggal maka kebutuhan akan beton bertulang akan semakin meningkat.

Penggunaan tulangan baja ternyata menimbulkan masalah baru, yaitu baja yang digunakan sebagai tulangan merupakan hasil tambang yang tidak dapat diperbarui, sehingga suatu saat keberadaannya dapat habis. Bahan dasar pembuatan baja (bijih besi) semakin terbatas dan tidak mungkin dapat ditingkatkan produksinya. Dengan kata lain, hal tersebut akan memicu kenaikan harga baja. Dalam upaya pencarian alternatif, dilakukan penelitian-penelitian untuk mencari bahan lain yang dapat digunakan sebagai pengganti baja tulangan, seperti yang dilakukan Morisco (1999), yaitu dengan memanfaatkan bambu sebagai tulangan beton.

Bambu adalah tanaman yang banyak tumbuh di wilayah Indonesia dan termasuk ordo *Poales*, familia *Poaceae* dan genus *Gigantochloa*. Penggunaan bambu sebagai bahan bangunan telah sering digunakan masyarakat Indonesia, khususnya masyarakat pedesaan. Bambu dipilih sebagai alternatif pengganti baja dengan pertimbangan 6 kriteria teknologi tepat guna, yaitu teknis, ekonomis, ergonomis, sosial budaya, hemat energi serta ramah lingkungan. Secara teknis bambu telah banyak diteliti

dan memenuhi syarat untuk tulangan beton terutama yang diterapkan untuk sistem struktur bangunan sederhana, harga bambu murah karena sangat banyak dan mudah tumbuh di Indonesia, ergonomis karena tidak akan merusak keselamatan dan kesehatan manusia, sesuai dengan sosial budaya karena bambu telah banyak dipergunakan untuk bahan bangunan, prosesnya cukup mempergunakan energi alami, seperti pengeringan cukup dengan sinar matahari, selalu dapat diperbaharui karena mudah tumbuh di seluruh Indonesia sehingga tidak akan merusak lingkungan.

Salah satu dasar anggapan yang digunakan dalam perancangan dan analisis struktur beton bertulang ialah bahwa ikatan antara tulangan dan beton yang mengelilinginya berlangsung sempurna tanpa terjadi penggelinciran atau pergeseran. Berdasarkan atas anggapan tersebut dan juga sebagai akibat lebih lanjut, pada waktu komponen struktur beton bertulang bekerja menahan beban akan timbul tegangan lekatan yang berupa *shear interlock* pada permukaan singgung antara batang tulangan dengan beton (Dipohusodo, 1999).

Kelayakan penggunaan bambu sebagai bahan penguat dalam penggunaan struktural harus dievaluasi melalui uji *pull out*. Percobaan *pull out* memberikan perbedaan yang baik antara efisiensi lekatanan berbagai jenis permukaan tulangan dan panjang penanaman (*embedment length*). Ikatan lekatan dipengaruhi oleh beberapa kondisi seperti ukuran tulangan, pemodelan kulit tulangan, kondisi kelembaban, jarak penanaman dan kualitas beton (Youngsi Jung, 2006).

Dimensi bambu, model tulangan bambu dan besar bidang kontak tulangan dengan bambu merupakan hal yang harus diperhatikan karena akan mempengaruhi karakteristik kekuatan lekatan tulangan bambu terhadap beton. Adanya lekatan antara tulangan dengan beton merupakan salah satu syarat struktur beton bertulang untuk mencegah selip. Takikan pada tulangan bambu dapat membantu mengunci antara beton dan tulangan. Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka dilakukan penelitian dengan judul:

“STUDI EKSPERIMENTAL EFEK TAKIKAN TRAPESIUM PADA BAMBU BULLUPERING TERHADAP KEKUATAN LEKATAN BETON SCC”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat dirumuskan beberapa masalah yaitu :

1. Bagaimana pengaruh bambu bertakikan trapesium sejajar dan tidak sejajar sebagai pengganti tulangan baja terhadap nilai kekuatan lekatan beton konvensional dan beton SCC ?
2. Bagaimana tipe keruntuhan lekatan antara beton dan tulangan bambu bertakikan trapesium pada beton konvensional dan beton SCC ?

C. Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis pengaruh bambu bertakikan trapesium sejajar dan tidak sejajar sebagai pengganti tulangan baja terhadap nilai kekuatan lekatan pada beton konvensional dan beton SCC
2. Menganalisis tipe keruntuhan lekatan antara beton dan tulangan bambu bertakikan trapesium pada beton konvensional dan beton SCC

D. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk mengetahui penggunaan tulangan bambu sebagai alternatif pengganti tulangan baja serta mengetahui kekuatan tarik bambu dan kekuatan lekatan yang terjadi antara beton dan tulangan bambu.

E. Batasan Masalah

Untuk mencapai maksud dan tujuan dari penulisan tugas akhir ini serta menguraikan pokok bahasan di atas ditetapkan batasan-batasan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Bambu yang digunakan merupakan bambu dengan nama ilmiah *Gigantochloa Atter (Hassk) Kurz* atau Bambu Bullupering yang berasal dari Gowa, Sulawesi Selatan.

2. Bentuk takikan yang digunakan adalah takikan berbentuk trapesium sejajar dan tidak sejajar.
3. Semen yang digunakan adalah salah satu jenis semen campuran (blended cement), yaitu semen Portland Komposit (PCC).
4. Pengujian kekuatan lekatan dilaksanakan pada umur 28 hari dengan benda uji silinder 150 x 300 mm.
5. Perawatan benda uji dengan cara dikeringkan udara dalam ruangan tertutup.
6. *Superplatisizer* yang digunakan adalah Sika *Viscocrete* 3115 N.
7. Pengujian dilakukan di Laboratorium yang sesuai dengan standar resmi (ASTM dan SNI) sehingga akan didapatkan hasil pengujian-pengujian yang diharapkan.

F. Sistematika Penulisan

Agar lebih terarah penulisan tugas akhir, sistematika penulisan yang akan dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan dapat diurutkan yaitu :

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori penting yang memiliki keterkaitan dengan topik permasalahan dan dijadikan sebagai landasan atau acuan dalam melakukan penelitian.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini yang dituangkan dalam bentuk *flowchart* 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 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, disusun hasil-hasil pengujian diantaranya adalah hasil pemeriksaan karakteristik agregat, pengujian kekuatan tarik bambu, pemeriksaan kadar air bambu dan hasil analisa pengujian *pull out* silinder berukuran 150 mm x 300 mm.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Sigit Fajar Nugroho dkk (2014), benda uji yang digunakan adalah beton silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pada penelitian ini digunakan benda uji silinder dengan penanaman bambu wulung bernodia maupun tanpa nodia takikan bentuk V dengan jarak antar takikan 2 cm dan 3 cm dengan dimensi bambu lebar 20 mm dan tebal 5,2 mm. Perawatan sampel mengalami tiga tahap, yaitu direndam, ditutup dengan karung goni dan diangin-anginkan. Sebagai pembanding digunakan tulangan baja polos dengan diameter 8 mm. Tulangan ditaman pada pusat beton silinder sedalam 150 mm. Dari hasil pengujian diperoleh nilai kekuatan lekatan rerata beton dengan tulangan bambu wulung tanpa nodia jarak 3 cm adalah 0,007867 MPa dan bambu wulung tanpa nodia jarak 2 cm adalah 0,018223 MPa. Nilai kekuatan lekatan rerata beton dengan tulangan bambu wulung bernodia jarak 3 cm adalah 0,030172 MPa dan bambu wulung bernodia jarak 2 cm adalah 0,101773 MPa. Nilai kekuatan lekatan tulangan baja polos diameter 8 mm adalah 0,277665 MPa. Dari data diatas dapat ditarik kesimpulan nilai kekuatan lekatan rerata beton dengan tulangan bambu wulung 0,142 kali dari nilai kekuatan lekatan tulangan baja polos diameter 8 mm.

Benny Tri Prasetyo dkk (2016), melakukan penelitian mengenai kekuatan lekatan tulangan bambu wulung takikan tipe "U" jarak 5 cm.

Benda uji berupa silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Di bagian tengah benda uji ditanam tulangan bambu wulung takikan tipe "U" jarak 5 cm dengan dimensi 10 x 5 mm dan panjang penanaman 25 cm. Tulangan berupa baja \varnothing 8 mm digunakan sebagai pembanding.

Dilakukan pengujian kekuatan tarik tulangan guna mengetahui kualitas tulangan baja dan bambu Wulung saat mengalami kondisi leleh, sehingga dapat diketahui mutu baja dan bambunya. Dari hasil pengujian menunjukkan nilai kekuatan tarik tulangan baja polos diameter 8 mm sebesar 724,185 MPa, tulangan bambu Wulung sebesar 358,4 MPa. Hasil yang didapatkan penyusun hasil kekuatan tarik bambu lebih rendah dibandingkan kekuatan tarik baja, tetapi penelitian yang dilakukan oleh Morisco menunjukkan hasil kekuatan tarik bambu lebih tinggi daripada kekuatan tarik baja. Pengujian *pull out* dilakukan dengan panjang penanaman (L_d) 250 mm. Adapun untuk analisa kekuatan lekatan dengan pengujian *pull out* dilakukan setiap kenaikan beban tarik sebesar 500 N hingga beban tarik maksimum. Hasil analisa kekuatan lekatan antara beton dan berbagai variasi tulangan didapatkan nilai kekuatan lekatan rata-rata beton dengan tulangan baja polos diameter 8 mm sebesar 0,548 MPa dan nilai kekuatan lekatan rata-rata beton dengan tulangan bambu wulung bertakikan sebesar 0,134 MPa. Kesimpulan pengujian ini bahwa nilai kekuatan rata-rata bambu wulung bertakikan type "U" jarak 15 cm lebih rendah 4 kali dibanding nilai rerata kekuatan lekatan rata-rata lekatan beton dengan tulangan baja polos diameter 8

mm. Hal ini disebabkan karena baja merupakan material yang padat (masif), sedangkan bambu merupakan material organik yang mengalami pengembangan (*swelling*) dan penyusutan (*shrinkage*) karena pengaruh kandungan air sehingga lekatan antara beton dengan tulangan menjadi lemah.

Felix Pratama (2020), melakukan pengujian kekuatan lekatan dalam penelitian ini dilakukan dengan metode *pull out*. Kekuatan lekatan rata-rata tulangan bambu jenis takikan A (cat), B, C, D (cat) dan E berturut-turut dengan umur beton 3 hari yakni sebesar 0,97, 1,20, 1,13, 1,47 dan 1,39 MPa, umur beton 14 hari yakni sebesar 1,03, 1,26, 1,37, 1,41 dan 1,25 MPa, umur beton 21 hari yakni sebesar 0,96, 1,02, 1,03, 1,25 dan 0,94 MPa dan umur beton 28 hari yakni sebesar 1,48, 0,94, 1,10, 1,42 dan 1,04 MPa. Nilai kekuatan lekatan jenis bambu Petung takikan di cat pada umur 28 hari jika dibandingkan dengan baja polos 8 mm adalah sebesar 0,99 atau 99,5% sehingga bambu Petung berpotensi untuk digunakan sebagai tulangan pengganti baja. Kekuatan lekatan tulangan bambu Petung yang dilapisi dengan cat kayu cenderung meningkat ketika umur beton mendekati 28 hari, sedangkan untuk tulangan bambu Petung yang tidak dilapisi cat cenderung menurun ketika umur beton mendekati 28 hari. Jenis tulangan bambu Petung dengan takikan menunjukkan kekuatan lekatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tulangan bambu Petung tanpa takikan.

Mulyati dan Arman (2016), menyatakan dalam penelitian yang dilakukan bahwa bambu memiliki kekuatan tarik yang cukup tinggi, dan dapat digunakan sebagai alternatif pengganti tulangan baja pada beton. Bambu memiliki kelemahan, yaitu sifat kembang susutnya cukup tinggi. Penelitian ini menggunakan jenis bambu Petung dan bambu Wulung yang berumur 2-3 tahun untuk dijadikan tulangan, kemudian bambu diberi perlakuan pengawetan dengan merendam dalam air, memberi lapisan kedap air dengan divernis, dan teknik pembuatan tulangan bambu dengan cara pilinan dan melilitkan dengan kawat. .

Hasil pengujian menunjukkan, bahwa kekuatan tekan beton pada umur 28 hari diperoleh sebesar 14,06 MPa, kekuatan tarik bambu dengan lama perendaman 3 minggu diperoleh untuk bambu Petung tanpa buku dan dengan buku adalah 199 MPa dan 161 MPa, dan untuk bambu Wulung tanpa buku dan dengan buku adalah 182 MPa dan 168 MPa, serta kekuatan lekatan tulangan bambu Petung pilinan, persegi vernis, persegi lilitan, bulat vernis, bulat lilitan adalah 0,62 MPa, 2,22 MPa, 1,90 MPa, 1,70 MPa, 1,49 MPa, dan kekuatan lekatan tulangan bambu Wulung pilinan, persegi vernis, persegi lilitan, bulat vernis, bulat lilitan adalah 0,62 MPa, 1,33 MPa, 0,95 MPa, 1,12 MPa, 0,98 MPa. Dengan demikian tulangan bambu persegi vernis menunjukkan kekuatan lekatan yang tinggi pada beton.

I Ketut Sudarsana, Dharma Putra, dan I Gusti Ayu Putu Wegie Puryandhari (2020), menyatakan penelitian yang dilakukan untuk

memperoleh nilai kekuatan lekatan antara bambu yang dicoating vernis dalam beton dengan variasi panjang tulangan tertanam dalam beton dan jenis bambu yang dipakai. Bambu yang digunakan adalah bambu Petung yang berasal dari Desa Sidemen, Karangasem dan bambu Tali yang berasal dari Desa Manggisari, Negara. Benda uji berupa tulangan bambu Petung dan bambu Tali dengan dimensi lebar 15 mm dan tebal 5 mm tertanam kedalam kubus beton 150 mm x 150 mm x 150 mm dengan kekuatan rencana 20 MPa. Tulangan ditanam pada pusat kubus sedalam 100 mm dan 75 mm dilakukan penarikan dengan *Universal Testing Machine* (UTM).

Hasil pengujian kekuatan tarik bambu Petung dengan buku dan tanpa buku diperoleh masing-masing 155.14 MPa dan 268.08 MPa. Sedangkan kekuatan tarik bambu Tali dengan buku dan tanpa buku diperoleh masing-masing 138.42 MPa dan 182.13 MPa. Hasil pengujian lekatan diperoleh nilai kekuatan lekatan rata-rata pada beton dari tulangan bambu Petung, panjang penanaman 100 mm dengan nodia adalah 1.44 MPa dan tanpa nodia adalah 1.34 MPa, sedangkan panjang penanaman 75 mm dengan nodia adalah 2.61 MPa dan tanpa nodia adalah 1.74 MPa. Kekuatan lekatan rata-rata pada beton dari tulangan bambu Tali, panjang penanaman 100 mm dengan nodia adalah 1.07 MPa dan tanpa nodia adalah 0.91 MPa, sedangkan panjang penanaman 75 mm dengan nodia sebesar 1.39 MPa dan tanpa nodia sebesar 0.94 MPa.

I Nyoman Sutarja (2015), melakukan penelitian penggunaan bambu sebagai sistem struktur beton bertulang pada rumah sederhana. Hal ini didasari karena melihat permasalahan yang terjadi di Nusa Penida, yakni beton bertulang baja banyak yang mengalami retak - retak akibat dari baja tulangan yang berkarat terutama pada bangunan rumah yang berada pada daerah pesisir di Nusa Penida. Dengan demikian, diperlukan tulangan alternatif untuk menggantikan baja, seperti bambu yang tersedia cukup banyak di daerah tersebut. Untuk memastikan apakah di Nusa Penida bambu dapat dipakai sebagai alternatif pengganti baja tulangan maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Uji laboratorium terhadap balok beton berukuran 120 mm x 200 mm dengan luas tulangan bambu 480 mm², menghasilkan momen nominal aktual sebesar 6125000 N mm. Momen yang menyebabkan retak pertama diprediksi sebesar 4375000 N mm, dan momen yang menyebabkan tercapainya lendutan ijin sebesar 4375000 N mm. Simpulannya bahwa balok beton bertulang bambu dari Nusa Penida mempunyai daya layan yang cukup baik dilihat dari kekuatan dan kekakuan, sehingga dapat dipergunakan sebagai sistem rangka struktur bangunan, khususnya bangunan rumah sederhana dinding bata atau batako.

B. Bambu

Menurut Ghavami (2005), bambu merupakan tanaman yang dikategorikan berumpun dan termasuk dalam family *Gramineae* (rumput-

rumpunan) disebut juga Hiant Grass (rumpun raksasa) dan terdapat hampir diseluruh dunia kecuali di Eropa. Jumlah yang ada di daerah Asia Selatan dan Asia Tenggara kira-kira 80% dari keseluruhan yang ada di dunia. Di seluruh dunia diperkirakan ada sekitar 1.000 jenis bambu dimana Indonesia memiliki 142 jenis, baik yang endemik (hanya terdapat di satu kawasan) maupun yang tersebar di Asia Tenggara.

Berbeda dengan kayu, batang bambu memiliki rongga pada batangnya. Rongga pada batang bambu tersekat-sekat oleh membran dan dikenal sebagai buku (*node*). Daerah antar buku dikenal sebagai ruas bambu (*internode*). Panjang *internode* bambu bervariasi, dimana pada bagian tengah memiliki *internode* yang lebih panjang dibandingkan pada bagian bawah dan ujung batang. Batang bambu mengerucut dari bagian pangkal ke bagian ujung, hal ini ditunjukkan diameter bagian luar batang yang semakin mengecil. Diameter bagian dalam batang dibagian tengah paling besar dibandingkan pada bagian pangkal dan ujung (Zakikhani et al, 2017).

Bambu adalah tanaman yang pertumbuhannya sangat cepat dan mencapai kekuatan optimum dalam waktu tiga sampai lima tahun. Kekuatan tarik dari bambu sangat tinggi dan untuk jenis tertentu kekuatan tarik bambu sama dengan kekuatan tarik baja ringan, sedangkan kekuatan untuk rasio berat tertentu adalah enam kali lebih besar dari baja. Sama seperti baja, bambu dapat menahan gaya tarik dan tekan dimana bahan alami lain yang digunakan sebagai bahan perkuatan tidak

dapat menahan gaya tekan. Selain itu, energi yang dibutuhkan untuk memproduksi tegangan per satu meter kubik bambu 50 kali lebih rendah dari yang dibutuhkan oleh baja (Ghavami, 2005).

Dalam penelitian-penelitian sebelumnya, bambu sudah digunakan sebagai alternatif tulangan baja. Diketahui bahwa bambu memiliki kekuatan tarik yang cukup sehingga cocok jika dikombinasikan dengan beton yang memiliki kekuatan tekan tinggi, namun kekuatan tariknya yang rendah. Berikut adalah beberapa kelebihan bambu sebagai tulangan pada beton :

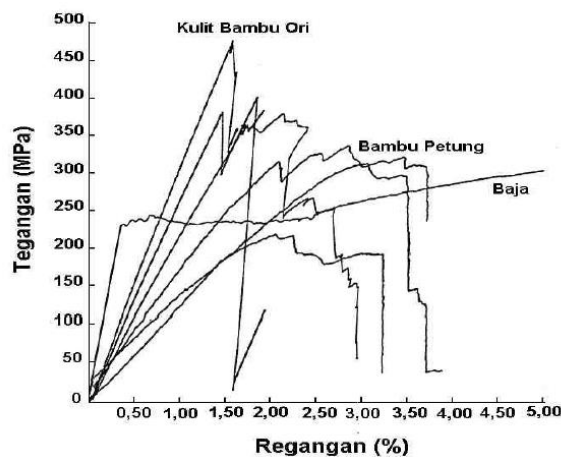
- Tulangan bambu lebih murah dibanding dengan tulangan baja
- Bambu dapat diperoleh dengan mudah
- Bambu merupakan tanaman sehingga merupakan Sumber Daya Alam (SDA) yang dapat diperbaharui
- Pertumbuhan tanaman bambu cukup cepat
- Bambu lebih ringan jika dibanding baja
- Kekuatan tarik bambu cukup untuk menggantikan baja sebagai tulangan
- Mudah dibentuk

Dapat diketahui pula bahwa selain memiliki kelebihan, bambu juga memiliki beberapa kekurangan ketika dipakai sebagai tulangan pada beton bertulang, yaitu :

- Daya lekatan yang kurang baik sehingga menyebabkan slip

- Mudah menyerap air, sehingga dapat mengalami susut saat mengering dan menyisakan rongga pada beton yang mengurangi kekuatan beton
- Mudah terbakar

Pada tahun 1999, Morisco mengemukakan bahwa pemilihan bambu sebagai bahan bangunan didasarkan pada harga yang relatif rendah, pertumbuhan yang cepat serta keunggulan spesifik yang tidak kalah penting mengenai kekuatan tarik yang cukup tinggi. Dalam penelitiannya didapat nilai kekuatan tarik bambu. Pengujian kekuatan tarik tersebut dilakukan pada bambu Ori, Petung, Wulung dan bambu Tutul.



Gambar 1. Hubungan Tegangan-Regangan Bambu dan Baja

(Sumber : *Morisco. 1999*)

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. Kepadatan (ρ) dan modulus

elastisitas (E) merupakan sifat fisik dan sifat mekanik bambu yang sangat penting. Untuk mempelajari modulus elastisitas (E) dan kepadatan (ρ) dapat menggunakan metode pemilihan material yang dikembangkan di Cambridge University (Wegst, 1993) dalam (Ghavami, 2005).

B.1. Bambu Bullupering

Bambu yang digunakan merupakan bambu dengan nama ilmiah *Gigantochloa Atter (Hassk) Kurz* atau Bambu Bullupering. Menurut Widjaja (2004) bahwa bambu ater (*G. atter (Hassk.) Kurz*) memiliki nama daerah pering (Manggarai), pring ater (Jawa), awi ater (Sunda), au toro (Tetun), oopa'i (Bima). Tumbuh baik di daerah lembab tropis, tetapi masih dapat tumbuh dengan baik di daerah kering dari dataran rendah sampai tinggi. Dicirikan oleh buluh hijau tua, gundul atau dengan bulu coklat tersebar, bagian bawah bukunya sering bergaris putih melingkar. Ruas pada bagian bawah buluh tidak terlalu pendek tetapi lebih pendek daripada bagian tengahnya. Rebungnya hijau sampai gelap dengan bulu hitam melekat.

Batangnya bisa mencapai ketinggian 30 m, panjang ruas rumpun dewasa mencapai 40 cm, dengan diameter 5-8 cm dengan buku-buku keputih-putihan. Pada buku-buku batang bagian bawah terdapat beberapa akar udara. Percabangan tumbuh 1,5 m dipermukaan tanah, satu cabang lebih besar daripada cabang lainnya. Pelepah buluh tertutup bulu hitam tersebar, kuping pelepah buluh membulat sampai agak melengkung

keluar dengan bulu kejur panjangnya mencapai 6 mm, ligula menggerigi tidak beraturan dengantinggi 3-6 mm (Widjaja, 2004).

Lebih lanjut dijelaskan bahwa bambu ater (*Gigantochloa atter*), memiliki batang berwarna hijau sampai hijau gelap dengan diameter 5-10 cm. Panjang ruasnya antara 40-50 cm dan tinggi tanaman mencapai 22 m. Pelepah batangnya mudah gugur. Ruas-ruas bambu ini tampak rata dengan garis putih melingkar pada bekas perlekatanan pelepah buluh. Pada batang yang muda tampak pelepah batang melekatan berwarna hijau kekuningan dengan bulu-bulu halus berwarna hitam, kuping pelepah buluh kecil, panjang pelepah 21-36 cm dan bentuknya hampir segitiga dengan ujung runcing. Daerah perakaran tidak jauh dari permukaan tanah. Jenis bambu ater banyak tumbuh didataran rendah, tetapi dapat juga tumbuh baik di dataran tinggi pada ketinggian 750 mdpl. Bambu ater biasanya digunakan orang untuk dinding rumah, pagar, alat-alat rumah tangga dan kerajinan tangan. (Ediningtyas dan Winarto, 2012).

Menurut Morisco (1999), bambu mempunyai potongan melintang seperti pada Gambar 2 dengan bagian-bagian sebagai berikut :

a. Kulit luar

Kulit luar adalah bagian yang paling luar atau paling atas, biasanya berwarna hijau atau hitam. Tebal kulit bambu relative seragam pada sepanjang batang yaitu kurang lebih 1 mm, sifatnya keras dan kaku. Maka dari itu bambu yang tipis akan mempunyai porsi kulit besar,

sehingga kekuatan rata-ratanya tinggi, sedangkan pada bambu tebal berlaku sebaliknya.

b. Bambu bagian luar

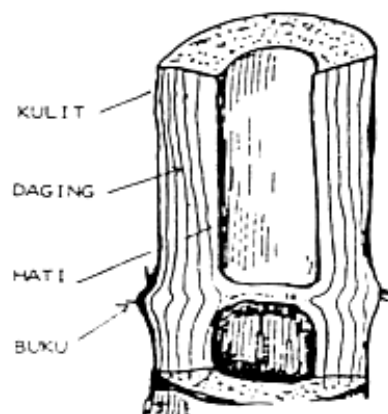
Bagian ini terletak di bawah kulit atau di antara kulit luar dan bagian tengah. Tebal bagian ini kurang lebih 1 mm, sifatnya keras dan kaku.

c. Bagian tengah

Bagian tengah terletak dibawah luar atau antara bagian luar dan bagian dalam, disebut juga daging bambu. Tebalnya kurang lebih $\frac{2}{3}$ dari tebal bambu, seratnya padat dan elastis. Untuk bagian tengah yang paling bawah sifat seratnya agak kasar.

d. Bagian dalam

Bagian dalam adalah bagian yang paling bawah dari tebal bambu, sering disebut pula hati bambu. Sifat seratnya kaku dan mudah patah.



Gambar 2. Potongan Bambu

B.2. Sifat Fisis dan Mekanis Bambu

Sifat fisis merupakan salah satu sifat yang dimiliki bambu dan sangat penting untuk diketahui. Sifat fisis meliputi pengujian kadar air,

berat jenis, kerapatan dan perubahan dimensi. Elemen penyusun kayu memiliki kesamaan dengan elemen penyusun pada bambu (Wulandari, 2014). Sifat fisis pada arah aksial bambu dapat berbeda-beda sesuai dengan posisinya pada batang. Misalnya perbedaan kadar air bambu menurun dari pangkal ke batang atas yang disebabkan oleh keberadaan sel parenkim yang merupakan tempat penampungan air yang persentasenya semakin ke atas semakin berkurang (Nahar & Hasan, 2013).

Salah satu cara agar bambu dapat dimanfaatkan sesuai dengan kegunaannya maka perlu dilakukan pengujian sifat fisis bambu. Pengujian sifat fisis bambu penting karena berhubungan dengan kualitas bambu yang dihasilkan, yaitu dari kemudahan dalam pemotongan, cacat, pengeboran, pembubutan, pengetaman dan pengamplasan (Prayitno, 2008).

Sifat mekanis adalah sifat yang berhubungan dengan kekuatan bahan, merupakan ukuran kemampuan bahan untuk menahan beban yang bekerja padanya dan cenderung untuk merubah bentuk dan ukurannya.. Sifat mekanis bambu dipengaruhi oleh jenis, umur, tempat tumbuh dan posisi dalam batang. Keteguhan lentur, tekan dan tarik dari dinding bambu bagian luar lebih besar dari pada bagian dalam (Syafi'i. 1984).

Untuk mengetahui sifat mekanis bahan, umumnya pengujian di laboratorium dilakukan mengikuti standar tertentu, meliputi ukuran

spesimen serta cara-cara pengujiannya. Hal ini dimaksudkan agar ada persamaan persepsi pada hasil uji bahan. Namun, mengingat sifat bambu cukup unik, pengujian itu tidak dapat berdasarkan standar yang ada. Mengingat kesulitan tersebut, maka pengujian sifat mekanik bambu ini mengikuti salah satu cara pengujian yang dianjurkan oleh penelitian terdahulu.

B.2.1. Kadar Air

Kadar air didefinisikan sebagai banyaknya air yang terkandung dalam spesimen bahan atau dinyatakan sebagai persentase berat air yang terdapat dalam spesimen bahan terhadap berat kering ovennya. Kadar air pada masing-masing bambu dapat berbeda, hal tersebut dikarenakan pengaruh keadaan atmosfer.

Bambu dikenal sebagai bahan yang memiliki angka penyusutan yang tinggi. Penyusutan terbesar terjadi pada dinding bambu bagian dalam dan terus mengecil sampai pada bagian dinding bagian luar. Semakin tinggi nilai kerapatan maka semakin tinggi nilai pengembangan dan penyusutan dimensinya. Oleh karena itu, diperlukan pemahaman sebelum digunakan sebagai material struktur (Morissco, 1999).

Bambu sangat mudah menyerap air dan melepaskannya pada saat mengering. Penyerapan bambu terhadap air mencapai 25% pada 24 jam pertama. Kadar air bambu bervariasi dalam suatu batang dipengaruhi oleh umur, musim pemanenan bambu dan jenis-jenis bambu. Penyerapan dan pengeluaran air yang berulang-ulang biasanya diikuti dengan retak dan

pecah pada bambu. Untuk mengatasi keadaan tersebut maka beberapa cara yang perlu diperhatikan diantaranya adalah menyimpan bambu pada ruang yang tidak lembab, lantai kering dan sirkulasi udara lancar. (Dransfield dan Widjaja.1995)

Pada penelitian Basri (2006), didapati hasil bahwa terdapat hubungan kadar air bambu dengan kerapatan dan penyusutan batang, penampang, maupun tebal dinding. Kadar air bambu berkurang dari bagian pangkal ke batang tengah. Semakin berkurangnya kadar air berdampak terhadap kenaikan kerapatan dan penurunan tingkat susut dimensi bambu. Bambu yang terbaik dalam penelitian ini adalah bambu temen dan bambu ori dari sifat pengeringannya. Pada penelitian tersebut bambu tidak mengalami pecah tetapi hanya sedikit mengeriput.

Untuk menghitung kadar air bambu dapat digunakan persamaan (1) sebagai berikut :

$$KA = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \% \quad (1)$$

Dimana,

KA = Kadar air (%)

W_1 = Berat benda uji sebelum di oven (g)

W_2 = Berat benda uji kering oven (g)

Berdasarkan standar acuan ISO 22157-2019 kadar air pada bambu memiliki batasan maksimal 20 %.

B.2.2.Kekuatan Tarik

Pada penampang melintang bambu, makin mendekati bagian kulit batang susunan sel sklerenkim semakin rapat, sehingga kekuatan batang bambu paling besar berada pada bagian batang sebelah luar, selanjutnya pada kulit bagian luar bambu terdapat lapisan tipis dan halus yang sangat kekuatan. Dari pangkal ke ujung batang lapisan ini cenderung semakin tipis. Akibat adanya bagian kulit batang bambu yang sangat kekuatan ini, maka perubahan dimensi akan terpengaruh, yaitu dimensi bambu akan lebih stabil terutama ke arah tangensial. Akibatnya variasi kekuatan bagian kulit ini akan menyebabkan variasi penyusutan tangensial (Sutapa, 1986).

Bambu sangat lemah pada arah radial, sehingga pembebanan tegak lurus atas sumbu batang sedapat mungkin dihindarkan atau ditempatkan pada ruas batang. Janssen (1981) menyatakan bahwa kekuatan tarik bambu akan menurun dengan meningkatnya kadar air, kekuatan tarik maksimum bagian luar bambu paling besar dibandingkan dengan bagian-bagian yang lain.

Untuk menghitung kekuatan tarik bambu dapat digunakan persamaan (2) sebagai berikut :

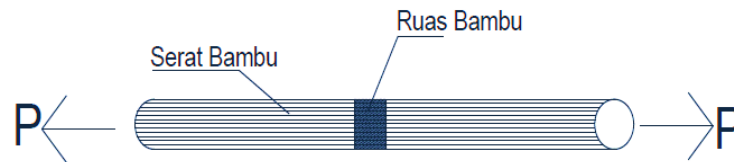
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Dimana,

σ = Kekuatan tarik bambu (N/mm²)

P = Beban tarik (N)

A = Luas penampang (mm^2)



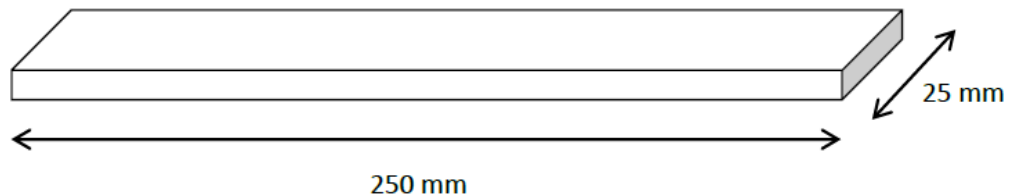
Gambar 3. Batang bambu menerima gaya tarik

Kebanyakan pengujian terhadap bambu di Indonesia menghasilkan kekuatan tarik (tegangan patah untuk tarik) sebesar 250 sampai 1000 kg/cm^2 , serta modulus elastisitas sebesar 10000 sampai 30000 MPa. Pengujian ini juga menunjukkan kekuatan dan modulus elastisitas bagian luar lebih besar daripada bagian dalam, juga kekuatan internodia lebih besar daripada nodia (Yap, 1983).

Berdasarkan hasil penelitian menyatakan bahwa kekuatan bambu bagian luar lebih dari dua kali kekuatan bambu bagian dalam. Selanjutnya Morisco (1999), mengadakan pengujian kekuatan bambu Ori (*Bambusa Bambos Backer*), bambu Petung (*Dendrocalamus Asper Schult*), bambu Wulung (*Gigantochloa Verticillata Munro*), serta bambu Tutul (*Bambusa Vulgaris Schrad*).

Pengujian kekuatan tarik menghasilkan diagram tegangan-regangan, yang digunakan untuk menentukan modulus tarik. Data ini sering digunakan untuk menentukan bahan, untuk merancang bagian-bagian sehingga tahan terhadap gaya dan sebagai kontrol kualitas terhadap bahan. Spesimen yang paling umum untuk ASTM D3039 adalah penampang persegi panjang konstan, lebar 25 mm (1 in.) Dan panjang

250 mm (10 in). Pilihan opsional yaitu ke ujung spesimen dapat diikat untuk mencegah kerusakan mencengkeram.



Gambar 4. Benda Uji Tarik Strip

(Sumber : ASTM D3039)

C. Self Compacting Concrete

Self Compacting Concrete (SCC) adalah suatu beton yang ketika masih berbentuk beton segar mampu mengalir melalui tulangan dan memenuhi seluruh ruang yang ada didalam cetakan secara padat tanpa ada bantuan pemadatan manual atau getaran mekanik (Tjaronge et.al 2006).

Hasil riset di Jepang pada awal tahun 80-an dengan menghasilkan suatu *prototype* yang cukup sukses pada tahun 1988 dengan menggunakan *Self Compacting Concrete* (SCC). Dihadapkan pada kenyataan lapangan berupa keterbatasan skill para pekerja dalam pengerjaan pemadatan beton, semakin meningkatnya kebutuhan para designer untuk mewujudkan suatu struktur dengan tulangan yang kompleks, disertai dengan mutu besi tulangan yang tinggi menjadi latar belakang pengembangan dari 'beton spesial' ini.

SCC adalah beton berkinerja tinggi, yaitu yang dapat mengalir dengan sendiri, berdaya tahan yang baik, dan memiliki kekuatan yang tinggi. Tetapi semua semua hal tersebut hanya dapat dicapai apabila pada campuran mengalami *deformability* yang tinggi dan tidak mengalami segregasi. Secara umum *Self Compacting Concrete* merupakan varian beton yang memiliki tingkat derajat pengerjaan (*workability*) tinggi dan juga memiliki kekuatan awal yang besar, sehingga membutuhkan faktor air semen yang rendah.

Konsekuensi dari beton bertulang dan non bertulang yang tidak sempurna pematatannya, diantaranya dapat menurunkan kekuatan tekan beton dan kekedap-airan beton sehingga mudah terjadi korosi pada tulangan. Kekuatan struktur beton yang tereduksi mengakibatkan kegagalan atau keruntuhan pada struktur (Sulaiman & Suppa, 2019). Salah satu solusi dalam menghadapi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan metode *Self Compacting Concrete* (SCC) atau disebut juga “beton alir” (*Flowing Concrete*) (Safarizki, 2017).

Salah satu sifat beton yang harus dimiliki adalah *workability*, beton dapat dicor dengan mudah dan cepat, tanpa perlu dipadatkan/digetarkan. Beton akan dengan mudah mengalir, bahkan melalui tulangan yang rapat tanpa mengalami segregasi ataupun *bleeding* (Sasanipour & Aslani, 2020). *Self Compacting Concrete* (SCC) juga mengatasi permasalahan pengecoran untuk posisi yang tinggi karena dapat dipompa dengan mudah. Selain tingkat kelecakan atau *workability* yang tinggi pada beton

segar, *Self Compacting Concrete* (SCC) setelah mengeras (*hardened concrete*) juga memiliki kekuatan yang tinggi disebabkan pengurangan kadar air sehingga porositas menjadi minimum, memiliki kemampuan kedap air yang tinggi, serta deformasi susut yang rendah. Keawetan jangka panjang juga lebih baik

Sugiharto et.al (2006), untuk mendapatkan campuran beton dengan tingkat workabilitas dan kekuatan awal yang tinggi, perlu diperhatikan hal-hal berikut :

- Agregat kasar dibatasi jumlahnya sampai kurang lebih 50% dari campuran beton.
- Pembatasan jumlah agregat halus kurang lebih 40% dari volume beton.
- Penggunaan *superplasticizer* pada campuran beton untuk tingkat *workability* yang tinggi sekaligus menekan faktor air semen untuk mendapatkan kekuatan awal yang besar.
- Ditambahkan bahan pengisi (*filler*) pada campuran beton, antara lain *Fly Ash* dan *Silica Fume* untuk menggantikan sebagian komposisi semen, hal ini ditujukan untuk meningkatkan keawetan (*durabilitas*) dan kekuatan tekan beton.

Suatu campuran beton dapat dikatakan SCC jika pada beton segar memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

a) *Filling Ability*

Kemampuan campuran beton segar mengisi ruangan atau cetakan dengan beratnya sendiri, untuk mengetahui beton memiliki kemampuan mengisi maka beton segar diuji menggunakan alat *slump cone*, dengan waktu yang diperlukan aliran beton untuk mencapai diameter 50 cm (SF50) 3 – 15 detik dan diameter maksimum yang dicapai aliran beton (SFmax) 65 – 75 cm. (*Japan Society of Civil Engineers Guidelines for Concrete, 2007*)

b) *Passing Ability*

Kemampuan campuran beton segar untuk melewati celah-celah antar besi tulangan atau bagian celah yang sempit dari cetakan, untuk mengetahui beton memiliki kemampuan ini dilakukan uji dengan menggunakan alat *L-Shape Box*, dengan perbedaan tinggi yang diperlukan aliran beton arah horizontal (H2/H1) lebih besar dari 0,8. (*The European Guidelines For Self Compacting Concrete, 2005*).

c) *Segregation Resistance*

Ketahanan campuran beton segar terhadap segregasi, untuk mengetahui beton memiliki kemampuan ini dilakukan uji dengan menggunakan alat *V-Funnel*, dengan waktu yang diperlukan beton segar untuk segera mengalir melalui mulut di ujung bawah alat ukur *V-funnel* antara 7 – 13 detik. (*Japan Society of Civil Engineers Guidelines for Concrete, 2007*).

D. Material Penyusun *Self Compacting Concrete*

Beton dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi sejumlah material pembentuknya. Kualitas beton dapat ditentukan dengan cara pemilihan bahan-bahan pembentuk beton yang baik, perhitungan proporsi yang tepat, cara pengerjaan dan perawatan beton dengan baik, serta pemilihan bahan tambah yang tepat dengan jumlah optimum yang diperlukan. Bahan pembentuk beton adalah semen, agregat, air, dan biasanya dengan bahan tambah atau pengisi (Ghafur, 2009).

D.1. Semen Portland

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 15-2049-2004, semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (clinker) portland terutama yang terdiri dari kalsium silikat ($x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang bersifat hidrolis dan digiling bersama – sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Adapun jenis-jenis semen Portland (SNI 15-2049-2004) adalah :

1. Jenis I, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

2. Jenis II, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Jenis V, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

D.2. Agregat

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi, yaitu berkisar 60%-70% dari volume beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar sehingga karakteristik dan sifat agregat memiliki pengaruh langsung terhadap sifat-sifat beton. Sifat yang paling penting dari suatu agregat (batu-batuan, kerikil, pasir, dan lain sebagainya) ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan. Secara umum, agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus.

D.2.1 Agregat Kasar

Yang dimaksud dengan agregat kasar adalah agregat yang berukuran lebih besar dari 5 mm, sifat yang paling penting dari suatu agregat kasar adalah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia. Serta ketahanan terhadap penyusutan.

Agregat kasar yang digunakan pada campuran beton harus memenuhi persyaratan-persyaratan (PBI 1971, NI-2) sebagai berikut :

1. Susunan butiran (gradasi)

Agregat harus mempunyai gradasi yang baik, artinya harus terdiri dari butiran yang beragam besarnya, sehingga dapat mengisi rongga-rongga akibat ukuran yang besar, sehingga akan mengurangi penggunaan semen atau penggunaan semen yang minimal. Agregat kasar harus mempunyai susunan butiran dalam batas-batas seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Susunan Butiran Agregat Kasar

(Sumber : SNI 03-2834 : 2000)

Ukuran mata ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lewat ayakan		
	Ukuran nominal agregat (mm)		
	38-4,76	19,0-4,76	9,6-4,76
38,1	95-100	100	
19,0	37-70	95-100	100
9,52	10-40	30-60	50-85
4,76	0-5	0-10	0-10

2. Agregat kasar yang digunakan untuk pembuatan beton dan akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang akan berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaian yang berlebihan di dalam mortar atau beton.
3. Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang keras dan tidak berpori atau tidak akan pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari atau hujan.
4. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no.200), tidak boleh melebihi 1% (terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melebihi 1% maka agregat harus dicuci.
5. Kekerasan butiran agregat diperiksa dengan bejana Rudellof dengan beban penguji 20 ton dimana harus dipenuhi syarat berikut:
 - Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5 - 19,1 mm lebih dari 24% berat.
 - Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19,1 - 30 mm lebih dari 22% berat.
6. Kekerasan butiran agregat kasar jika diperiksa dengan mesin *Los Angeles* dimana tingkat kehilangan berat lebih kecil dari 50%.

D.2.2 Agregat Halus

Agregat halus (pasir) adalah mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang memiliki ukuran butiran

kurang dari 5 mm atau lolos saringan no. 4 dan tertahan pada saringan no. 200. Agregat halus (pasir) berasal dari hasil disintegrasi alami dari batuan alam atau pasir buatan yang dihasilkan dari alat pemecah batu (*stone crusher*). Pasir umumnya terdapat disungai-sungai yang besar. Akan tetapi sebaiknya pasir yang digunakan untuk bahan-bahan bangunan dipilih yang memenuhi syarat. Syarat-syarat untuk pasir adalah sebagai berikut :

- a. Butir-butir pasir harus berukuran antara (0,15 mm dan 5 mm).
- b. Harus keras, berbentuk tajam, dan tidak mudah hancur dengan pengaruh perubahan cuaca atau iklim.
- c. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (persentase berat dalam keadaan kering).
- d. Bila mengandung lumpur lebih dari 5% maka pasirnya harus dicuci.
- e. Tidak boleh mengandung bahan organik, garam, minyak, dan sebagainya.

Agregat halus yang akan digunakan harus memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh ASTM. Jika seluruh spesifikasi yang ada telah terpenuhi maka barulah dapat dikatakan agregat tersebut bermutu baik.

Adapun spesifikasi tersebut adalah :

- a. Susunan Butiran (Gradasi)

Analisa saringan akan memperlihatkan jenis dari agregat halus tersebut. Melalui analisa saringan maka akan diperoleh angka *Fine*

Modulus. Melalui *Fine Modulus* ini dapat digolongkan 3 jenis pasir, yaitu :

- Pasir Kasar : $2.9 < FM < 3.2$
- Pasir Sedang : $2.6 < FM < 2.9$
- Pasir Halus : $2.2 < FM < 2.6$

SNI 03-2834-2000 mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran agregat halus menjadi empat zona, yaitu : zona I (kasar), zona II (agak kasar), zona III (agak halus) dan zona IV (halus) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel Distribusi Butiran

Lubang (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan (%)			
	Kasar	Agak Kasar	Agak halus	Halus
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no.200), tidak boleh melebihi 5 % (ternadap berat kering). Apabila kadar lumpur melampaui 5 % maka agragat harus dicuci.

- c. Agregat halus harus bebas dari pengotoran zat organik yang akan merugikan beton, atau kadar organik jika diuji di laboratorium tidak menghasilkan warna yang lebih tua dari standart percobaan *Abrams – Harder*.
- d. Agregat halus yang digunakan untuk pembuatan beton dan akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaian yang berlebihan di dalam mortar atau beton dengan semen kadar alkalinya tidak lebih dari 0,60% atau dengan penambahan yang bahannya dapat mencegah pemuaian.
- e. Sifat kekal (keawetan) diuji dengan larutan garam sulfat :
- Jika dipakai Natrium – Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%.
 - Jika dipakai Magnesium – Sulfat, bagian yang hancur maksimum 15 %.

D.3. Air

Air berfungsi untuk membuat semen bereaksi dan sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula atau bahan kimia lainnya, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat

menurunkan kekuatannya dan dapat juga mengubah sifat-sifat semen. Selain itu, air yang demikian dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan mungkin pula mempengaruhi kemudahan pengerjaan. (Nawy 1998 : 12).

Air pada campuran beton akan berpengaruh terhadap :

1. Sifat workability adukan beton.
2. Besar kecilnya nilai susut beton.
3. Kelangsungan reaksi dengan semen portland, sehingga dihasilkan kekuatan selang beberapa waktu.
4. Perawatan terhadap adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik.

Air digunakan sebagai bahan pencampur dan pengaduk beton untuk mempermudah pekerjaan. Menurut PBBI 1971 N.I.- 2, pemakaian air untuk beton tersebut sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Air harus bersih.
- b. Tidak mengandung lumpur.
- c. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton seperti asam, zat organik.
- d. Tidak mengandung minyak dan alkali.
- e. Tidak mengandung senyawa asam.

D.4. Bahan Tambah

Bahan tambah, yaitu bahan selain unsur pokok pada beton (air, semen dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, baik sebelum, segera atau selama pengadukan beton dengan tujuan mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Fungsi-fungsi bahan tambah antara lain: mempercepat pengerasan, menambah kelecakan (*workability*) beton segar, menambah kekuatan tekan beton, meningkatkan daktilitas atau mengurangi sifat getas beton, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya. Bahan tambah diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit dengan pengawasan yang ketat agar tidak berlebihan yang berakibat memperburuk sifat beton.

Superplasticizer adalah bahan tambah kimia yang melarutkan gumpalan-gumpalan dengan cara melapisi pasta semen sehingga semen dapat tersebar dengan merata pada adukan beton dan mempunyai pengaruh dalam meningkatkan *workability* beton sampai pada tingkat yang cukup besar. Bahan ini digunakan dalam jumlah yang relatif sedikit karena sangat mudah mengakibatkan terjadinya *bleeding*. *Superplasticizer* dapat mereduksi air sampai 40% dari campuran awal (ASTM C494-82).

Beton berkekuatan tinggi dapat dihasilkan dengan pengurangan kadar air, akibat pengurangan kadar air akan membuat campuran lebih padat sehingga pemakaian *superplasticizer* sangat diperlukan untuk mempertahankan nilai slump yang tinggi.

Secara umum, partikel semen dalam air cenderung untuk berkoheksi satu sama lainnya dan partikel semen akan menggumpal. Dengan menambahkan *superplasticizer*, partikel semen ini akan saling melepaskan diri dan terdispersi. Dengan kata lain *superplasticizer* mempunyai dua fungsi yaitu, mendispersikan partikel semen dari gumpalan partikel dan mencegah kohesi antar semen. Fenomena dispersi partikel semen dengan penambahan *superplasticizer* dapat menurunkan viskositas pasta semen, sehingga pasta semen lebih fluid/alir. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan air dapat diturunkan dengan penambahan *superplasticizer*.

E. Pengujian Karakteristik Beton

Sifat – sifat beton adalah fungsi dari waktu dan kelembapan di sekitarnya, untuk mendapatkan nilai tersebut, pengujian pada beton harus dilakukan dibawah spesifikasi tertentu atau pada kondisi yang diketahui. Pengujian beton dapat dilakukan untuk tujuan yang berbeda tetapi dua tujuan utamanya adalah kontrol kualitas dan sesuai dengan standar spesifikasi. Berikut adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik beton :

E.1. Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan menjadi parameter untuk menentukan mutu dan kualitas beton yang ditentukan oleh agregat, perbandingan semen, dan perbandingan jumlah air. Pembuatan beton akan berhasil jika dalam

pencapaian kekuatan tekan beton telah sesuai dengan yang telah direncanakan dalam mix design. Adapun hal-hal yang mempengaruhi kekuatan tekan beton, yaitu :

- 1) FAS atau faktor air semen, hubungan fas dengan kekuatan tekan beton adalah semakin rendah nilai fas maka semakin tinggi nilai kekuatan tekan beton. Tetapi pada kenyataannya pada suatu nilai fas tertentu semakin rendah nilai fas maka kekuatan tekan beton akan rendah. Hal ini terjadi karena jika fas rendah menyebabkan adukan beton sulit dipadatkan. Dengan demikian ada suatu nilai optimal yang menghasilkan kekuatan tekan beton yang maksimal.
- 2) Umur beton, kekuatan beton akan bertambah sesuai dengan umur beton tersebut. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton dipengaruhi oleh fas dan suhu perawatan. Semakin tinggi fas, maka semakin lambat kenaikan kekuatannya, dan semakin tinggi suhu perawatan maka semakin cepat kenaikan kekuatannya.
- 3) Jenis semen, kualitas pada jenis-jenis semen memiliki laju kenaikan kekuatan yang berbeda.
- 4) Efisiensi dari perawatan (*curing*), kehilangan kekuatan sampai 40% dapat terjadi bila terjadi pengeringan terjadi sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan dilapangan dan pada pembuatan benda uji.
- 5) Sifat agregat, dalam hal ini kekerasan permukaan, gradasi, dan ukuran maksimum agregat berpengaruh terhadap kekuatan beton.

Tata cara pengujian yang dipakai secara umum di Indonesia adalah Standar Nasional Indonesia (SNI 1974 : 2011). Kekuatan tekan beton didapat dari hasil perbandingan antara gaya yang mampu ditahan oleh benda uji dengan luas alas penampang benda uji tersebut. Kekuatan tekan beton dapat dirumuskan sebagai persamaan (3).

$$f_c = \frac{P \text{ (kN)}}{A \text{ (mm}^2\text{)}} \quad (3)$$

Dimana :

f_c = Kekuatan tekan beton (N/mm²)

P = Beban (N)

A = Luas penampang (mm²)

E.2. Kekuatan Lentur

Pada setiap penampang terdapat gaya-gaya dalam yang dapat diuraikan menjadi komponen-komponen yang saling tegak lurus dan menyinggung terhadap penampang tersebut. Komponen-komponen yang tegak lurus terhadap penampang tersebut merupakan tegangan-tegangan lentur (tarik pada salah satu sisi di daerah sumbu netral dan tekan pada sisi penampang lainnya). Fungsi dari komponen ini adalah untuk memikul momen lentur pada penampang.

Untuk kuat lentur balok dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma = \frac{P.l}{b.d^2} \quad (4)$$

Dimana :

- σ = Kekuatan lentur (MPa)
- P = Beban maksimum (N)
- b = Lebar balok penampang (mm)
- d = Tinggi balok penampang (mm)

E.3. Kekuatan Tarik Belah

Kekuatan tarik belah beton relatif rendah, kira-kira 10-15% dari kekuatan tekannya. Pendekatan yang baik untuk menghitung kekuatan tarik beton f'_{ct} adalah dengan rumus $0,1f'_c < f'_{ct} < 0,2f'_c$. Kekuatan tarik lebih sulit diukur dibandingkan dengan kekuatan tekan bila dengan beban-beban aksial langsung dan masalah penjepitan (*gripping*) pada mesin. Sehingga untuk mengetahui kekuatan tarik beton dalam pengujian hanya dapat diukur dengan metode uji keruntuhan (*modulus of rupture*) dan metode uji belah silinder.

Kekuatan tarik belah beton yang diperoleh dengan uji pembelahan silinder dilakukan dengan memberikan beban tekan secara merata diseluruh bagian panjang dari silinder hingga terbelah dua dari ujung ke ujung. Nilai pendekatan yang diperoleh dari hasil pengujian berulang kali mencapai kekuatan 0,05 – 0,6 kali $\sqrt{f'_c}$, sehingga untuk beton konvensional digunakan $0,57 \sqrt{f'_c}$. (Nawy 1998:43).

Alasan utama dari kekuatan tarik yang kecil bahwa pada kenyataannya beton dipenuhi retak-retak halus yang tidak dipengaruhi bila

beton menerima beban tekan karena beban tekan menyebabkan retak menutup sehingga memungkinkan terjadinya penyaluran tekan, berbeda jika beton menerima beban tarik.

Untuk tarik belah dapat dihitung dengan persamaan berikut (SNI 2491 : 2014) :

$$T = \frac{2P}{l.d} \quad (5)$$

Dimana :

T = Kekuatan tarik belah (MPa)

P = Beban maksimum (N)

l = Panjang benda uji (mm)

d = Diamter benda uji (mm)

F. Lekatan Antara Bambu dan Beton

Salah satu dasar anggapan yang digunakan dalam perancangan dan analisis struktur beton bertulang adalah ikatan antara tulangan dan beton yang mengelilinginya berlangsung sempurna tanpa terjadi pergeseran. Berdasarkan anggapan tersebut dan juga sebagai akibat lebih lanjut, pada waktu komponen struktur beton bertulang bekerja menahan beban akan timbul tegangan lekatan yang berupa *shear interlock* pada permukaan singgung antara batang tulangan dan beton (Dipohusodo, 1999).

Untuk memperoleh nilai kekuatan lekatan dapat digunakan persamaan (6).

$$\mu = \frac{P}{D.l_d} \quad (6)$$

(Sumber : Edward G. Nawy, *Reinforced Concrete*, 1996)

dimana :

μ = Kekuatan lekatan (MPa)

P = Beban maksimum (N)

D = Diameter tulangan (mm)

l_d = Panjang penyaluran (mm)

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

Ikatan efektif antara beton dan tulangan 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 perlekatanan 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 (Gilang, 2011).

Kekuatan lekatan dapat terjadi akibat adanya saling geser antara tulangan dan beton di sekelilingnya. Pada penggunaan sebagai salah satu komponen bangunan, beton selalu diperkuat dengan batang tulangan yang diharapkan bambu 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.

Menurut Nawy (1986), kekuatan lekatan antara bambu tulangan dan beton yang membungkusnya dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

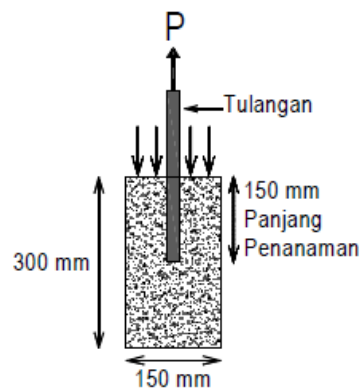
- a. Adhesi antara elemen beton dan bahan penguatnya.
- b. Efek *gripping* (memegang) sebagai akibat dari susut pengeringan beton disekeliling tulangan dan saling geser antara tulangan dengan beton di sekitarnya.
- c. Efek kualitas beton dan kekuatan tarik dan tekannya.
- d. Efek mekanis penjangkaran ujung tulangan, yaitu dengan panjang penyaluran (*development length*), panjang lewatan (*splicing*), bengkokan tulangan (*hooks*) dan persilangan tulangan.
- e. Diameter, bentuk dan jarak tulangan karena kesemuanya mempengaruhi retak.
- f. Kekuatan lekatan antara beton dan bambu tulangan akan berkurang apabila mendapat tegangan yang tinggi karena pada beton terjadi retak-retak. Hal ini apabila terus berlanjut akan dapat mengakibatkan retakan yang terjadi pada beton menjadi lebih lebar

dan biasanya bersamaan dengan itu akan terjadi defleksi pada balok.

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

G. Pengujian *Pull out*

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 kuat lekat antara beton dengan bambu tulangan (Budi Santoso, 2014). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar berikut :



Gambar 5. Pengujian *Pull out*

(Sumber : Budi Santoso, 2014)

Luas bidang kontak pada tulangan bambu dapat disesuaikan dengan keliling penampang melintang dikalikan panjang penanaman.

H. Sifat-Sifat Keruntuhan Lekatan

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).

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 kekuatan lekatan 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 kekuatan lekatan 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 dan Putus

Yaitu, apabila baja tulangan meleleh diikuti oleh kontraksi/pegecilan 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 sehingga tulangan putus.

I. Panjang Penyaluran (L_d)

Panjang penyaluran L_d merupakan suatu fungsi dari ukuran (dimensi) dan tegangan leleh tulangan yang sangat menentukan ketahanan tulangan untuk terjadi slip. Kekuatan lekatan beton μ adalah suatu fungsi dari kekuatan tekan beton. Sebuah tulangan harus diperpanjang sejauh L_d . Jarak L_d dibutuhkan untuk menyalurkan gaya tulangan kepada beton melalui lekatan. Jika tegangan rata-rata μ , diasumsikan terdistribusi secara merata sepanjang L_d , maka panjang penyaluran dirumuskan sebagai berikut :

$$L_d = k \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} A_b \quad (7)$$

(Sumber : Edward G. Nawy, Reinforced Concrete, 2005)

dimana :

L_d = Panjang penyaluran (mm)

f_y = Tegangan leleh tulangan (MPa)

f'_c = Kekuatan tekan beton (MPa)

A_b = Luas tulangan (mm^2)

k = Koefisien panjang penyaluran

μ = Tegangan lekat (MPa)

f_s = Diameter baja (mm)

$$k = k \frac{\sqrt{f'_c}}{\pi \cdot D \cdot \mu} \quad (8)$$

dimana :

μ = Kekuatan lekatan (MPa)

D = Diameter tulangan (mm)