PENGARUH SUBTITUSI AGREGAT HALUS DENGAN SERBUK BAMBU TERHADAP KUAT TARIK BELAH BETON (STUDI KASUS CAMPURAN BETON 1 : 2 : 3)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil

pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik

Universitas Darul Ulum Islamic Center Sudirman GUPPI Ungaran

Disusun oleh:

Dwi Aditya Saputra	**22210021**
Firda Riska Dewi	**22210013**

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS DARUL ULUM ISLAMIC CENTER SUDIRMAN GUPPI

UNGARAN

2026

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH SUBTITUSI AGREGAT HALUS DENGAN SERBUK BAMBU TERHADAP KUAT TARIK BELAH BETON (STUDI KASUS CAMPURAN BETON 1 : 2 : 3)

Disusun oleh:

Dwi Aditya Saputra	**22210021**
Firda Riska Dewi	**22210013**

Tugas Akhir ini telah disetujui untuk dipertahankan di hadapan Tim Penguji Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Undaris

Diperiksa dan Disetujui

Pembimbing I	**Pembimbing II**
Ir. Agung Hari Wibowo, SIP., ST., MT.	**Ternadhy Aryarama Wijaya, S.ST., M.Eng.**
NIDN. 0604089203	**NIDN. 0617019402**

ii

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH SUBTITUSI AGREGAT HALUS DENGAN SERBUK BAMBU TERHADAP KUAT TARIK BELAH BETON (STUDI KASUS CAMPURAN BETON 1 : 2 : 3)

Disusun oleh:

Dwi Aditya Saputra	**22210021**
Firda Riska Dewi	**22210013**

Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal:
28 September 2026

Tugas Akhir ini telah telah diterima sebagai salah satu prasyarat untuk memperoleh gelar Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Undaris

Tim Penguji

Ketua : **Abdullah S.T., M.T.** (.....)

Anggota : **Ir.Agung Hari Wibowo, SIP., S.T., M.T.** (.....)

Anggota : **Tenardhy Aryarama Wijaya, S.ST., M.Eng.** (.....)

Mengetahui:
Ketuaa Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Undaris

Ir.Agung Hari Wibowo, SIP., S.T., M.T.
NIDN. 0604089203

iii

Pernyataan Keaslian Tulisan

Kami yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dwi Aditya Saputra
NIM : 22210021
Judul : Pengaruh Substitusi Agregat Halus dengan Serbuk Bambu Terhadap Kuat Tarik Belah Beton (Studi Kasus Campuran 1 : 2: 3)

Nama : Firda Riska Dewi
NIM : 22210013
Judul : Pengaruh Substitusi Agregat Halus dengan Serbuk Bambu Terhadap Kuat Tarik Belah Beton (Studi Kasus Campuran 1 : 2: 3)

Menyatakan bahwa naskah Tugas Akhir ini secara keseluruhan Adalah hasil penelitian atau karya milik sendiri, kecuali pada bagian – bagian yang dirujuk sumbernya.

Ungaran, 28 September 2026

Mahasiswa,



(Dwi Aditya Saputra) **(Firda Riska Dewi)**

iv

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji dan Syukur dihaturkan atas kehadirat Allah SWT, berkat Ramat dan Hidayah-Nya kami dapat menyelesaikan Tugas akhir yang berjudul "Pengaruh Subtitusi Agregat Halus Dengan Serbuk Bambu Terhadap Kuat Tarik Belah Beton
(Studi Kasus Campuran Beton 1 : 2 : 3)" secara maksimal. Shalawat serta salam selalu terlimpahkan dan curahkan Kepada junjungan Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan pengikut beliau hingga akhir zaman.

Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat menyelesaikan studi jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Darul Ulum Islamic Center Sudirman GUPPI, Ungaran. Berkat saran, kritik, dan dorongan dari berbagai pihak, kami sangat bersyukur dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih yang tak terhingga kepada sembua pihak yang terlibat dan tak henti memberikan dukungan kepada penulis selama proses penelitian, penyususnan, hinga selesainya Tugas Akhir.

Semarang, 3 Agustus 2026

Penulis,

Adit dan Firda

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN ..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
LEMBAR PENGESAHAN ..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
KATA PENGANTAR ii
DAFTAR ISI vi
DAFTAR GAMBAR viii
DAFTAR TABEL x
ABSTRAK xi
ABSTRACT xii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Manfaat Penelitian 2
1.5 Batasan Masalah 3
1.6 Lokasi Penelitian 4
1.7 Sistematik Penulisan 4
BAB II LANDASAN TEORI 6
2.1 Umum 6
2.2 Penelitian Terdahulu 7
2.3 Bahan Penyusun Beton 10
2.4 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*) 13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 16
3.1 Umum 16
3.2 Lokasi 16
3.3 Bahan Dan Peralatan 16
3.3.1 Bahan – Bahan Yang Digunakan: 16
3.3.2 Peralatan yang Digunakan 18
3.4 Tahap Penelitian 21
3.4.1 Tahap I Persiapan 21
3.4.2 Tahap II Pembuatan *Mix Design* 21
3.4.3 Tahap III Pembuatan Benda Uji 22
3.4.4 Tahap IV Pengujian 23

3.4.5 Tahap V Analisa Data 24
3.4.6 Tahap VI Pengambilan Kesimpulan 24
BAB IV ANALISIS DAN PERHITUNGAN 25
4.1 Data Hasil Pengujian 25
4.2 Uji Slump 25
4.3 Berat Benda Uji Silinder 26
4.3.1 Berat Benda Uji Umur 7 Hari 26
4.3.2 Berat Benda Uji Umur 14 Hari 28
4.3.3 Berat Benda Uji Umur 28 Hari 29
4.4 Pengukuran Diameter dan Tinggi Benda Uji Silinder 30
4.5 Pengujian Kuat Tekan 33
4.5.1 Analisis Pemeriksaan Kuat Tekan Umur 7 Hari 33
4.5.2 Identifikasi Pola Kerusakan 35
4.6 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton 36
4.6.1 Analisis Pemeriksaan Kuat Tarik Belah Beton Umur 14 Hari 37
4.6.2 Identifikasi Pola Kerusakan 39
4.6.3 Identifikasi Pola Kerusakan 43
4.7 Rangkuman Data Hasil Pengujian Beton 44
BAB V 48
KESIMPULAN DAN SARAN 48
5.1 Kesimpulan 48
5.2 Saran 49
DAFTAR PUSTAKA 50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ukuran Agregat Kasar 11
Gambar 2. 2 Serbuk Organik Bambu 13
Gambar 3. 1 Laboratorium Bahan Bangunan dan Mekanika Tana Fakultas Teknik 16
Gambar 3. 2 Semen Merek Gresik 17
Gambar 3. 3 (a) Agregat Halus, (b) Agregat Kasar 17
Gambar 3. 4 Air 18
Gambar 3. 5 Serbuk Bambu 18
Gambar 3. 6 Kerucut Abrams dan Tongkat Penumbuk 19
Gambar 3. 7 Cetakan Beton Silinder 19
Gambar 3. 8 Alat Pengukur 19
Gambar 3. 9 Ember 20
Gambar 3. 10 (a) Timbangan Duduk, (b) Timbangan Digital 20
Gambar 3. 11 Sekop 21
Gambar 3. 12 Alat Penguji Beton 21
Gambar 3. 13 Urutan Pelaksanaan Penelitian 24
Gambar 4. 1 Hasil Test Slump BN 26
Gambar 4. 2 Hasil Test Slump BSB 0,2% 26
Gambar 4. 3 Hasil Test Slump BSB 0,4% 26
Gambar 4. 4 (a) Hasil Benda Uji 1 BN, (b) Hasil Benda Uji 2 BN, (c) Hasil Benda Uji 3 BN umur 7 hari 34
Gambar 4. 5 (a) Hasil Benda Uji 1 BSB 0,2%, (b) Hasil Benda Uji 2 BSB 0,2%, (c) Hasil Benda Uji 3 BSB 0,2% umur 7 hari 35
Gambar 4. 6 (a) Hasil Benda Uji 1 BSB 0,4%, (b) Hasil Benda Uji 2 BSB 0,4%, (c) Hasil Benda Uji 3 BSB 0,4% umur 7 hari 35
Gambar 4. 7 (a),(b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BN umur 7 hari 36
Gambar 4. 8 (a), (b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BSB 02% umur 7 hari 36
Gambar 4. 9 (a), (b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BSB 04% umur 7 hari 36
Gambar 4. 10 (a) Hasil Benda Uji 1 BN, (b) Hasil Benda Uji 2 BN, (c) Hasil Benda Uji 3 BN umur 14 hari 38

Gambar 4. 11 (a) Hasil Benda Uji 1 BSB 0,2%, (b) Hasil Benda Uji 2 BSB 0,2%, (c) Hasil Benda Uji 3 BSB 0,2% umur 14 hari 38
Gambar 4. 12 (a) Hasil Benda Uji 1 BSB 0,4%, (b) Hasil Benda Uji 2 BSB 0,4%, (c) Hasil Benda Uji 3 BSB 0,4% umur 14 hari 38
Gambar 4. 13 (a),(b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BN umur 14 hari 39
Gambar 4. 14 (a), (b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BSB 02% umur 14 hari 40
Gambar 4. 15 (a), (b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BSB 04% umur 14 hari 40
Gambar 4. 16 (a) Hasil Benda Uji 1 BN, (b) Hasil Benda Uji 2 BN, (c) Hasil Benda Uji 3 BN umur 28 hari 42
Gambar 4. 17 (a) Hasil Benda Uji 1 BSB 0,2%, (b) Hasil Benda Uji 2 BSB 0,2%, (c) Hasil Benda Uji 3 BSB 0,2% umur 28 hari 42
Gambar 4. 18 (a) Hasil Benda Uji 1 BSB 0,4%, (b) Hasil Benda Uji 2 BSB 0,4%, (c) Hasil Benda Uji 3 BSB 0,4% umur 28 hari 42
Gambar 4. 19 (a), (b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BN umur 28 hari 43
Gambar 4. 20 (a), (b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BSB 02% umur 28 hari 44
Gambar 4. 21 (a), (b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BSB 04% umur 28 hari 44
Gambar 4. 22 Grafik Rata - Rata Kuat Tarik Belah Beton Umur 14 dan 28 Hari 47

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Proporsi Adukan Beton Per-Sembilan (9) Sampel 22
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Slump 25
Tabel 4. 2 Berat Benda Uji Silinder Berdasarkan Umur Benda Uji 27
Tabel 4. 3 Berat Benda Uji Silinder Berdasarkan Umur Benda Uji 14 Hari 28
Tabel 4. 4 Berat Benda Uji Silinder Berdasarkan Umur 28 Hari 29
Tabel 4. 5 Diameter Benda Uji Silinder Umur 7 Hari 30
Tabel 4. 6 Tinggi Benda Uji Silinder Umur 7 Hari 30
Tabel 4. 7 Diameter Benda Uji Silinder Umur 14 Hari 31
Tabel 4. 8 Tinggi Benda Uji Silinder Umur 14 Hari 31
Tabel 4. 9 Diameter Benda Uji Silinder Umur 28 Hari 32
Tabel 4. 10 Tinggi Benda Uji Silinder Umur 28 Hari 33
Tabel 4. 11 Pengujian Kuat Tekan 34
Tabel 4. 12 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton 37
Tabel 4. 13 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton 41
Tabel 4. 14 Data Hasil Uji Kuat Tekan Beton Normal pada Hari ke-7 45
Tabel 4. 15 Data Hasil Uji Kuat Tarik Belah Beton pada Hari ke-14 45
Tabel 4. 16 Data Hasil Uji Kuat Tarik Belah Beton pada Hari Ke-28 46

ABSTRAK

Beton merupakan material konstruksi utama yang unggul dalam menahan kuat tekan, namun memiliki sifat getas dan lemah terhadap gaya tarik (berkisar antara 8%–15% dari kuat tekannya). Kebutuhan agregat alam seperti pasir yang semakin meningkat dan terbatas menuntut adanya inovasi penggunaan bahan alternatif ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh substitusi agregat halus (pasir) menggunakan serbuk bambu terhadap nilai kuat tarik belah beton pada campuran perbandingan nominal 1 : 2 : 3. Variasi substitusi serbuk bambu yang digunakan adalah 0%, 0,2%, dan 0,4% dari berat total agregat halus. Penelitian eksperimental ini menggunakan benda uji berbentuk silinder berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian nilai *slump* ditargetkan sebesar 10 ± 2 cm. Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan mengacu pada SNI 2491:2014 pada umur perawatan (*curing*) 7 hari, 14 hari, dan 28 hari di Laboratorium Bahan Bangunan dan Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman GUPPI (UNDARIS). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai pengaruh penambahan limbah serbuk bambu sebagai bahan alternatif dalam menahan perambatan retak (*crack*) serta menentukan persentase substitusi optimal yang menghasilkan kuat tarik belah beton tertinggi tanpa menurunkan kualitas mekanis beton.

ABSTRACT

Concrete is a primary construction material known for its high compressive strength, yet it exhibits brittle behavior and low tensile strength (approximately 8% to 15% of its compressive strength). The increasing demand and limited availability of natural aggregates, such as sand, necessitate innovations in utilizing eco-friendly alternative materials. This study aims to investigate the effect of partial fine aggregate (sand) substitution with bamboo powder on the splitting tensile strength of concrete using a nominal mix proportion of 1 : 2 : 3. The bamboo powder substitution levels evaluated were 0%, 0.2%, and 0.4% by weight of the fine aggregate. This experimental research utilized cylindrical test specimens with dimensions of 150 mm in diameter and 300 mm in height. The targeted slump value was set at 10 ± 2 cm. The splitting tensile strength tests were conducted in accordance with SNI 2491:2014 at curing ages of 7, 14, and 28 days at the Building Materials and Soil Mechanics Laboratories of Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman GUPPI (UNDARIS). The findings of this study are expected to clarify the impact of bamboo powder as a waste utilization strategy to inhibit crack propagation and to identify the optimal substitution percentage that yields the maximum splitting tensile strength without compromising the mechanical performance of the concrete

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia, karena ketersediaan materialnya melimpah, ekonomis, serta memiliki daya tahan dan kuat tekan yang tinggi (**Neville, 2011; Scrivener et al., 2018**). Namun, beton memiliki kelemahan mendasar pada sifatnya yang rapuh (*brittle*). Kuat tarik beton relatif rendah, yaitu hanya sekitar 8% hingga 15% dari kuat tekannya (**Mehta & Monteiro, 2014**). Kelemahan ini membuat beton mudah mengalami retak akibat beban mekanis maupun penyusutan (*shrinkage*). Keretakan tersebut mempermudah masuknya zat agresif dari lingkungan yang memicu korosi pada baja tulangan dan mempercepat kerusakan struktur (**Tuutti, 1982**). Selain itu, produksi semen sebagai bahan dasarnya menyumbang sekitar 8% emisi CO2 global (Andrew, 2018).

Untuk mengatasi kelemahan sifat mekanis tersebut, penggunaan serat alami (*natural fibers*) seperti serbuk dari bahan sisa seperti abu terbang, abu dasar batubara, dan sabut kelapa menjadi salah satu inovasi yang potensial. Selain bahan campuran yang sudah ada, bambu juga menjadi ide inovasi yang memiliki kuat tarik alami yang tinggi serta ketersediaan yang melimpah dan ramah lingkungan (**Jawaid & Abdul Khalil, 2011**). Penambahan serbuk bambu ke dalam campuran beton berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*) sekaligus penahan retak (*micro-crack arrester*), yang mampu meningkatkan daktilitas dan meminimalkan penyebaran retak mikro pada beton (**Xing et al., 2020**).

Peneliti menggunakan serbuk bambu sebagai bahan campuran beton didasarkan pada pertimbangan bahwa kuat tariknya yang cukup tinggi, pembuatan dari bahan baku menjadi serbuk sangat mudah dan populasinya yang cukup banyak (Suhardiman, 2021; Rahmawati & Saputro, 2021). Perlu dilakukan pengujian kuat tarik belah (*splitting tensile test*) yang bertujuan untuk mengukur atau mengetahui kemampuan beton terhadap gaya gesek. Metode uji belah ini dipilih karena jauh lebih

praktis dan akurat di laboratorium dibandingkan uji tarik langsung yang sangat sulit dan sering gagal karena masalah jepitan alat.

Dalam penelitian ini, serbuk bambu digunakan sebagai bahan substitusi agregat halus dengan variasi kadar 0%, 0,2%, dan 0,4% dari berat agregat halus. Penggunaan variasi persentase yang kecil ini didasarkan pada pertimbangan bahwa penambahan dalam jumlah besar dapat mengurangi kualitas beton. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai batas optimal penggunaan serbuk bambu yang memberikan hasil kuat tarik belah beton terbaik.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang sudah tersusun diatas, mendapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh substitusi serbuk bambu terhadap workabilitas dan sifat mekanis?
2. Apakah substitusi agregat halus dengan serbuk bambu pada variasi 0%, 0.2% dan 0.4% dapat menyebabkan peningkatan atau penurunan nilai kuat tarik belah beton?
3. Berapa persentase substitusi optimal serbuk bambu sebagai agregat halus yang dapat menghasilkan kuat tarik belah beton tertinggi pada campuran beton 1:2:3?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdassarkan penelitian di atas, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh substitusi menggunakan serbuk bambu terhadap workabilitas dan sifat mekanis,
2. Mengetahui penambahan serbuk bambu dengan variasi 0%, 0.2% dan 0.4% akan menyebabkan peningkatan atau penurunan kuat tarik belah beton,
3. Mengetahui persentase substitusi yang optimal serbuk bambu yang dapat menghasilkan kuat tarik belah beton tertinggi pada campura beton 1:2:3.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

Manfaat bagi mahasiswa:

1. Dapat meningkatkan pemahaman dan keterampilan mahasiswa dalam membuat inovasi teknologi beton, khususnya dalam proses pencampuran (*mix design*) dan pengujian mekanis di laboratorium menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI).

2. Menjadi sarana untuk mengaplikasikan teori kuliah (Bahan bangunan) ke dalam riset nyata, khususnya mengenai bagaimana serat alam (serbuk bambu) dapat menahan perambatan retak (*crack*) pada beton.

3. Mahasiswa dapat melath untuk berpikir kritis dan solutif dalam memanfaatkan limbah organik/lokal (serbuk bambu) menjadi material konstruksi yang bernilai tinggi dan ramah lingkungan.

Bagi Institusi Pendidikan:

1. Menambah karya ilmiah, jurnal, atau paten berkualitas tinggi dari civitas akademika, yang berkontribusi langsung pada peningkatan nilai akreditasi jurusan maupun universitas.

2. Memaksimalkan penggunaan alat uji laboratorium (seperti *Universal Testing Machine* atau alat uji kuat tekan/tarik belah) untuk penelitian yang *inovatif* dan *aplikatif*.

3. Menambah fokus riset laboratorium teknik sipil dalam bidang material berkelanjutan sehingga kampus tetap relevan dengan tren konstruksi global saat ini.

1.5 Batasan Masalah

1. Semen yang di gunakan ialah semen *Portland tipe I* menggunakan merek Semen Gresik.
2. Variasi substitusi serbuk bambu yaitu 0%, 0,2% dan 0,4% dari berat total agregat halus.
3. Studi kasus campuran beton 1:2:3.
4. Nilai slump yang digunakan ialah 10±2 cm.

5. Agregat halus yang digunakan ialah pasir.
6. Agregat kasar yang digunakan ialah batu split.
7. Air yang di gunakan ialah air PDAM.
8. Benda Uji yang digunakan untuk pelitian ini yaitu benda silinder berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.
9. Masa pengujian kuat tarik belah beton yang dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

1.6 Lokasi Penelitian

Laboratorium Bahan Bangunan dan Laboratorium Mekanika Tanah Prodi Teknik Sipil Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman GUPPI (UNDARIS)

1.7 Sistematik Penulisan

Sistematika Penulisan Tugas Akhir berjudul "Pengaruh Substitusi Agregat Halus Dengan Serbuk Bambu Terhadap Kuat Tarik Belah Beton (Studi Kasus Campuran Beton 1:2:3)" ini disusun ke beberapa bab yang berisi materi sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berupa latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisi tentang penjelasan teori yang digunakan untuk Tugas Akhir. Teori-teori ini yang akan dijadikan dasar penulisan penulisan Tugas Akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan yang dilakukan dalam penelitian mengenai pengaruh substitusi agregat halus dengan serbuk bambu pada beton.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PERHITUNGAN

Bab ini membahas tentang analisis dan perhitungan nilai slump dan kuat tarik belah beton.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan hasil kesimpulan dan saran yang didapat dari penelitian substitusi agregat halus dengan serbuk bambu pada beton tersebut.

BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 Umum

Dalam dunia konstruksi modern, beton hingga saat ini masih menjadi bahan bangunan utama yang paling luas penggunaannya karena memiliki kuat tekan yang tinggi, durabilitas yang baik, serta mudah dibentuk. Walaupun demikian, beton memiliki kelemahan mendasar pada sifat mekanisnya yang getas (*brittle*) dan lemah terhadap gaya tarik, di mana kapasitas kuat tariknya secara teoritis hanya berkisar antara 8% hingga 15% dari kuat tekannya. Pada aplikasi di lapangan, tegangan tarik yang timbul akibat beban lentur, perubahan suhu, penyusutan, maupun guncangan gempa dapat memicu munculnya retakan (*crack*). Keretakan ini menjadi jalur masuknya air dan zat kimia agresif yang memicu korosi pada tulangan baja sehingga mempercepat penurunan umur layanan struktur. Fenomena ini mendorong kami untuk melakukan inovasi beton berkelanjutan dengan memanfaatkan limbah organik berupa serbuk bambu sebagai bahan substitusi parsial agregat halus (pasir). Serbuk bambu diproyeksikan dapat bekerja sebagai mikro-serat (*micro-fiber*) yang menyebar secara merata untuk menjembatani retak mikro (*crack-bridging effect*) saat beban tarik bekerja.

Pengujian kuat tarik belah (*Splitting Tensile Test*) dilakukan secara tidak langsung (*indirect tensile test*) mengacu pada SNI 2491:2014 dengan cara memberikan beban tekan aksial secara konstan pada posisi horizontal sepanjang garis aksial benda uji silinder berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Sebelum diuji pada umur perawatan (*curing*) 7, 14, dan 28 hari, spesimen dibersihkan hingga kondisi lembab permukaan (SSD), ditimbang, dan diberi garis aksial di kedua permukaan ujungnya sebagai panduan arah pembelahan. Benda uji kemudian diletakkan mendatar pada mesin uji tekan (*Universal Testing Machine*) dengan dilapisi bilah kayu lapis (*tripleks*) setebal ± 3 mm dan lebar ± 25 mm di bagian atas dan bawahnya guna meratakan distribusi beban. Pembebanan diberikan secara perlahan tanpa kejutan hingga beton terbelah menjadi dua bagian, di mana nilai beban maksimum yang tercatat digunakan untuk menghitung kuat tarik belah.

Nilai kuat tarik belah beton yang dihasilkan diperkirakan dipengaruhi oleh beberapa parameter utama selama proses penelitian. Pertama, persentase substitusi dan karakteristik bahan tambah, dimana variasi serbuk bambu (0,2% dan 0,4% dari berat pasir) berperan dalam menahan perambatan retak mikro, namun sifat penyerapan air organiknya yang tinggi berpotensi mempengaruhi keenceran adonan (*workability*) dan kerapatan beton. Kedua, parameter rancangan campuran (*mix design*), yang meliputi nilai Faktor Air Semen (FAS), kualitas serta gradasi agregat halus dan kasar, hingga keseimbangan proporsi campuran nominal 1 : 2 : 3 yang menentukan kekuatan area ikatan (*Interfacial Transition Zone*). Ketiga, faktor teknis pelaksanaan laboratorium, seperti tingkat pemadatan saat pengecoran untuk mencegah rongga udara, kecukupan masa perendaman (*curing*), serta ketepatan pemasangan kayu lapis agar tidak terjadi hancur lokal (*local crushing*) sebelum benda uji terbelah secara sempurna.

Oleh karena itu, pada sub-bab berikutnya saya menguraikan tinjauan pustaka serta landasan teori yang relevan mengenai karakteristik beton, campuran beton nominal 1 : 2 : 3, material pembentuk beton (semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan serbuk bambu), fenomena kuat tarik belah, serta mekanisme perbaikan sifat mekanis beton akibat substitusi bahan berserat. Seluruh landasan teori ini kami gunakan sebagai dasar acuan dalam menganalisis dan membahas data hasil pengujian laboratorium pada Tugas Akhir ini.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan beberapa kajian penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui perkembangan yang sudah ada dan melakukan perbandingan dengan yang dikerjakan.

2.2.1 Ringkasan Penelitian yang Relevan

Ada beberapa penelitian tentang pengujian kuat tarik belah beton menggunakan bahan campuran, berikut sumber yang relevan dengan penelitian yang dilakukan:

1. Brandon Christopher Kaat, Steenie E. Wallah, Mielke R. I. A. Mondoringin, (2019), “Kuat Tarik Belah Beton Dengan Menggunakan Tras Pada Berbagai Prosentase Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus”.

   Pemakaian bahan campuran tras sebagai bahan substitusi agregat kasar membuat kuat tekan dan kuat tarik mengalami peningkatan dan mencapai nilai optimum pada variasi 10% sedangkan nilai paling rendah adalah pada variasi 25% untuk kuat tekan dan variasi 0% untuk kuat tarik belah beton.

   Berdasarkan hasil pengujian didapat kuat tarik maksimum adalah 3,20 Mpa pada variasi 10% dan pengujian kuat tarik belah paling rendah adalah 2,67 Mpa pada variasi 0% jadi dapat disimpulkan bahwa mengalami peningkatan yang signifikan sebesar 16,56% dari beton normal.

2. Heryah Ramadani, “Analisis Pengaruh Penambahan Serat Bambu Terhadap Kuat Tarik Belah Beton Dengan Fas 0.4 dan 0.6” Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data dan pembahasan yang dilakukan penelitian ini disimpulkan sebagai berikut:

   Pengujian nilai kuat tarik belah beton menggunakan mutu K-225 umur 28 hari dengan variasi (0,5%, 1%, dan 1,5%) serta faktor air semen (FAS 0,4 dan 0,6). Penelitian memiliki sifat beton yang getas dengan kuat tarik rendah hanya sekitar 10% hingga 15% dari kuat tekannya sehingga mendorong pemanfaatan serat alami seperti bambu.

   Hasil pengujian menunjukkan kombinasi faktor air semen rendah (FAS 0,4) dengan penambahan serat bambu sebesar 0,5% menghasilkan nilai kuat tarik belah paling tinggi dan berhasil memenuhi kriteria yang direncanakan. Sebaliknya, penggunaan FAS yang lebih besar (FAS 0,6) pada seluruh variasi serat bambu belum mampu mencapai kuat tarik rencana. Jadi kesimpulannya bahwa kerapatan matriks campuran akibat FAS rendah sangat menentukan efektivitas interaksi antara pasta semen dan serat alami dalam meningkatkan kuat tarik beton.

3. W. Warsito dan Anita Rahmawati (2020), “Variasi Abu Ampas Tebu dan Serat Bamu sebagai Bahan Campuran Pembuatan Beton Ramah Lingkungan”. Penelitian ini menguji kombinasi abu ampas tebu sebagai

pengganti sebagian semen dan serat bambu sebagai bahan tambah pada beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa keberadaan serat bambu membantu mengontrol keretakan dini akibat susut dan meningkatkan kuat tarik, sedangkan penggunaan abu pozzolan alami mendukung kerapatan struktur mikro beton.

4. Mudji Suhardiman (2011), "Kajian Pengaruh Penambahan Serat Bambu Ori Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton". Penelitian ini mengkaji penggunaan serat bambu jenis Ori yang memiliki kuat tarik tinggi (mencapai 519 MPa) sebagai bahan tambah pada adukan beton. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan serat bambu Ori memberikan peningkatan daktilitas dan kuat tarik belah beton secara signifikan karena serat bambu mampu menjembatani retak mikro (*crack bridging*) saat beton menerima beban.

5. R. Trimurtiningrum (2018), "Pengaruh Penambahan Serat Bambu Terhadap Kuat Tarik dan Kuat Tekan Beton". Penelitian ini meneliti karakteristik mekanis beton bertulang serat (*fiber reinforced concrete*) dengan variasi panjang dan persentase serat bambu. Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat bambu sebesar 1% merupakan persentase efektif dalam meningkatkan batas kuat tarik belah serta memperlambat pola keruntuhan beton getas (*brittle*) menjadi lebih daktil.

2.2.2 Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian yang di disusun

Penggunaan bambu dalam inovasi teknologi beton telah banyak diteliti oleh para peneliti terdahulu karena sifat mekanisnya yang memiliki kuat tarik tinggi. Namun, sebagian besar penelitian terdahulu lebih berfokus pada penggunaan serat bambu berukuran panjang (*fiber*) sebagai bahan tambah (*additive*) dan dominan menguji pengaruhnya terhadap nilai kuat tekan beton.

Pembeda utama penelitian ini terletak pada bentuk material, fungsi campuran, dan proporsi yang digunakan. Dalam penelitian ini, bambu dimanfaatkan dalam bentuk serbuk berpartikel halus menyerupai pasir

yang berfungsi sebagai substitusi parsial agregat halus, bukan sekadar bahan tambah. Selain itu, pengujian dilakukan khusus pada campuran beton nominal 1 : 2 : 3 yang umum diterapkan di lapangan.

Dengan membatasi persentase substitusi pada kadar yang presisi yaitu 0,2% dan 0,4% dari berat pasir, penelitian ini berfokus mengevaluasi peningkatan kuat tarik belah beton. Kebaruan dari penelitian ini adalah untuk membuktikan apakah partikel halus serbuk bambu dapat bekerja secara efektif sebagai mikro-serat yang menjembatani retak mikro (*crack-bridging*) pada saat beban tarik bekerja tanpa menurunkan kualitas mekanis beton.

2.3 Bahan Penyusun Beton

2.3.1 Semen

Semen merupakan zat pengikat yang terdiri dari senyawa KSH (Kalsium Silikat Hidrat) saat dicampurkan dengan air dapat mengikat bahan lainnya seperti agregat kasar dan halus yang membentuk satu kesatuan massa yang menghasilkan beton segar yang mengeras (Tjokrodimuljo Kardiyono, 2007)

Semen memiliki tipe yang berbeda-beda tergantung penggunaan untuk kebutuhan struktur. Menurut SNI 15-2049-2004 terdapat beberapa tipe semen portland dan penggunaannya sebagai berikut:

1. Semen *Portland Tipe I*, untuk pengaplikasian umum tanpa memerlukan kriteria khusus.
2. Semen *Portland Tipe II*, untuk pengaplikasian membutuhkan ketahanan pada sulfat dan kalor hidrasi sedang.
3. Semen *Portland Tipe III*, untuk pengaplikasian memerlukan kekuatan yang tinggi di tahap awal setelah terjadi pengikatan.
4. Semen *Portland Tipe IV*, untuk pengaplikasian yang membutuhkan kalor hidrasi rendah.

2.3.2 Agregat Halus

Sesuai SNI 03-2834-2000, agregat halus mempunyai ukuran maksimal sebesar 5,0 mm yang berupa pasir alam dari hasil produksi dari industri pemecah batu sebagai hasil perubahan batuan yang terjadi secara alami. Pada PBI 1971 terdapat syarat-syarat untuk agregat halus yaitu sebagai berikut:

1. Bentuk butiran agregat halus harus kuat dengan sifat yang tidak mudah rusak terhadap kondisi cuaca panas maupun hujan.
2. agregat halus tidak berisi kandungan organik terlalu banyak yang akan menurunkan kualitas mutu.
3. Kandungan lumpur pada agregat halus harus dibawah 5% terhadap berat kering.

2.3.3 Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2834-2000, umumnya agregat kasar memiliki ukuran antara 5 mm sampai 40 mm yang berupa batu kerikil atau split hasil produksi dari industri pemecah batu sebagai hasil disintegrasi batuan yang yang terjadi secara alami.



Gambar 2. 1 Ukuran Agregat Kasar

Dalam PBI 1971 menjelaskan syarat agregat halus sebagai berikut:

1. Pori-pori yang dimiliki agregat kasar 20% dari total berat agregat dan juga harus tahan suhu panas maupun dingin.
2. Agregat kasar tidak boleh memiliki kandungan lumpur lebih dari 1% dari berat agregat kering. Jika lebih dari 1% harus dicuci terlebih dahulu untuk mengurangi kandungan lumpur.
3. Agregat kasar tidak mengandung bahan kimia yang dapat menyebabkan beton rusak.

2.3.4 Air

Air adalah salah satu bahan dasar dalam pembuatan beton sebagai bahan campuran semen portland agar dapat berbentuk pasta dan berfungsi untuk mengikat agregat. Jumlah takaran air harus sesuai tidak boleh kurang maupun lebih, jika berlebihan dapat menurunkan kualitas beton dan jika kekurangan dapat menyebabkan campuran beton tidak menyatu dengan baik.

2.3.5 Serbuk Bambu

Bambu merupakan material lokal yang memiliki banyak potensi. Di Indonesia, bambu sudah dikenal sebagai salah satu material konstruksi bangunan. Bambu memiliki nilai ekologis yang baik. Bambu juga memiliki properti mekanikal yang baik.



Gambar 2. 2 Serbuk Organik Bambu

2.4 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

2.4.1 Pengertian *Mix Design*

Mix design atau perancangan campuran beton merupakan tahapan ilmiah untuk menentukan proporsi kuantitatif material penyusun beton yang meliputi semen, agregat halus, agregat kasar, air, serta bahan substitusi/tambah, guna memperoleh mutu dan karakteristik beton sesuai yang direncanakan (Alkhaly, 2016). Perancangan campuran beton harus memperhatikan tiga kriteria utama, yaitu kemudahan pengerjaan (*workability*) pada saat fase plastis/segar, pencapaian kuat tekan dan kuat tarik belah target pada fase pengerasan, serta ketahanan keawetan (*durability*) terhadap lingkungan (Shabira & Setiono, 2022).

2.4.2 Tahapan Perencanaan Campuran Beton (SNI 03-2834-2000)

1. Menentukan Kuat Tekan Rencana fc’

kuat tekan mempunyai karakteristik nilai kuat tekan beton yang ditetapkan oleh perencana struktur sebagai batas minimum kekuatan yang harus dicapai oleh beton pada umur tertentu (umumnya 28 hari) (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

Dalam konsep perencanaan beton bertulang berdasarkan SNI, nilai fc' menjadi acuan utama dalam menghitung kapasitas dukung komponen struktur (balok, kolom, pelat, dan pondasi) terhadap kombinasi beban yang bekerja (MacGregor & Wight, 2012).

2. Menentukan Kuat Tekan Target (fc')

   Penetapan fc' merupakan nilai kuat tekan rata-rata beton yang harus dijadikan acuan saat melakukan perancangan adukan (*mix design*) di laboratorium atau pabrik beton (*batching plant*) (Badan Standardisasi Nasional, 2012).

   Tujuan utama penetapan fc' adalah memberikan margin keamanan (*margin of safety*) agar beton yang diproduksi di lapangan secara statistik memenuhi mutu spesifikasi yang disyaratkan oleh perencana struktur, yaitu kuat tekan rencana (fc') (Neville, 2011).

3. Menentukan Faktor Air Semen (FAS)

   Water-Cement Ratio atau Faktor Air Semen dalam standar SNI 03-2834-2000 ("Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal") sebagai perbandingan antara berat air bebas dan berat semen Portland yang digunakan dalam adukan beton (Badan Standardisasi Nasional, 2000).

   SNI 03-2834-2000 mengadopsi prinsip perancangan beton metode *Department of the Environment* (DOE) dari Inggris, di mana nilai FAS merupakan parameter kunci yang paling berpengaruh terhadap kuat tekan target (fc') dan durabilitas beton (Neville, 2011).

4. Penetapan Nilai Slump

   Nilai Slump memiliki ukuran konsistensi dan tingkat keenceran (*workability*) dari adukan beton segar. Dalam SNI 03-2834-2000 ("Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal"), penetapan nilai *slump* merupakan langkah awal yang krusial untuk memastikan bahwa adukan beton dapat dituang, dipadatkan, dan dirapikan dengan mudah

tanpa mengalami pemisahan butir (*segregation*) maupun pendarahan air (*bleeding*) (Badan Standardisasi Nasional, 2000; Neville, 2011).

5. Kebutuhan Air Bebas

   Kebutuhan Air Bebas dalam SNI 03-2834-2000 ("Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal") adalah jumlah air per meter kubik adukan beton yang benar-benar tersedia untuk proses reaksi hidrasi semen dan memberikan kemudahan pengerjaan (*workability*) (Badan Standardisasi Nasional, 2000).

   Jumlah air bebas dihitung dengan asumsi bahwa seluruh agregat (halus maupun kasar) berada dalam kondisi Jenuh Kering Muka / *Saturated Surface Dry* (SSD), sehingga agregat tidak menyerap air dari adukan dan juga tidak memberikan air tambahan ke dalam adukan (Tjokrodimuljo, 2007).

6. Kebutuhan Semen

   Kebutuhan Semen per meter kubik (m3) beton dalam SNI 03-2834-2000 ("Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal") dihitung secara langsung berdasarkan rasio antara Kebutuhan Air Bebas dan Faktor Air Semen (FAS) yang telah ditetapkan pada tahap sebelumnya (Badan Standardisasi Nasional, 2000).

   Perhitungan berat semen merupakan tahapan vital karena semen bertindak sebagai bahan pengikat (*binder*) yang menyatukan seluruh material agregat (Neville, 2011).

7. Proporsi Agregat dan Air dalam SNI 03-2834-2000

   ("Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal") merupakan langkah akhir dalam perancangan campuran (*mix design*) untuk menentukan komposisi agregat halus (pasir), agregat kasar (batu pecah/kerikil), dan jumlah air yang dibutuhkan per meter kubik (m3) beton (Badan Standardisasi Nasional, 2000).

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Penelitian yang dilaksanakan pada Tugas Akhir ini ialah penelitian yang memiliki sifat eksperimental. Penelitian eksperimen merupakan pengujian secara langsung untuk mengetahui sifat fisik, mekanik, dan durabilitas yang dilaksanakan di laboratorium atau lapangan.

3.2 Lokasi

Lokasi penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan dan Laboratorium Mekanika Tanah Program Studi Teknik Sipil Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman GUPPI (UNDARIS). Dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Laboratorium Bahan Bangunan dan Mekanika Tanah Fakultas Teknik

3.3 Bahan Dan Peralatan

berikut bahan dan peralatan yang digunakan pada penelitian ini:

3.3.1 Bahan – Bahan Yang Digunakan:

1. Semen

   semen yang akan digunakan pada penelitian ini ialah Semen *Portland Tipe I* merek Semen Gresik jenis *Portland Composite Cement.* Agar tidak mengalami penurunan kualitas pada semen, kemasan dan fisik semen harus

dalam keadaan baik dan terhindar dari sinar matahari langsung dan juga hujan. Berikut gambar semen yang akan digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Semen Merek Gresik

2. Agregat

Agregat terdapat dua jenis yaitu agregat halus dan agregat kasar. Untuk agregat halus yang akan digunakan yaitu pasir dan agregat kasar yaitu batu split dengan ukuran 1-2cm. Berikut gambar agregat halus dan agregat kasar yang digunakan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 (a) Agregat Halus, (b) Agregat Kasar

3. Air

Air yang digunakan pada penelitian ini diambil dari Laboratorium Prodi Teknik Sipil , Fakultas Teknik, Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman GUPPI (UNDARIS). Air yang digunakan harus dalam keadaan

bersih, tidak berbau dan jernih karena air kotor dapat mempengaruhi campuran beton. Dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Air

4. Serbuk Bambu

   Bahan Substitusi yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk bambu dengan variasi 0%, 0.2 % dan 0.4% dari total agregat halus. Dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Serbuk Bambu

3.3.2 Peralatan yang Digunakan

1. Kerucut *Abrams* dan Tongkat Penumbuk

   Kerucut *Abrams* digunakan sebagai alat menguji dan mengukur nilai slump setelah beton segar dikeluarkan dari *mixer*. Bagian pijakan kaki dan pegangan tangan harus disertakan. Dan tongkat penumbuk digunakan untuk memadatkan adonan beton yang dimasukkan ke kerucut *abrams* atau silinder. Dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 6 Kerucut Abrams dan Tongkat Penumbuk

2. Cetakan Silinder

Cetakan silinder dapat digunakan sebagai membentuk bahan yang sudah di *mixer* dan menjadi bentuk silinder, untuk ukuran benda uji yang digunakan peneliti ialah berdiameter 150mm dan tinggi 300mm, dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Cetakan Beton Silinder

3. Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan berjenis mistar, sebagai mengukur ketinggian pengujian nilai *slump*. Dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Alat Pengukur

4. Ember

Ember berfungsi sebagai wadah untuk menampung material seperti agregat, air, semen serta membantu memasukkan bahan atau material ke dalam mesin *mixer* beton. Dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Ember

5. Timbangan

Timbangan digunakan sebagai alat menimbang benda uji, material atau bahan. Dapat dilihat pada Gambar 3.10.



(a) (b)

Gambar 3. 10 (a) Timbangan Duduk, (b) Timbangan Digital

6. Sekop

Sebagai alat yang digunakan untuk memasukkan bahan penyusun beton kedalam cetakan agar memudahkan pekerjaan, Dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3. 11 Sekop

7. Alat Pengujian Beton

   Penelitian ini melakukan Pengujian Kuat Tarik Belah Beton, mesin uji ini digunakan dalam keadaan baik dan layak digunakan. Alat ini disediakan di Laboratorium Bahan Bangunan dan Mekanika Tanah Prodi Teknik Sipil Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman GUPPI (UNDARIS). Dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3. 12 Alat Penguji Beton

3.4 Tahap Penelitian

3.4.1 Tahap I Persiapan

Persiapan untuk melaksanakan penelitian ini meliputi penyusun studi pustaka, alat-alat, serta bahan yang akan digunakan dan juga persiapan laboratorium.

3.4.2 Tahap II Pembuatan *Mix Design*

Pada tahap ini akan direncanakan menggunakan campuran penyusun beton dengan perbandingan 1 semen: 2 Agregat halus: 3 Agregat Kasar.

Pada perencanaan beton ini menggunakan ember sebagai alat bantu penelitian ini.

3.4.3 Tahap III Pembuatan Benda Uji

Setelah proporsi campuran agregat telah ditentukan selanjutnya pembuatan benda uji, yaitu meliputi pengadukan beton, pengujian konsistensi campuran melalui pengujian *slump*, menuangkan adukan beton ke dalam cetakan, kemudian pelepasan benda uji serta perawatannya. Berikut tahapan pembuatan benda uji pada Taabel 3.1

Tabel 3. 1 Proporsi Adukan Beton Per-Sembilan (9) Sampel

NO.	Variasi	Semen	Agregat Halus		Agregat Kasar (Kg)	Air (Kg)
			Pasir (Kg)	Serbuk Bambu (Kg)		
1	BN	25	26	0	59.94	9.92
2	BSB 0.2%	25	25.948	0.052	59.94	9.92
3	BSB 0.4%	25	25.897	0.103	59.94	9.92

1. Pengadukan Beton

   Proses pencampuran beton diawali dengan memasukkan dan mengaduk material kering berupa semen *portland* dan agregat halus ke dalam *mixer*. Selanjutnya, kerikil dan limbah serbuk bambu ditambahkan ke dalam campuran tersebut. Langkah terakhir adalah menuangkan air secara bertahap dan merata sambil terus diaduk hingga mencapai konsistensi adonan yang ideal, dengan ketentuan setiap *volume* air yang masuk wajib dicatat.

2. Pengujian *Slump*

   Setelah proses pengadukan selesai, beton segar dipindahkan ke wadah penampung besar. Selanjutnya, pengujian nilai *slump* dilakukan menggunakan kerucut *Abrams*. Beton segar dimasukkan ke dalam cetakan tersebut secara bertahap hingga penuh, di mana setiap 1/3 bagian cetakan dipadatkan dengan cara ditumbuk minimal 25 kali menggunakan tongkat pemadat. Langkah terakhir, cetakan diangkat secara perlahan dan ukur dan catat tingkat penurunan (selisih tinggi) beton.

3. Penuangan Adukan Beton ke Cetakan

Setelah pengujian nilai *slump*, tahap berikutnya adalah pengecoran ke dalam cetakan silinder dengan prosedur sebagai berikut:

a. Beton segar dimasukkan ke dalam cetakan silinder yang bagian dalamnya sudah dilapisi minyak pelumas terlebih dahulu.

b. Pengisian ke dalam cetakan dilakukan secara bertahap sebanyak tiga lapisan, setiap lapisannya dipadatkan dengan cara ditumbuk menggunakan tongkat pemadat sebanyak 25 kali secara merata hingga cetakan terisi penuh

4. Pelepasan dan Perawatan Benda Uji

Benda uji dilepas dari cetakan silinder setelah 24 jam yang lalu dilakukan perawatan beton dengan *curing* selama 7 hari, 14 hari, dan 28 hari sampai waktu pengujian dilakukan pada tiap rentang setelah proses *curing* selama 7 hari pertama, selisih 7 hari untuk pengujian kedua, dan 14 hari untuk pengujian ketiga di hari ke 28.

3.4.4 Tahap IV Pengujian

Pengujian beton dilakukan pada saat beton berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Pada tahapan ini dilakukan pengujian terhadap kuat tarik belah beton dengan mengamati kuat tarik belah beton yang terjadi saat beton berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari, metode ini mengacu pada SNI 2491:2014.

Untuk prosedur pengujiannya sebagai berikut:

1. Persiapan Pengujian

a. Setelah melewati masa perawatan (*curring*) satu hari sebelum melakukan pengujian kuat tarik belah beton benda uji dalam kondisi lembab.

b. Siapkan dua balok besi diletakkan kanan dan kiri benda uji untuk penyeimbang benda uji dan besi dibagian atas benda uji untuk meratakan distribusi beban pada benda uji.

c. Berat benda uji ditentukan.

2. Prosedur Uji Kuat Tarik Belah

a. Benda uji diberi garis di kedua ujung yang menunjukkan diameter pembelahaan untuk memastikan benda uji benar-benar lurus.

b. Benda uji diletakkan pada alat uji dengan posisi horizontal kemudian bagian atas dan bawah diberi besi lapis.

c. Tekan benda uji secara konstan tanpa kejutan

Catat beban maksimum yang tertera pada mesin saat beton terbelah menjadi dua bagian.

3.4.5 Tahap V Analisa Data

Pada tahap ini, seluruh data dan informasi yang diperoleh dari hasil pengujian dievaluasi untuk menjadikan kesimpulan terkait hubungan antarvariabel yang menjadi fokus dalam penelitian ini.

3.4.6 Tahap VI Pengambilan Kesimpulan

Pada tahap ini, informasi atau data yang telah dianalisis kemudian disusun menjadi sebuah kesimpulan yang sejalan dengan tujuan penelitian.



Gambar 3. 13 Urutan Pelaksanaan Penelitian

BAB IV
ANALISIS DAN PERHITUNGAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Undaris, data yang diperoleh yaitu hasil uji slump, berat volume benda uji silinder, diameter dan ketinggian benda uji silinder, pengujian kuat tekan, serta pola kerusakan.

4.2 Uji Slump

Tujuan dilakukan uji slump adalah memastikan adonan beton mudah dituangkan dan dipadatkan tanpa mengalami pemisahan material (segregasi), serta mengontrol penggunaan air adukan akibat adanya bahan tambahan/substitusi.

Target nilai *slump* beton yang direncanakan adalah 10±2. Berikut adalah hasil dari uji slump dan diagram pengujian *slump* yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Slump

Sampel Benda Uji	Persentase Serbuk Bambu (%)	Nilai *Slump*
BN	0	10
BSB	0,2%	9,5
BSB	0,4%	9,8

Berdasarkan analisis dari pengujian *slump* yang terlampir pada tabel 4.1, penggunaan serbuk bambu dengan total 0,2% dari jumlah berat agregat halus untuk bahan substitusi mengalami penurunan 0,5% jika dibandingkan dengan beton tanpa campuran serbuk bambu. Sedangkan, campuran beton yang mengandung serbuk bambu 0,4% dari jumlah berat agregat halus mengalami penurunan lebih sedikit yaitu 0,2% dari perbandingan beton tanpa campuran serbuk bambu.

Jadi, dapat disimpulkan bahwa penggunaan serbuk bambu sebagai bahan substitusi sebesar 0,2% dapat menurunkan nilai *slump* hingga mencapai 0,5%. sedangkan, pada penggantian serbuk bambu sebesar 0,4% dari total agregat halus dapat meningkat

sebesar 0,3% dari penggantian serbuk bambu 0,2%. Namun, tidak meningkatkan perbandingan nilai *slump* dari beton tanpa campuran serbuk bambu. Berikut adalah hasil dari pengujian *slump* pembuatan benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 1 Hasil Test Slump BN



Gambar 4. 2 Hasil Test Slump BSB 0,2%



Gambar 4. 3 Hasil Test Slump BSB 0,4%

4.3 Berat Benda Uji Silinder

4.3.1 Berat Benda Uji Umur 7 Hari

Berikut merupakan Tabel data berat benda uji silinder berdasarkan umur benda uji setelah dilakukan *curing* selama 7 hari:

Tabel 4. 2 Berat Benda Uji Silinder Berdasarkan Umur Benda Uji

Sampel Benda Uji	Persentase Serbuk Bambu (%)	Umur (Hari)	Berat (Kg)	Berat Rata-rata (Kg)
BN	0	7	11,710	11,853
		7	11,910	
		7	11,940	
BSB 0,2	0,2	7	12,180	12,273
		7	12,300	
		7	12,340	
BSB 0,4	0,4	7	12,055	12,043
		7	11,980	
		7	12,095	

Berdasarkan hasil penelitian yang telah terlaksana, dapat diketahui bahwa nilai berat paling tinggi terdapat pada campuran beton yang mengandung serbuk bambu 0,2% menghasilkan rata-rata 12,273 Kg karena serbuk bambu menjadi *micro-filler* atau bahan pengisi mikro.

Sedangkan nilai berat *volume* paling rendah terdapat pada beton tanpa campuran serbuk bambu dengan nilai berat *volume* yang hanya mencapai 11,853 Kg disebabkan memiliki rongga lebih besar dibandingkan beton yang mengandung campuran serbuk bambu.

Untuk campuran serbuk bambu 0.4% memiliki berat yang lebih sedikit dibanding beton dengan campuran 0.2% karena campuran ini terlalu banyak serbuk bambu yang menyerap air berlebih sehingga menurunkan massa beton saat kering.

4.3.2 Berat Benda Uji Umur 14 Hari

Berikut merupakan Tabel data berat benda uji silinder berdasarkan umur benda uji setelah dilakukan *curing* selama 14 hari:

Tabel 4. 3 Berat Benda Uji Silinder Berdasarkan Umur Benda Uji 14 Hari

Sampel Benda Uji	Persentase Serbuk Bambu (%)	Umur (Hari)	Berat (Kg)	Berat Rata-rata (Kg)
BN	0	14	12,650	12,425
		14	12,255	
		14	12,370	
BSB 0,2	0,2	14	12,150	12,323
		14	12,460	
		14	12,360	
BSB 0,4	0,4	14	12,210	11,966
		14	11,805	
		14	11,885	

Berdasarkan hasil penelitian yang telah terlaksana, dapat diketahui bahwa nilai berat paling tinggi terdapat pada beton tanpa campuran yang menghasilkan rata-rata 12,425 Kg

Sedangkan nilai berat volume paling rendah terdapat pada beton dengan campuran serbuk bambu dengan 04% yang hanya mencapai 11,966 Kg karena terlalu banyak mengandung serbuk bambu yang menggantikan berat jenis agregat halus.

Jadi dapat disimpulkan bahwa pencampuran serbuk bambu ini dapat menurunkan berat massa jenis beton campuran dibandingkan dengan beton tanpa campuran serbuk bambu.

4.3.3 Berat Benda Uji Umur 28 Hari

Berikut merupakan Tabel data berat benda uji silinder berdasarkan umur benda uji setelah dilakukan *curing* selama 28 hari:

Tabel 4. 4 Berat Benda Uji Silinder Berdasarkan Umur 28 Hari

Sampel Benda Uji	Persentase Serbuk Bambu (%)	Umur (Hari)	Berat (Kg)	Berat Rata-rata (Kg)
BN	0	28	12,305	12,281
		28	12,655	
		28	11,885	
BSB 0,2	0,2	28	12,495	12,285
		28	12,105	
		28	12,260	
BSB 0,4	0,4	28	12,075	11,826
		28	11,995	
		28	11,410	

Berbeda dengan pengujian pada hari ke-7 dan hari ke-14, pada pengujian hari ke-28 terjadi penurunan di setiap variasi benda uji. Pada pengujian hari ke-14, rata-rata berat benda uji BN hari ke-14 selisih 0,144 kg, BSB 0,2% selisih 0,038 kg, dan berat benda uji BSB 0,4% selisih 0,14 kg.

Jadi pada hari ke-28 benda uji beton normal maupun campuran, ketiganya mengalami penurunan.

4.4 Pengukuran Diameter dan Tinggi Benda Uji Silinder

Ukuran benda uji didapat dari pengukuran diameter dan tinggi benda uji silinder.Yang lalu dihitung sehingga mendapat hasil rata-rata 2 (dua) kali pengukuran pada titik yang berbeda. Hasil dari pengukuran diameter dan tinggi benda uji dapat dilihat pada Tabel berikut;

Tabel 4. 5 Diameter Benda Uji Silinder Umur 7 Hari

Sampel Benda Uji	Persentase Serbuk Bambu (%)	Umur (Hari)	Diameter (mm)	Diameter Rata-rata (mm)
BN	0	7	150	150
		7	150	
		7	150	
BSB 0,2	0,2	7	150	150
		7	150	
		7	150	
BSB 0,4	0,4	7	150	150
		7	150	
		7	150	

Tabel 4. 6 Tinggi Benda Uji Silinder Umur 7 Hari

Sampel Benda Uji	Persentase Serbuk Bambu (%)	Umur (Hari)	Tinggi (mm)	Tinggi Rata-rata (mm)
BN	0	7	300	300
		7	300	
		7	300	
BSB 0,2	0,2	7	300	300
		7	300	

		7	300	
BSB 0,4	0,4	7	300	300
		7	300	
		7	300	

Tabel 4. 7 Diameter Benda Uji Silinder Umur 14 Hari

Sampel Benda Uji	Persentase Serbuk Bambu (%)	Umur (Hari)	Diameter (mm)	Diameter Rata-rata (mm)
BN	0	14	150	150
		14	150	
		14	150	
BSB 0,2	0,2	14	150	150
		14	150	
		14	150	
BSB 0,2	0.4	14	150	150
		14	150	
		14	150	

Tabel 4. 8 Tinggi Benda Uji Silinder Umur 14 Hari

Sampel Benda Uji	Persentase Serbuk Bambu (%)	Umur (Hari)	Tinggi (mm)	Tinggi Rata-rata (mm)
BN	0	14	300	300
		14	300	
		14	300	
BSB 0,2	0,2	14	300	300
		14	300	

Sampel Benda Uji	Persentase Serbuk Bambu (%)	Umur (Hari)	Tinggi (mm)	Tinggi Rata-rata (mm)
BN	0	14	300	300
		14	300	
		14	300	
		14	300	
BSB 0,4	0,4	14	300	300
		14	300	
		14	300	

Tabel 4. 9 Diameter Benda Uji Silinder Umur 28 Hari

Sampel Benda Uji	Persentase Serbuk Bambu (%)	Umur (Hari)	Diameter (mm)	Diameter Rata-rata (mm)
BN	0	14	150	150
		14	150	
		14	150	
BSB 0,2	0,2	14	150	150
		14	150	
		14	150	
BSB 0,2	0.4	14	150	150
		14	150	
		14	150	

Tabel 4. 10 Tinggi Benda Uji Silinder Umur 28 Hari

Sampel Benda Uji	Persentase Serbuk Bambu (%)	Umur (Hari)	Tinggi (mm)	Tinggi Rata-rata (mm)
BN	0	14	300	300
		14	300	
		14	300	
BSB 0,2	0,2	14	300	300
		14	300	
		14	300	
BSB 0,4	0,4	14	300	300
		14	300	
		14	300	

Dari hasil pengukuran diameter dan tinggi benda uji pada hari ke-7 dan hari ke-28, dapat disimpulkan bahwa besar benda uji tidak mengalami perubahan. Ukuran benda uji tetap sama dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

4.5 Pengujian Kuat Tekan

Pada tahap pengujian kuat tekan benda uji silinder, metode yang dilakukan yaitu sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1974:2011. Pengujian ini dilakukan pada berbagai variasi campuran beton pada siklus umur 7 hari pada masing-masing benda uji. Dalam setiap pengujian, benda uji dibagi menjadi dua jenis berdasarkan umur dan variasi campuran beton yang masing-masingnya diambil 3 (tiga) buah benda uji untuk dilakukan pengujian kuat tekannya lalu diambil kuat tekan rata-rata.

4.5.1 Analisis Pemeriksaan Kuat Tekan Umur 7 Hari

Hasil dari kuat tekan rata-rata yang diperoleh digunakan sebagai hasil akhir dari pengujian kuat tekan beton. hasil dari uji kuat tekan dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 4. 11 Pengujian Kuat Tekan

Sampel Bnda Uji	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur (Hari)	Bnetuk Benda Uji	Luas Bidang Tekan (mm2)	Gaya Tekan (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Rata-rata Kuat Tekan (Mpa)	Faktor Umur	Kuat Konversi 28 Hari (Mpa)
BN	20/08/2026	28/08/2026	7	S	1767,46	18,5	10,46	12,06	0,65	16,1
	20/08/2026	28/08/2026	7	S	1767,46	21,5	12,16		0,65	18,71
	20/08/2026	28/08/2026	7	S	1767,46	24	13,58		0,65	20,89
BSB 0,2%	24/08/2026	01/09/2026	7	S	1767,46	27	15,27	14,9	0,65	23,5
	24/08/2026	01/09/2026	7	S	1767,46	25	14,14		0,65	21,76
	24/08/2026	01/09/2026	7	S	1767,46	27	15,27		0,65	23,5
BSB 0,4%	24/08/2026	01/09/2026	7	S	1767,46	15	8,48	7,82	0,65	13,05
	24/08/2026	01/09/2026	7	S	1767,46	15	8,48		0,65	13,05
	24/08/2026	01/09/2026	7	S	1767,46	11,5	6,5		0,65	10,01

Pada pengujian beton usia 7 hari ini menghasilkan angka kuat tekan yang paling tinggi pada substitusi serbuk bambu 0,2% dengan nilai 15,27 MPa, sementara untuk nilai paling rendah terjadi pada substitusi serbuk bambu 0,4% dengan nilai mencapai 6,22 MPa. Untuk nilai rata-rata kuat tekan menurut data yang ditulis dalam tabel 4.8, hasil yang diperoleh dari pengujian kuat tekan pada beton usia 7 hari yaitu, BN 12,06 MPa, BSB 0,2% 14,90 MPa, dan BSB 0,4% 7,82 MPa.

Jadi, dapat disimpulkan untuk pengujian kuat tekan 7 hari hasil kuat tekan pada substitusi serbuk bambu 0,2% dapat meningkatkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 2,84% dari beton normal, sedangkan substitusi serbuk bambu 0,4% menurunkan nilai kuat tekan rata-rata dari beton normal sebesar 4,24%. Berikut hasil dari pengujian berdasarkan umur beton 7 hari yang terdapat pada Gambar 4.3, 4.4, 4.5.



Gambar 4. 4 (a) Hasil Benda Uji 1 BN, (b) Hasil Benda Uji 2 BN, (c) Hasil Benda Uji 3 BN umur 7 hari



Gambar 4. 5 (a) Hasil Benda Uji 1 BSB 0,2%, (b) Hasil Benda Uji 2 BSB 0,2%, (c) Hasil Benda Uji 3 BSB 0,2% umur 7 hari



Gambar 4. 6 (a) Hasil Benda Uji 1 BSB 0,4%, (b) Hasil Benda Uji 2 BSB 0,4%, (c) Hasil Benda Uji 3 BSB 0,4% umur 7 hari

4.5.2 Identifikasi Pola Kerusakan

Dalam Tahap ini dilakukan identifikasi pola kerusakan pada benda uji silinder yang telah mengalami proses uji tekan. Peneliti dapat menyimpulkan bahwa benda uji silinder hanya mengalami rusak akibat gaya tekan. Hal ini dapat dari bentuk pola retakan arah keruntuhan secara vertikal.

Secara garis besar menurut SNI 1974:2011 Uji Tekan Beton Silinder Bentuk Pecahan, pola kerusakan yang terjadi pada penelitian ini menunjukkan bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (kolumnar). Pola kerusakan benda uji silinder pada umur 7 hari untuk beton normal dapat dilihat pada gambar 4.6 dan pola kerusakan benda uji silinder pada umur 7 hari untuk beton serbuk bambu variasi 0,2% dapat dilihat pada gambar 4.7, dan pola kerusakan benda uji silinder pada umur 7 hari untuk beton serbuk bambu variasi 0,4% dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4. 7 (a),(b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BN umur 7 hari



Gambar 4. 8 (a), (b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BSB 02% umur 7 hari



Gambar 4. 9 (a), (b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BSB 04% umur 7 hari

4.6 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pada tahap pengujian kuat tarik belah beton benda uji silinder, metode yang dilakukan yaitu sesuai dengan standar SNI 2491:2014. Pengujian ini dilakukan pada berbagai variasi campuran beton dan juga pada siklus umur 14

hari dan 28 hari pada masing-masing benda uji. dalam setiap pengujian yang dibagi berdasarkan umur dan variasi campuran beton masing-masing diambil 3 (tiga) benda uji untuk dilakukan pengujian kuat tarik belah nya dan akan diambil kuat tarik belah rata-rata.

4.6.1 Analisis Pemeriksaan Kuat Tarik Belah Beton Umur 14 Hari

Hasil dari kuat tarik belah beton rata-rata yang diperoleh akan digunakan sebagai hasil akhir dari pengujian kuat tarik belah beton. hasil dari uji kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 4. 12 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Sampel Bnda Uji	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur (Hari)	Bnetuk Benda Uji	Gaya Kuat Belah Beton (Ton)	Kuat Tarik Belah Beton (Mpa)	Rata-rata Kuat Tekan (Mpa)
BN	22/08/2026	28/08/2026	14	S	13,5	1,91	1,82
	22/08/2026	28/08/2026	14	S	11,2	1,59	
	22/08/2026	28/08/2026	14	S	13,7	1,94	
BSB 0,2%	24/08/2026	08/09/2026	14	S	13,5	1,91	1,85
	24/08/2026	08/09/2026	14	S	12,2	1,73	
	24/08/2026	08/09/2026	14	S	13,5	1,91	
BSB 0,4%	24/08/2026	08/09/2026	14	S	8,5	1,21	1,2
	24/08/2026	08/09/2026	14	S	7,2	1,1	
	24/08/2026	08/09/2026	14	S	1,28	1,28	

Pada pengujian beton usia 14 hari ini menghasilkan angka kuat tarik belah beton yang paling tinggi pada substitusi serbuk bambu 0% dengan nilai 1,94 MPa, sementara untuk nilai paling rendah terjadi pada substitusi serbuk bambu 0,4% dengan nilai mencapai 1,1 MPa. Untuk nilai rata-rata kuat tarik menurut data yang ditulis dalam tabel 4.9, hasil yang diperoleh dari pengujian kuat tekan pada beton usia 14 hari yaitu, BN dengan rata-rata kuat tarik belah beton 1,82 MPa, BSB 0,2% 1,85 MPa, dan BSB 0,4% 1,2 MPa.

Jadi dapat disimpulkan untuk pengujian kuat tarik belah beton 14 hari hasil kuat tarik belah beton pada substitusi serbuk bambu 0,2% hanya meningkatkan nilai kuat tarik rata-rata sebesar 0,03% dari beton normal

dan memperoleh hasil yang optimal, sedangkan substitusi serbuk bambu 0,4% menurunkan nilai rata-rata kuat tarik belah beton yang signifikan dari beton normal sebesar 0,62%. Berikut hasil dari pengujian berdasarkan umur beton 14 hari yang terdapat pada Gambar 4.9, 4.10, 4.11.



Gambar 4. 10 (a) Hasil Benda Uji 1 BN, (b) Hasil Benda Uji 2 BN, (c) Hasil Benda Uji 3 BN umur 14 hari



Gambar 4. 11 (a) Hasil Benda Uji 1 BSB 0,2%, (b) Hasil Benda Uji 2 BSB 0,2%, (c) Hasil Benda Uji 3 BSB 0,2% umur 14 hari



Gambar 4. 12 (a) Hasil Benda Uji 1 BSB 0,4%, (b) Hasil Benda Uji 2 BSB 0,4%, (c) Hasil Benda Uji 3 BSB 0,4% umur 14 hari

4.6.2 Identifikasi Pola Kerusakan

Dalam Tahap ini dilakukan identifikasi pola kerusakan pada benda uji silinder yang telah mengalami proses uji tarik belah beton. Peneliti dapat menyimpulkan bahwa benda uji silinder hanya mengalami rusak akibat gaya geser. Hal ini dapat dari bentuk pola retakan arah keruntuhan secara vertikal.

Secara garis besar menurut SNI 2491:2014 Uji Tarik Belah Beton Silinder Bentuk Pecahan, pola kerusakan yang terjadi pada penelitian ini menunjukkan bentuk kehancuran sumbu vertikal. Pola kerusakan benda uji silinder pada umur 14 hari untuk beton normal dapat dilihat pada gambar 4.12 dan pola kerusakan benda uji silinder pada umur 14 hari untuk beton serbuk bambu variasi 0,2% dapat dilihat pada gambar 4.13, lalu pola kerusakan benda uji silinder pada umur 14 hari untuk beton serbuk bambu variasi 0,4% dapat dilihat pada Gambar 4.14



Gambar 4. 13 (a),(b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BN umur 14 hari



Gambar 4. 14 (a), (b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BSB 02% umur 14 hari



Gambar 4. 15 (a), (b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BSB 04% umur 14 hari

Hasil dari kuat tarik belah beton rata-rata yang diperoleh akan digunakan sebagai hasil akhir dari pengujian kuat tarik belah beton. hasil dari uji kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Tabel berikut;

Tabel 4. 13 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Sampel Bnda Uji	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur (Hari)	Bnetuk Benda Uji	Gaya Kuat Belah Beton (Ton)	Kuat Tarik Belah Beton (Mpa)	Rata-rata Kuat Tekan (Mpa)
BN	22/08/2026	19/09/2026	28	S	13,2	1,86	1,94
	22/08/2026	19/09/2026	28	S	15,5	2,2	
	22/08/2026	19/09/2026	28	S	12,5	1,77	
BSB 0,2%	24/08/2026	19/09/2026	28	S	14	1,98	1,96
	24/08/2026	19/09/2026	28	S	13,5	1,91	
	24/08/2026	19/09/2026	28	S	14	1,98	
BSB 0,4%	24/08/2026	19/09/2026	28	S	10,5	1,49	1,42
	24/08/2026	19/09/2026	28	S	10,5	1,49	
	24/08/2026	19/09/2026	28	S	1,27	1,27	

Pada pengujian beton usia 28 hari ini menghasilkan angka kuat tarik belah beton yang paling tinggi pada substitusi serbuk bambu 0% dengan nilai 2,20 MPa, sementara untuk nilai paling rendah terjadi pada substitusi serbuk bambu 0,4% dengan nilai mencapai 1,27 MPa. Untuk nilai rata-rata kuat tarik menurut data yang ditulis dalam tabel 4.8, hasil yang diperoleh dari pengujian kuat tarik belah pada beton usia 14 hari yaitu, BN dengan rata-rata kuat tarik belah beton 1,94 MPa, BSB 0,2% 1,96 MPa, dan BSB 0,4% 1,42 MPa.

Jadi dapat disimpulkan untuk pengujian kuat tarik belah beton 28 hari hasil kuat tarik belah beton pada substitusi serbuk bambu 0,2% hanya meningkatkan nilai kuat tarik rata-rata sebesar 0,02% dari beton normal dan memperoleh hasil yang optimal, sedangkan substitusi serbuk bambu 0,4% menurunkan nilai rata-rata kuat tarik belah beton yang signifikan dari beton normal sebesar 0,52%. Berikut hasil dari pengujian berdasarkan umur beton 28 hari yang terdapat pada Gambar 4.15, 4.16, 4.17.



Gambar 4. 16 (a) Hasil Benda Uji 1 BN, (b) Hasil Benda Uji 2 BN, (c) Hasil Benda Uji 3 BN umur 28 hari



Gambar 4. 17 (a) Hasil Benda Uji 1 BSB 0,2%, (b) Hasil Benda Uji 2 BSB 0,2%, (c) Hasil Benda Uji 3 BSB 0,2% umur 28 hari



Gambar 4. 18 (a) Hasil Benda Uji 1 BSB 0,4%, (b) Hasil Benda Uji 2 BSB 0,4%, (c) Hasil Benda Uji 3 BSB 0,4% umur 28 hari

4.6.3 Identifikasi Pola Kerusakan

Dalam Tahap ini dilakukan identifikasi pola kerusakan pada benda uji silinder yang telah mengalami proses uji tarik belah beton. Peneliti dapat menyimpulkan bahwa benda uji silinder hanya mengalami rusak akibat gaya geser. Hal ini dapat dari bentuk pola retakan arah keruntuhan secara vertikal.

Secara garis besar menurut SNI 2491:2014 Uji Tarik Belah Beton Silinder Bentuk Pecahan, pola kerusakan yang terjadi pada penelitian ini menunjukkan bentuk kehancuran sumbu vertikal. Pola kerusakan benda uji silinder pada umur 28 hari untuk beton normal dapat dilihat pada Gambar 4.19 dan pola kerusakan benda uji silinder pada umur 28 hari untuk beton serbuk bambu variasi 0,2% dapat dilihat pada Gambar 4.20, lalu pola kerusakan benda uji silinder pada umur 28 hari untuk beton serbuk bambu variasi 0,4% dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4. 19 (a), (b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BN umur 28 hari



Gambar 4. 20 (a), (b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BSB 02% umur 28 hari



Gambar 4. 21 (a), (b) dan (c) Pola Kerusakan Benda Uji Silinder BSB 04% umur 28 hari

4.7 Rangkuman Data Hasil Pengujian Beton

Setelah dilakukannya proses pengujian beton mulai dari Beton Normal (BN), Beton Campuran Serbuk Bambu 0,2% (BSB 0,2%), dan Beton Campuran Serbuk Bambu 0,4% (BSB 0,4%) pada hari ke-7 sampai hari ke-28, rangkuman hasil data yang didapat sebagai berikut:

Tabel 4. 14 Data Hasil Uji Kuat Tekan Beton Normal pada Hari ke-7

Sampel Bnda Uji	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur (Hari)	Bnetuk Benda Uji	Luas Bidang Tekan (mm2)	Gaya Tekan (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Rata-rata Kuat Tekan (Mpa)	Faktor Umur	Kuat Konversi 28 Hari (Mpa)	Rata-rata Kuat Konversi 28 Hari (Mpa)
BN	20/08/2026	28/08/2026	7	S	1767,46	18,5	10,46	12,06	0,65	16.1	18.57
	20/08/2026	28/08/2026	7	S	1767,46	21,5	12,16		0,65	18.71	
	20/08/2026	28/08/2026	7	S	1767,46	24	13,58		0,65	20.89	
BSB 0,2%	24/08/2026	01/09/2026	7	S	1767,46	27	15,27	14,9	0,65	23.5	22.92
	24/08/2026	01/09/2026	7	S	1767,46	25	14,14		0,65	21.76	
	24/08/2026	01/09/2026	7	S	1767,46	27	15,27		0,65	23.5	
BSB 0,4%	24/08/2026	01/09/2026	7	S	1767,46	15	8,48	7,82	0,65	13.05	12.04
	24/08/2026	01/09/2026	7	S	1767,46	15	8,48		0,65	13.05	
	24/08/2026	01/09/2026	7	S	1767,46	11,5	6,5		0,65	10.01	

Pada data pada Tabel 4.14 menunjukkan perbandingan kapasitas antara sampel Beton Normal (BN 0%), Beton Substitusi Serbuk Bambu 0,2% (BSB 0,2%), dan Beton Substitusi Serbuk Bambu 0,4% (BSB 0,4%).

Dari data tersebut, terlihat bahwa substitusi serbuk bambu sebesar 0,2% menhasilkan nilai kuat tekan rata-rata tertinggi yaitu 14,90 MPa, atau mengalami peningkatan sebesar 2,84% dibandingkan beton normal (12,06 MPa). Peningkatan ini terjadi karena partikel serbuk bambu pada persentase kecil mampu berfungsi sebagai *micro-filler* yang mengisi rongga-rongga beton. Sebaliknya,pada variasi 0,4% terjadi penurunan nilai kuat tekan rata-rata yang cukup signifikan menjadi 7,82 MPa. Penurunan ini disebabkan oleh tingginya sifat penyerapan air dari limbah organik serbuk bambu yang mengganggu proses hidrasi semen serta kerapatan adukan.

Tabel 4. 15 Data Hasil Uji Kuat Tarik Belah Beton pada Hari ke-14

Sampel Benda Uji	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur (Hari)	Bentuk Benda Uji	Gaya Kuat Belah Beton (Ton)	Kuat Tarik Belah Beton (Mpa)	Rata-rata Kuat Tarik BelahBeton (Mpa)
BN	22/8/2026	09/05/2026	14	S	13.5	1.91	1.82
	22/8/2026	09/05/2026	14	S	11.2	1.59	
	22/8/2026	09/05/2026	14	S	13.7	1.94	
BSB 0,2%	24/8//2026	09/08/2026	14	S	13.5	1.91	1.85
	24/8//2026	09/08/2026	14	S	12.2	1.73	
	24/8//2026	09/08/2026	14	S	13.5	1.91	
BSB 0,4%	24/8//2026	09/08/2026	14	S	8.5	1.21	1.2
	24/8//2026	09/08/2026	14	S	7.2	1.1	
	24/8//2026	09/08/2026	14	S	9	1.28	

Pada hari ke-14, dilakukan pungujian kuat tarik belah beton untuk ketiga variasi campuran (BN 0%, BSB 0,2%, BSB 0,4%).

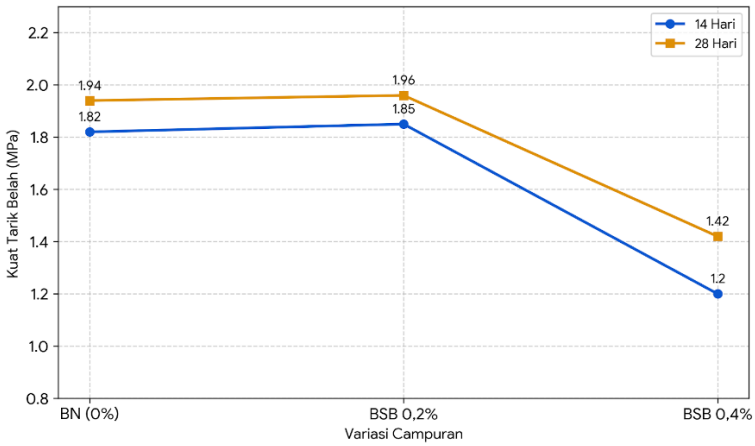
Berdasarkan tabel diatas, campuran dengan substitusi serbuk bambu 0,2% menunjukkan kuat tarik belah rata-rata paling optimal sebesar 1,85 MPa, memilihi hasil lebih besar beton normal yang bernilai 1,82 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa adanya partikel serbuk bambu pada kadar 0,2% mulai bekerja secara efektif mengisi retak mikro saat beton menerima gaya tarik. Sementara itu, penambahan serbuk bambu hingga 0,4% mengalami penurunan kuat tarik belah yang cukup signifikan menjadi 1,2p MPa akibat melemahnya ikatan antarpartikel antara semen dan agregat.

Tabel 4. 16 Data Hasil Uji Kuat Tarik Belah Beton pada Hari Ke-28

Sampel Benda Uji	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur (Hari)	Bentuk Benda Uji	Gaya Kuat Belah Beton (Ton)	Kuat Tarik Belah Beton (Mpa)	Rata-rata Kuat Tarik BelahBeton (Mpa)
BN	22/8/2026	19/9/2026	28	S	13.2	1.86	1.94
	22/8/2026	19/9/2026	28	S	15.5	2.2	
	22/8/2026	19/9/2026	28	S	12.5	1.77	
BSB 0,2%	24/8//2026	19/9/2026	28	S	14	1.98	1.96
	24/8//2026	19/9/2026	28	S	13.5	1.91	
	24/8//2026	19/9/2026	28	S	14	1.98	
BSB 0,4%	24/8//2026	19/9/2026	28	S	10.5	1.49	1.42
	24/8//2026	19/9/2026	28	S	10.5	1.49	
	24/8//2026	19/9/2026	28	S	9	1.27	

Pada Tabel 4.16 menunjukkan hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat tarik belah rata-rata tertinggi terjadi pada variasi BSB 0,2% dengan nilai sebesar 1,96 Mpa, mengalami peningkatan sebesar 0,02% jika dibandingkan dengan beton normal tanpa campuran (1,94 MPa). Peningkatan ini mempertegas bahwa persentase 0,2% merupakan kadar substitusi paling optimal untuk meningkatkan kekuatan kuat tarik beton tanpa menurunkan kualitas bkeseluruhannya. Di sisi lain, variasiBSB 0,4% menghasilkan nilai kuat tarik belah terendah yaitu 1,42 MPa, mengalami penurunan sebesar 0,52% dari beton normal. Hal ini membuktikan bahwa penambahan serbuk bambu di atas 0,2% justru menurunkan performa dan kapasitas tarik beton akibat dominasi penyerapan air dan hadirnya pori mikro berlebih.

Berikut merupakan grafik rata-rata kuat tarik belah beton pada umur 14 dan 28 hari:



Gambar 4. 22 Grafik Rata - Rata Kuat Tarik Belah Beton Umur 14 dan 28 Hari

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan analisis data yang telah dilakukan mengenai pengaruh substitusi agregat halus dengan serbuk bambu (variasi 0%, 0,2% dan 0,4%) pada campuran beton 1 : 2 : 3, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh Substitusi Serbuk Bambu terhadap Workabilitas dan Sifat Mekanis:

   (selaraskan pada rumusan dan tujuan)

   a. Kemudahan Pengerjaan (*Workability*): Penambahan serbuk bambu mempengaruhi nilai *slump* beton. Hasil uji menunjukkan nilai *slump* beton normal (BN 0%) sebesar 10 cm, mengalami penurunan pada variasi BSB 0,2% menjadi 9,5 cm, dan sebesar 9,8 cm pada bsb 0,4%. penurunan ini terjadi karena sifat material serbuk bambu yang cenderung menyerap air adukan lebih tinggi dibandingkan pasir.
   b. Berat Volume/Massa Beton: Pada umur 7 hari menunjukkan bahwa variasi BSB 0,2% berat rata-rata tertinggi (12,273 kg) dibandingkan beton normal (11,853 kg). Hal ini menunjukkan bahwa partikel serbuk bambu pada kadar rendah mampu mengisi rongga-rongga mikro dalam matriks beton. namun, pada variasi BSB 0,4% berat beton cenderung menurun akibat penyerapan air yang berlebih dan penurunan kerapatan matriks.

2. Kinerja Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton:
   a. Kuat Tekan: Pada umur 7 hari, variasi BSB 0,2% menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata tertinggi sebesar 14,90 MPa (meningkat dari beton normal yang bernilai 12,06 MPa). Sebaliknya, variasi BSB 0,4% mengalami penurunan kuat tekan yang signifikan menjadi 7,82 MPa. Pola kerusakan menunjukkan bentuk kegagalan retak vertikal/kolumnar yang sesuai dengan SNI 1974:2011.
   b. Kuat Tarik Belah: Substitusi serbuk bambu memberikan dampak nyata terhadap peningkatan kuat tarik belah beton pada umur 14 hari dan 28 hari dengang rentang kenaikan sebesar 0,11% hingga 0,22%. Kuat tarik belah

beton mencapai nilai optimal pada variasi 0,2% dengan rerata sebesar 1,96 MPa. (meningkat sebesar 0,02% dibandingkan beton normal sebesar 1,94 MPa). Sedangkan nilai kuat tarik belah terendah terdapat pada variasi 0,4% sebesar 1,42 MPa (mengalami penurunan sebesar 0,52% dari beton normal).

3. Persentase Substitusi Optimal:

   Persentase substitusi serbuk bambu yang paling optimal sebagai substitusi agregat halus pada campuran 1 : 2 : 3 adalah sebesar 0,2%. Kadar ini terbukti mampu meningkatkan kerapatan matriks dan kekuatan beton tanpa mengganggu secara signifikan kemudahan pengerjaannya. Penambahan di atas 0,2% terbukti menurunkan performa mekanis akibat dominasi sifat serapan air limbah organik yang tinggi dan terganggunya ikatan pasta semen dengan agregat.

5.2 Saran

Berdasarkan keterbatasan dan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini, diperoleh beberapa saran untuk pengembangan riset selanjutnya:

a. Variasi Jenis Serbuk Agregat:
   - Disarankan untuk melakukan penelitian kuat tarik belah beton dengan memanfaatkan jenis serbuk organik maupun non-organik lainnya untuk mengeksplorasi lebih lanjut potensi substitusi agregat halus pada kinerja beton.

b. Optimasi Proporsi Campuran dan Perlakuan Bahan:
   - Disarankan pengujian lanjutan serbuk bambu dengan proporsi campuran yang berbeda (proporsi 0,2% – 0,3%), agar mendapatkan kuat tarik belah yang lebih maksimal.
   - Perlu dipertimbangkan perlakuan kimiawi (*chemical treatment*) seperti perendaman larutan alkali pada serbuk bambu untuk mengurangi daya serap airnya.

c. Penggunaan Bahan Tambahan:
   - mengingat penambahan serbuk bambu cenderung menurunkan nilai *slump,* disarankan menggunakan bahan pembantu agar *workability* adukan tetap terjaga tanpa harus menambah volume air.

DAFTAR PUSTAKA

Alkhaly, Y. R. (2016). Perbandingan Rancangan Campuran Beton Berdasarkan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012 Pada Mutu Beton 20 MPa. *Teras Jurnal*, 6(1), 11–20.

Andrew, R. M. (2018). Global CO2 emissions from cement production. *Earth System Science Data*, 10(1), 195–217.

Badan Standardisasi Nasional. (2000). *SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2004). *SNI 15-2049-2004: Semen Portland*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 1974:2011: Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 7656:2012: Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2014). *SNI 2491:2014: Metode Uji Kuat Tarik Belah Spesimen Beton Silinder*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta: BSN.

Jawaid, M., & Abdul Khalil, H. P. S. (2011). Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: A review. *Carbohydrate Polymers*, 86(1), 1–18.

Kaat, B. C., Wallah, S. E., & Mondoringin, M. R. I. A. (2019). Kuat Tarik Belah Beton Dengan Menggunakan Tras Pada Berbagai Prosentase Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus. *TEKNO*, 17(73).

MacGregor, J. G., & Wight, J. K. (2012). *Reinforced Concrete: Mechanics and Design* (6th ed.). Boston: Pearson.

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4th ed.). New York: McGraw-Hill Education.

Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete* (5th ed.). Harlow: Pearson Education Limited.

Panitia Penerbitan Peraturan Beton Bertulang Indonesia. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBI 1971)*. Bandung: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.

Rahmawati, & Saputro. (2021). Penggunaan Serat Bambu sebagai Bahan Tambah Pada Beton. *Jurnal Rekayasa Sipil*.

Ramadani, H. (2019). *Analisis Pengaruh Penambahan Serat Bambu Terhadap Kuat Tarik Belah Beton dengan FAS 0.4 dan 0.6* (Skripsi). Medan: Program Studi Teknik Sipil, Universitas Medan Area.

Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based industry. *Cement and Concrete Research*, 114, 2–26.

Shabira, H., & Setiono. (2022). Soft Computing Mix Design Beton Berdasarkan SNI 7656:2012. *Jumatisi: Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, 3(1), 225–231.

Suhardiman, M. (2021). Kajian Pengaruh Penambahan Serat Bambu Ori Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton. *Jurnal Teknik Sipil dan Infrastruktur*.

Tjokrodimuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.

Tuutti, K. (1982). *Corrosion of Steel in Concrete*. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute (CBI).

Xing, M., et al. (2020). Performance and micro-structure of bamboo fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : - DWI ADITYA 332210021

: - FIRDA RISKA 3310013

DOSEN PEMBIMBING 1: - Ir. Agung Hari Wibowo, SIP., S.T., MT

DOSEN PEMBIMBING 2: - TENARDHY ARYARAMA WIJAYA, S.T., M.Eng.

No.	Tanggal	Catatan Perbaikan	Paraf
1.	8 Juli 2026	BAB II - 2.1 Diisi penjelasan mengenai tata cara pengujian kuat belah. Parameter-parameter apa saja yang diperkirakan akan mempengaruhi Kuat Trik Belah ini. - 2.2 Silahkan membuat *state of art* yang membedakan penelitian saudara dengan penelitian-penelitian yang sudah ada - 2.3 Silahkan dicantumkan kriteria teknis dan SNI SNI yang digunakan - 2.4 Masukkan SNI terkait Mix Design. Kalau ada ASTMnya juga boleh. Masukkan pula pengaruh subtitusi / bahan tambah terhadap Kuat Tarik Belah Beton. - 2.5 Tolong dibuat Kerangka Berpikir Penelitian	
2	14 Agustus 2026.	Silahkan diuji kuat tarik belah utk dibandingkan dengan BN; 02%; 04%	
3	28 September 2026	tarik kesimpulan, tambahkan saran (Riset gap) untuk campuran optimumnya; ACC Silahkan daftar sidang	