

**STUDI EKSPERIMENTAL SIFAT MEKANIS BETON
NORMAL DENGAN CAMPURAN
SERAT *POLYPROPYLENE***

TUGAS AKHIR

*Tugas ini Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana pada
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Negeri Padang*



Oleh:

ALIF GIBRAN

NIM. 22323039

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

2026

PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMENTAL SIFAT MEKANIS
BETON NORMAL DENGAN CAMPURAN
SERAT *POLYPROPYLENE*

Nama : Alif Gibran
NIM : 22323039
Program Studi : S1 Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik

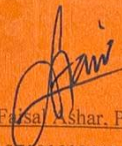
Padang,2026

Disetujui Oleh
Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Eng. Eka Juliafad, S.T, M. Eng., IPM.
NIP.198207302009122005

Mengetahui
Kepala Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNP,



Ir. Faisal Ashar, Ph. D
NIP. 197501032003121001

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMENTAL SIFAT MEKANIS BETON NORMAL DENGAN CAMPURAN SERAT *POLYPROPYLENE*

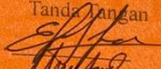
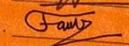
Nama : Alif Gibran
NIM : 22323039
Program Studi : S1 Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan dinyatakan Lulus sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana I pada Program Studi S1 Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.

Padang,.....2026

Tim Penguji

Nama
1. Ketua : Dr. Ir. Eng. Eka Juliafad, S.T., M.Eng., IPM.
2. Anggota : Dr. Ir. Eng. Nevy Sandra, M.Eng.
3. Anggota : Fajri Yusmar, S.T., M.T.

Tanda Tangan
1. 
2. 
3. 

“Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada orangtua dan orang tersayang”

MOTTO

”Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah: 5-6)

“And it's fine to fake it until you make it, until you do, until it's true”

(Taylor Swift)

“Learning to love yourself it is the greatest love of all”

(Whitney Houston)



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Jl. Prof Dr. Hamka Kampus UNP Air Tawar Padang 25171
Telp. (0751) 7059996, FT. (0751) 7055644, 445118 Fax. 7055644
E-mail : info@ft.unp.ac.id

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alif Ulbram
NIM/TM : 22323030 / 2022
Program Studi : S1 Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : FT UNP

Dengan ini menyatakan, bahwa Skripsi/Tugas Akhir/Proyek Akhir saya dengan judul Studi Eksperimental Sifat Mekanis Beton Thermal dengan Campuran Serat Polipropylene

Adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti saya melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di institusi UNP maupun di masyarakat dan negara.
Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Diketahui oleh,
Kepala Departemen Teknik Sipil

(Ir. Faisal Ashar, ST., MT., Ph.D.)
NIP. 19730103 200312 1 001

Saya yang menyatakan,



Alif Ulbram

BIODATA

A. Data diri

Nama : Alif Gibran
Tempat/tanggal lahir : Sungai Penuh/ 20 Desember 2004
Agama : Islam
Jenis Kelamin : Laki-laki
Golongan darah : A
Anak ke : 1
Jumlah saudara : 2
Nama ayah : Herdinal, S.K.M., M.Si
Nama ibu : Fitria Zydopa, S.T
Alamat : Jl. Tanah Sebingkeh, Desa Maliki Air, Kec.
Hampanan Rawang
Email : alifgibranjo@gmail.com



B. Riwayat Pendidikan

SD : SDN No. 029/XI Cempaka
SMP : SMP Negeri 08 Kota Sungai Penuh
SMA/SMK sederajat : SMAN 03 Kota Sungai Penuh

C. Tugas Akhir

Judul : Studi Eksperimental Sifat Mekanis Beton Normal
dengan Campuran Serat *Polypropylene*
Tanggal Sidang : 8 Mei 2026

Abstrak

Alif Gibran, 2026. STUDI EKSPERIMENTAL SIFAT MEKANIS BETON NORMAL DENGAN CAMPURAN SERAT *POLYPROPYLENE*

Beton normal memiliki kelemahan utama berupa kuat tarik rendah dan sifat getas yang menyebabkan retak struktural rentan, memicu korosi tulangan dan menurunkan durabilitas bangunan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh substitusi parsial agregat kasar dengan serat makro *polypropylene* dengan variasi 0% (kontrol), 0,2%, 0,4%, dan 0,6% terhadap berat agregat kasar pada sifat mekanis beton normal mutu $f'c$ 22 MPa umur 28 hari, termasuk kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, kekakuan, daktilitas, serta energi disipasi, guna mengetahui pengaruh variasi serat terhadap peningkatan daktilitas dan perubahan kekuatan mekanis beton.

Penelitian bersifat eksperimental di Laboratorium Teknik Sipil UNP menggunakan *mix design* SNI 7656:2012 dengan semen PCC Semen Padang, agregat lokal, dan serat makro PP (panjang 54 mm, diameter 0,95 mm). Bahan diuji sesuai standar SNI/ASTM, benda uji silinder (15 x 30 cm) untuk kuat tekan/tarik belah dan balok (15 x 15 x 53 cm) untuk kuat lentur dibuat dengan pencampuran bertahap, pemadatan, dan *curing* 28 hari; pengujian mengikuti SNI 1974:2011, SNI 2491:2014, SNI 4431:2011.

Substitusi serat dengan agregat kasar menurunkan kuat tekan secara bertahap (22,39 MPa pada kontrol menjadi 15,21 MPa pada 0,6%), kuat tarik belah fluktuatif (terendah 7,68 MPa pada 0,4%, naik ke 9,14 MPa pada 0,6%), dan kuat lentur (terendah 2,47 MPa pada 0,4%, naik ke 3,38 MPa pada 0,6%). Serat mengubah perilaku getas menjadi daktail melalui *crack-bridging*, dengan peningkatan energi disipasi, daktilitas, dan *residual strength* tertinggi pada 0,6%.

Kata Kunci: Beton Serat, Serat *Polypropylene*, Sifat Mekanis Beton.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Eksperimental Sifat Mekanis beton Normal dengan Campuran Serat *Polypropylene*”. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi S1 Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.

Penulis menyadari bahwa penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Eng. Ir. Eka Juliafad, S.T., M. Eng., IPM., selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan, saran, dan bimbingan yang sangat berharga selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dr. Eng. Ir. Eka Juliafad, S.T., M. Eng., IPM., selaku Ketua Tim Penguji, Ibu Dr. Ir. Eng. Nevy Sandra, M.Eng, dan Bapak Fajri Yusmar, S.T., M.T, selaku Anggota Tim Penguji yang telah memberikan masukan dan koreksi demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.
3. Kepala Departemen Teknik Sipil, Universitas Negeri Padang, Bapak Ir. Faisal Ashar, Ph.D, beserta seluruh staf pengajar yang telah membekali penulis dengan ilmu pengetahuan selama masa perkuliahan.
4. Kepada Bapak Akhyar Jamil Nurman, S.Pd.,S.T, Bapak Ilham Wahyudi S.T., Bapak Wawan Putra Irman S.Tr, Bapak Rizki Junialdi, S.T, beserta para teknisi laboratorium Teknik Sipil UNP yang sangat membantu dalam pengerjaan penelitian ini.
5. Pimpinan dan staf PT. IGASAR atas dukungannya dalam penyediaan material agregat halus dan kasar sebagai bahan utama penelitian ini.
6. Keluarga besar terkhusus orang tua dan adik penulis tercinta yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral, maupun material, serta motivasi yang luar biasa kepada penulis.

7. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ayuni Lestari dan Dhea Hany Putri selaku *partner* penelitian yang telah memberikan kontribusi, kerja sama, serta dukungan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas bantuan dalam pelaksanaan penelitian, pengambilan data, pengujian laboratorium, serta diskusi yang membangun, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik
8. Teman-teman seperjuangan Program Studi S1 Teknik Sipil angkatan 2022 dan semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang inovasi material beton serat.

Padang, 2026

Alif Gibran

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
PENGESAHAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT	Error! Bookmark not defined.
BIODATA	vi
Abstrak	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah.....	6
D. Rumusan Masalah	7
E. Tujuan Penelitian.....	7
F. Manfaat Penelitian.....	8
BAB II KAJIAN KEPUSTAKAAN	9
A. Kajian Teori.....	9
1. Beton Normal	9
2. Material Penyusun Beton	11
3. Karakteristik Beton Segar (<i>Workability</i> dan <i>Slump</i>)	20
4. Beton Serat	20
5. Serat <i>Polypropylene</i>	21

6. Sifat Mekanis Beton Serat.....	25
B. Hasil Penelitian yang Relevan.....	30
C. Kerangka Pikir.....	36
BAB III PROSEDUR PERANCANGAN	39
A. Jenis atau Desain Penelitian	39
B. Tempat dan Waktu Penelitian.....	42
C. Populasi dan Sampel Penelitian	43
D. Definisi Operasional Variabel	44
1. Variabel Bebas (<i>Independent Variable</i>).....	44
2. Variabel Terikat (<i>Dependent Variable</i>).....	44
3. Variabel Kontrol dan Pembanding	44
E. Teknik Pengumpulan Data	45
1. Data Primer	45
2. Data Sekunder	53
F. Validitas dan Realibilitas Instrumen.....	53
G. Prosedur Pelaksanaan Penelitian	55
H. Teknik Analisis Data	62
I. Parameter Penelitian.....	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	68
A. Hasil	68
B. Pembahasan	102
BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN SARAN	107
A. Simpulan.....	107
B. Implikasi.....	108
C. Saran.....	109

DAFTAR PUSTAKA	110
LAMPIRAN	114

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Serat Mikro <i>Polypropylene</i>	22
Gambar 2.2 Serat Makro <i>Polypropylene</i>	23
Gambar 2.3 Patah pada 1/3 bentang tengah	26
Gambar 2.4 Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada $< 5\%$	27
Gambar 2.5 Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada $>5\%$ dari bentang.....	27
Gambar 2.6 Kerangka Berpikir	38
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian	41
Gambar 3.2 Lokasi Penelitian	42
Gambar 3.3 Lokasi Pengujian Kuat Lentur.....	42
Gambar 3.4 Sketsa kuat tekan beton	64
Gambar 3.5 Garis-garis perletakan dan pembebanan balok.....	65
Gambar 3.6 Sketsa kuat tarik belah beton.....	66
Gambar 4.1 Daerah Gradasi Zona 1-4 Agregat Halus	73
Gambar 4.2 Zat Organik	74
Gambar 4.3 Pengujian Kuat Tekan <i>Trial Mix</i>	83
Gambar 4.4 Pengujian Kuat Tekan <i>Trial Mix</i> Beton Umur 7 Hari	84
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Variasi Serat terhadap Nilai <i>Slump</i>	85
Gambar 4.6 Grafik Uji Kuat Tekan	87
Gambar 4.7 Pengujian Kuat Tekan Beton	88
Gambar 4.8 Grafik Uji Kuat Tarik Belah	89
Gambar 4.9 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	90
Gambar 4.10 <i>Set Up</i> Pembebanan Balok Pengujian Lentur	90
Gambar 4.11 Hasil Pembebanan Maksimum dan Lendutan	91
Gambar 4.12 Grafik Uji Kuat Lentur	92
Gambar 4.13 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan.....	93
Gambar 4.14 Pola Keretakan Balok Variasi 0% (Kontrol)	94
Gambar 4.15 Pola Keretakan Balok Variasi 0,2% PP	95
Gambar 4.16 Pola Keretakan Balok Variasi 0,4% PP	96

Gambar 4.17 Pola Keretakan Balok Variasi 0,6% PP	97
Gambar 4.18 Nilai <i>Stiffness</i>	99
Gambar 4.19 Nilai Daktilitas	100
Gambar 4.20 Nilai Energi Disipasi	101
Gambar 4.21 Hubungan Berat-Energi Disipasi	101

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Beton berdasarkan Berat Satuan	9
Tabel 2. 2 Klasifikasi Beton Berdasarkan Kuat Tekan (f'_c)	9
Tabel 2.3 Gradasi butiran pasir	14
Tabel 2.4 Klasifikasi kadar lumpur dan agregat.....	17
Tabel 2.5 Daftar gradasi dan berat benda uji.....	18
Tabel 2.6 Karakteristik Serat Makro PP V.S Mikro PP	24
Tabel 2.7 Penelitian Relevan.....	33
Tabel 3.1 <i>Time Schedule</i> Penelitian.....	43
Tabel 3.2 Tabel Sampel Penelitian	44
Tabel 3.3 Nilai <i>Slump</i> yang Dianjurkan Untuk Berbagai Pekerjaan Konstruksi ..	57
Tabel 3.4 Perkiraan Kebutuhan Air Pencampur dan Kadar Udara untuk Berbagai <i>Slump</i> dan Ukuran Nominal Agregat Maksimum Batu Pecah	57
Tabel 3.5 Hubungan antara rasio air-semen (w/c) atau rasio air-bahan bersifat semen {w/(c+p)} dan kekuatan beton.....	58
Tabel 3. 6 Volume Agregat Kasar Per Satuan Volume	59
Tabel 4.1 Berat Isi Agregat Halus	68
Tabel 4.2 Berat Jenis Agregat Halus	69
Tabel 4.3 Daya Serap Air Agregat Halus	69
Tabel 4.4 Kadar Air Agregat Halus	70
Tabel 4.5 Kadar Lumpur Agregat Halus	70
Tabel 4.6 Analisa Saringan Agregat Halus.....	71
Tabel 4.7 Berat Isi Agregat Kasar	74
Tabel 4.8 Berat Jenis Agregat Kasar	75
Tabel 4.9 Daya Serap Agregat Kasar	75
Tabel 4.10 Kadar Air Agregat Kasar	76
Tabel 4.11 Kadar Lumpur Agregat Kasar	76
Tabel 4.12 Analisa Ayakan Agregat Kasar	77
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar.....	77
Tabel 4.14 Rekapitulasi Pengujian Agregat Halus	78

Tabel 4.15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar	78
Tabel 4.16 Berat Jenis Semen	79
Tabel 4.17 Konsistensi Normal Semen	80
Tabel 4.18 Waktu Ikat Semen.....	81
Tabel 4.19 Hasil Pengukuran Dimensi Serat Makro <i>Polypropylene</i>	81
Tabel 4.20 <i>Mix Design</i> SNI 7656-2012.....	82
Tabel 4.21 Kebutuhan Material Komposisi Campuran Beton	82
Tabel 4.22 Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Trial Mix</i> Umur 7 Hari.....	83
Tabel 4.23 Nilai <i>Slump</i> Rerata	85
Tabel 4.24 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	86
Tabel 4.25 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	88
Tabel 4.26 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton	91
Tabel 4.27 Nilai <i>Stiffness</i> , Daktilitas dan Energi Disipasi Variasi 0% (Kontrol) ..	98
Tabel 4.28 Nilai <i>Stiffness</i> , Daktilitas dan Energi Disipasi Variasi 0.2% PP.....	98
Tabel 4.29 Nilai <i>Stiffness</i> , Daktilitas dan Energi Disipasi Variasi 0.4% PP.....	98
Tabel 4.30 Nilai <i>Stiffness</i> , Daktilitas dan Energi Disipasi Variasi 0.6% PP.....	98

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Tugas Pembimbing.....	114
Lampiran 2. Surat Izin Melakukan Penelitian.....	115
Lampiran 3. Surat Permohonan Pemakaian Laboratorium	116
Lampiran 4. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	117
Lampiran 5. Pengujian Kadar Air Agregat Halus	119
Lampiran 6. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus.....	120
Lampiran 7. Pengujian Berat Isi Agregat Halus.....	121
Lampiran 8 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	122
Lampiran 9. Pengujian Kadar Zat Organik	123
Lampiran 10. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar	124
Lampiran 11. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar.....	126
Lampiran 12. Pengujian Berat Isi Agregat Kasar.....	127
Lampiran 13. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air	128
Lampiran 14. Pengujian Keausan Agregat.....	129
Lampiran 15 Pengujian Berat Jenis Semen.....	130
Lampiran 16. Pengujian Konsistensi Normal dan Waktu Ikat Semen	131
Lampiran 17. Pengukuran Serat <i>Polypropylene</i>	133
Lampiran 18. Pembuatan <i>Trial Mix</i>	134
Lampiran 19. Pembuatan Benda Uji	136
Lampiran 20. Persiapan Pengujian Benda Uji	141
Lampiran 21. Pengujian Sifat Mekanis Benda Uji	146
Lampiran 22. Grafik Hasil Uji Mesin UTM Kuat Lentur.....	159
Lampiran 23. Grafik Kuat Lentur (<i>Load-Displacement</i>)	162

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Beton adalah salah satu material konstruksi yang paling penting dan paling banyak digunakan di seluruh dunia. Penggunaannya sangat luas, mulai dari pondasi bangunan sederhana, perumahan, jalan, jembatan, bendungan, hingga gedung bertingkat tinggi (Fatimah, 2025). Tingginya penggunaan beton disebabkan oleh beberapa keunggulan yang dimilikinya, seperti kuat tekan yang besar, ketahanan dan umur layan yang panjang, kemampuan tahan api, serta kemudahan dibentuk sesuai kebutuhan desain. Selain itu, bahan pembentuk beton seperti pasir, kerikil, dan semen mudah didapatkan serta memiliki biaya perawatan yang relatif rendah, sehingga beton menjadi pilihan yang ekonomis untuk berbagai jenis proyek konstruksi. Dengan keunggulan tersebut, beton dapat dikatakan sebagai material utama dalam pembangunan infrastruktur modern.

Karena penggunaan beton sangat luas, ada hal penting yang perlu diperhatikan: perbaikan kecil pada kinerjanya saja dapat memberikan dampak positif yang sangat besar secara global. Peningkatan pada kekuatan, daktilitas, atau keawetannya tidak hanya membuat satu bangunan menjadi lebih baik, tetapi juga berpotensi meningkatkan standar keamanan, memperpanjang umur layanan infrastruktur penting, dan mengurangi biaya perawatan jangka panjang. Oleh karena itu, penelitian untuk mengembangkan inovasi pada beton sangat penting karena dapat memberikan kontribusi besar bagi kemajuan industri konstruksi.

Meskipun memiliki banyak keunggulan, beton normal juga mempunyai kelemahan penting, yaitu kekuatan tarik yang sangat rendah dan sifatnya yang getas (*brittle*). Secara umum, kekuatan tarik beton hanya sekitar 8% sampai 15% dari kekuatan tekannya (Untu E et al., 2015). Kelemahan ini bukan sekadar kekurangan, tetapi merupakan akibat langsung dari struktur mikro beton. Saat semen bereaksi dengan air, terbentuk struktur yang padat dan kuat sehingga beton mampu menahan beban tekan. Namun, struktur ini memiliki daktilitas

yang rendah. Akibatnya, retak struktural yang muncul akibat beban layanan dapat menyebabkan kegagalan mendadak. Beton membutuhkan mekanisme perkuatan yang mampu menjembatani retakan lebar (*macro-cracks*) untuk mencegah keruntuhan total.

Retak pada beton bukan sekedar isu estetika, melainkan penyebab utama penurunan durabilitas dalam jangka panjang. Retakan, termasuk yang berukuran sangat kecil, menjadi jalur masuk bagi zat-zat agresif dari lingkungan, seperti air, ion klorida, dan karbon dioksida, ke dalam beton (Amalia et al., 2021). Proses ini dapat memicu sekaligus mempercepat terjadinya karat pada baja tulangan, yang merupakan bentuk kegagalan paling umum dan paling merusak pada struktur beton bertulang. Proses degradasi ini, dimulai dari retak, diikuti oleh korosi tulangan, dan berujung pada *spalling* (terkelupasnya selimut beton), secara signifikan mengurangi kapasitas dukung dan memperpendek umur layanan struktur (Astuti & Wingky Sandi Pratama, 2023). Dengan demikian, upaya untuk mengendalikan pembentukan retak sejak tahap awal bukan hanya untuk meningkatkan kekuatan sementara, tetapi juga menjadi langkah penting untuk memutus rantai kerusakan jangka panjang dan menghasilkan struktur yang lebih tahan lama serta berkelanjutan.

Sebagai upaya untuk mengatasi masalah ini, para peneliti di bidang teknik sipil terus mengembangkan berbagai inovasi material, salah satunya adalah Beton Serat (*Fiber Concrete*). Pada konsep *fiber concrete*, serat-serat ditambahkan ke dalam campuran beton dan tersebar secara acak dan merata. Serat-serat tersebut berfungsi sebagai tulangan mikro tiga dimensi yang dapat mengurangi retakan dan meningkatkan kinerja beton secara keseluruhan. Beragam jenis serat telah digunakan, seperti serat baja, serat kaca, serat karbon, dan serat sintetis. Di antara serat sintetis tersebut, serat *polypropylene* (PP) menjadi salah satu yang paling banyak diteliti karena sifatnya yang tahan kimia dan ekonomis. Secara spesifik, berdasarkan dimensi dan fungsinya, serat *polypropylene* diklasifikasikan menjadi dua jenis utama: serat mikro (*microfibers*) dan serat makro (*macrofibers*). Serat mikro memiliki ukuran filamen yang halus dan pendek (umumnya <30 mm) yang berfungsi non-

struktural untuk meminimalisir retak susut plastis di usia awal beton. Sebaliknya, serat makro memiliki dimensi yang lebih panjang (biasanya 30–50 mm) dengan diameter yang lebih besar, sehingga dikategorikan sebagai serat struktural yang mampu menggantikan peran tulangan baja konvensional dalam mentransfer beban.

Serat sintetis *polypropylene* (PPF) memiliki beberapa kelebihan penting dibandingkan jenis serat lainnya. Serat ini sangat ringan, dengan berat jenis sekitar $0,91 \text{ g/cm}^3$, yang mana angka ini jauh lebih rendah secara signifikan jika dibandingkan dengan serat baja (*steel fiber*) yang memiliki berat jenis sekitar $7,85 \text{ g/cm}^3$, sehingga tidak menambah beban mati struktur secara berarti. Selain itu, serat PP bersifat *inert* atau tidak bereaksi dengan bahan kimia, sehingga tahan terhadap korosi dan serangan alkali yang umum terjadi pada lingkungan beton yang sangat basa. Sifat hidrofobiknya juga membuat serat ini tidak menyerap air dari campuran beton, sehingga tidak memengaruhi rasio air-semen yang telah direncanakan (Gunawan et al., 2015).

Keunggulan tersebut memberikan manfaat besar terhadap durabilitas jangka panjang. Berbeda dengan serat baja yang memang dapat meningkatkan kekuatan tetapi tetap berpotensi korosi jika terekspos melalui retakan besar, serat PP mampu memberikan perkuatan tanpa menimbulkan risiko kerusakan baru. Hal ini menjadikan serat PP sebagai pilihan yang lebih aman dan andal untuk meningkatkan ketahanan struktur, terutama pada lingkungan yang agresif (Sabara et al., 2023).

Mekanisme utama serat makro *polypropylene* (*Macro PP*) dalam beton berfokus pada peningkatan kinerja struktural dan kapasitas pasca-retak (*post-cracking behavior*). Ketika beton mengalami tegangan tarik dan retakan struktural mulai terbentuk, serat makro bekerja menjembatani celah retakan tersebut (*macro-crack bridging*) dan menahan penyebarannya (Blazy & Blazy, 2021). Mekanisme ini memberikan beton kemampuan untuk mempertahankan dukung beban sisa (*residual strength*) meskipun telah mengalami keretakan, sehingga mengubah perilaku keruntuhan material dari yang bersifat getas (*brittle*) menjadi lebih ulet (*ductile*) dengan penyerapan energi yang tinggi.

Perubahan perilaku ini sangat vital bagi keselamatan struktur pada kondisi beban ekstrem. Berbeda dengan kegagalan getas pada beton normal yang terjadi tiba-tiba, penambahan serat makro memungkinkan terjadinya kegagalan progresif dengan transfer tegangan tarik yang tetap terjaga. (Abousnina et al., 2021) menunjukkan bahwa serat makro mampu meningkatkan ketangguhan (*toughness*) hingga 857% dibandingkan beton normal, yang secara praktis memberikan waktu evakuasi lebih lama saat terjadi beban berlebih.

Peningkatan daktilitas ini berjalan selaras dengan besarnya energi disipasi yang mampu diserap oleh struktur. Melalui mekanisme *bridging effect*, serat makro menyerap energi secara saat retakan mulai terbentuk. Hal ini secara efektif meningkatkan kapasitas beton dalam meredam beban kejut maupun beban siklik seperti gempa, yang merupakan parameter kunci dalam evaluasi ketangguhan material pasca-retak.

Berdasarkan penelitian terdahulu, penggunaan serat makro *polypropylene* (*Macro PP*) terbukti secara konsisten mengubah perilaku beton dari getas menjadi daktil. Abousnina et al., (2021) melaporkan peningkatan kuat tarik belah hingga 41,9% dan ketahanan benturan hingga 4,8 kali lipat. Namun, pengaruh serat makro terhadap kuat tekan (*compressive strength*) menunjukkan hasil yang bervariasi dan kontradiktif. Sementara Safigar (2024) mencatat adanya peningkatan kuat tekan, penelitian lain oleh Yaqin et al., (2024) dan Ahmad et al., (2021) justru menemukan kecenderungan penurunan kekuatan atau hasil yang inkonsisten akibat isu *workability* dan peningkatan porositas udara dalam campuran beton saat dosis serat ditingkatkan.

Gap penelitian muncul karena sebagian besar studi masih terbatas pada evaluasi kapasitas beban puncak atau kekuatan statis semata. Padahal, penambahan serat seringkali memberikan efek yang minimal pada peningkatan kuat tekan, namun memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap peningkatan kapasitas penyerapan energi (Richardson, 2006). Terdapat ruang kosong dalam literatur mengenai bagaimana dosis serat makro secara spesifik mempengaruhi respon beton setelah mengalami retak pertama (*first crack*). Fokus yang terlalu sempit pada aspek kekuatan mengakibatkan terabaikannya

fakta bahwa fungsi utama serat adalah menjaga integritas struktural melalui perilaku pasca-retak (*post-cracking behavior*) yang stabil.

Oleh karena itu, *novelty* dalam penelitian ini terletak pada analisis komprehensif terhadap aspek ketangguhan (*toughness*) yang mencakup parameter kekakuan (*stiffness*), daktilitas, dan energi disipasi. Analisis ini sangat penting karena kemampuan disipasi energi memiliki hubungan yang erat dengan kekakuan dan daktilitas struktur dalam menentukan stabilitas serta kinerja bangunan terhadap beban dinamik maupun siklik. Penambahan serat pada beton mampu meningkatkan mekanisme disipasi energi melalui *crack bridging*, dan penghambatan penyebaran retak sehingga degradasi kekakuan struktur dapat dikurangi (Mostafaei et al., 2025). Dengan mengevaluasi energi disipasi melalui mekanisme penahanan retak (*bridging effect*), penelitian ini memberikan pemahaman mendalam tentang kemampuan beton dalam meredam beban. Selain itu, penggunaan serat PP yang ringan menawarkan potensi reduksi berat mati struktur akibat workabilitas, sehingga analisis korelasi antara berat benda uji terhadap stabilitas kekakuan dan ketangguhan menjadi poin penting yang dikaji.

Berdasarkan urgensi untuk memvalidasi fenomena ketidakkonsistenan data kekuatan sekaligus mengeksplorasi aspek ketangguhan material, penulis mengangkat judul **“Studi Eksperimental Sifat Mekanis Beton Normal dengan Campuran Serat Polypropylene”**. Penelitian ini diarahkan untuk membuktikan bahwa kontribusi nyata serat makro PP terletak pada transformasi beton menjadi material yang tangguh, daktil, dan memiliki kapasitas disipasi energi yang tinggi sebagai parameter utama evaluasi kinerja beton modern.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan pokok sebagai berikut:

1. Kelemahan fisik beton normal berupa kuat tarik yang sangat rendah dan sifat yang getas mengakibatkan material ini rentan mengalami retak struktural.
2. Perlunya peningkatan kapasitas penyerapan energi disipasi dan daktilitas pada beton agar lebih tahan terhadap beban ekstrem.

3. Adanya risiko penurunan kekakuan (*stiffness*) dan kuat tekan akibat peningkatan porositas pada beton serat.
4. Belum diketahuinya secara pasti bagaimana hubungan berat benda uji terhadap efektivitas kinerja mekanis pasca-retak pada variasi dosis serat tertentu.
5. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan adanya inkonsistensi pengaruh penggunaan serat makro *polypropylene* terhadap kuat tekan beton akibat timbulnya masalah workabilitas dan porositas.
6. Belum diketahuinya karakteristik mekanis beton secara menyeluruh pada variasi campuran serat *polypropylene* (khususnya pada variasi 0%, 0,2%, 0,4%, dan 0,6%) untuk meningkatkan kualitas mekanis beton normal secara keseluruhan.
7. Adanya inkonsistensi data mengenai dosis optimum serat makro *polypropylene* (khususnya pada variasi 0%, 0,2%, 0,4%, dan 0,6%) untuk mencapai keseimbangan antara kekuatan dan daktilitas.

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini tetap terarah dan menghasilkan data yang valid serta dapat dipertanggungjawabkan, ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya menggunakan Beton Normal, yang didefinisikan memiliki berat isi antara 2200 kg/m³ hingga 2500 kg/m³ dengan target kuat tekan karakteristik (f'_c) dalam rentang mutu sedang (22 MPa) yang berumur 28 Hari.
2. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen *Portland* Tipe PCC (*portland cement composite*) dengan merk dagang Semen Padang. Agregat halus berasal dari Kabupaten Pasaman dan agregat kasar berasal dari Kabupaten Solok, untuk semua campuran dan telah melalui pengujian untuk memastikan pemenuhan spesifikasi standar.
3. Serat yang digunakan adalah serat makro *polypropylene* jenis multifilamen dengan spesifikasi panjang 54 mm dan diameter 0,95 mm yang seragam untuk semua variasi campuran dengan merk dagang Kratos.

4. Variabel bebas dalam penelitian ini hanya terbatas pada persentase campuran serat *polypropylene* terhadap berat agregat kasar, yaitu: 0% (sebagai beton kontrol), 0,2%, 0,4% dan 0,6%.
5. Sifat mekanik yang diuji terbatas pada kuat tekan, kuat lentur, kuat tarik belah, kekakuan (*stiffness*), daktilitas, dan energi disipasi. Pengujian dilakukan pada umur beton 28 hari. Sifat beton segar (*workability*) akan diukur menggunakan uji *slump*.
6. Penelitian ini dibatasi pada pembebanan statik.
7. Analisis tambahan mencakup korelasi antara berat benda uji dengan parameter energi disipasi.
8. Analisis tidak mencakup pengujian sifat durabilitas jangka panjang (seperti ketahanan sulfat atau permeabilitas), ketahanan lelah (*fatigue*), atau perilaku beton pada temperatur tinggi.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah dan identifikasi masalah di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh substitusi parsial agregat kasar dengan serat makro *polypropylene* sebagai campuran dengan variasi persentase 0%, 0,2%, 0,4%, dan 0,6% terhadap kuat tekan, tarik belah, dan kuat lentur beton normal pada umur 28 hari?
2. Sejauh mana variasi kadar serat memengaruhi nilai kekakuan (*stiffness*), daktilitas, dan kapasitas energi disipasi beton?
3. Bagaimana pola hubungan berat benda uji terhadap energi disipasi beton?
4. Bagaimana perbandingan kinerja mekanis antar variasi kadar serat *polypropylene* dalam menghasilkan beton dengan daktilitas dan energi disipasi tinggi?

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Untuk mengetahui pengaruh persentase substitusi parsial agregat kasar dengan serat *polypropylene* sebagai campuran pada nilai kuat tekan, tarik belah dan lentur beton normal pada umur 28 hari.

2. Untuk mengetahui perubahan perilaku beton dari getas menjadi daktil melalui pengukuran kekakuan, daktilitas, dan energi disipasi.
3. Menentukan pola korelasi antara berat benda uji dengan energi disipasi yang dihasilkan.
4. Menganalisis variasi campuran serat makro *polypropylene* yang memberikan peningkatan kinerja daktilitas dan energi disipasi paling maksimal.

F. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang signifikan dari berbagai aspek, antara lain:

1. Manfaat Akademis

Memberikan data hasil uji yang lengkap untuk membantu mengisi kekurangan dan menjawab perbedaan dalam pustaka ilmiah mengenai dampak serat *polypropylene* terhadap kuat tekan, tarik, dan lentur normal. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan penting untuk penelitian selanjutnya di bidang teknologi beton serat.

2. Manfaat Praktis

Menghasilkan saran teknis berdasar data bagi para pekerja di industri konstruksi mengenai takaran terbaik penggunaan serat *polypropylene*. Hal ini dapat mendukung penggunaan *fiber concrete* yang lebih efektif untuk menambah keawetan, mengurangi retak susut, dan memperpanjang masa pakai struktur beton dengan cara yang tepat guna dan terukur.

3. Manfaat bagi Penulis

Menerapkan pengetahuan yang diperoleh selama perkuliahan ke dalam kegiatan penelitian nyata di laboratorium. Hal ini dapat menambah pemahaman dan keterampilan penulis dalam merancang campuran beton, melakukan pengujian, menganalisis data, serta menyelesaikan masalah teknis yang ditemui selama proses penelitian.

BAB V

SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan rangkaian hasil pengujian laboratorium dan analisis data yang telah dilakukan, maka simpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Substitusi parsial agregat kasar dengan serat *polypropylene* mengakibatkan penurunan nilai kuat tekan beton secara bertahap seiring dengan bertambahnya kadar serat yang digunakan. Nilai kuat tekan rata-rata terendah tercatat pada variasi 0,6% PP yaitu sebesar 15,21 MPa, yang menunjukkan penurunan sebesar 32,07% jika dibandingkan langsung dengan beton normal (0% PP). Tren ini mengindikasikan bahwa keberadaan serat makro sintetis menurunkan tingkat *workability* adukan sehingga menyulitkan proses pemadatan manual.
2. Parameter kuat tarik belah dan kuat lentur menunjukkan hasil yang lebih optimal pada kadar serat 0,6% PP dibandingkan beton normal. Pada variasi tersebut, nilai kuat tarik belah kembali meningkat mencapai 2,2869 MPa (hampir setara dengan beton normal atau hanya berselisih 0,02%). Sementara itu, kuat lentur mencapai nilai tertinggi sebesar 3,38 MPa yang menunjukkan kenaikan sebesar 8,33% dari beton normal. Hasil ini membuktikan efektivitas mekanisme *bridging effect* dari serat makro sepanjang 54 mm.
3. Nilai kekakuan rata-rata mengalami fluktuasi dengan nilai tertinggi pada beton normal sebesar 7,05 kN/mm dan nilai terendah pada variasi 0,2% PP sebesar 5,62 kN/mm (terjadi penurunan sebesar 20,28%), sebelum kemudian meningkat kembali pada kadar 0,6% PP menjadi 6,27 kN/mm (menunjukkan kenaikan sebesar 11,57% dari titik terendah).
4. Terjadi peningkatan daktilitas yang konsisten seiring campuran serat, dengan nilai terendah pada beton normal sebesar 1,01 dan mencapai nilai tertinggi pada variasi 0,6% PP sebesar 1,32. Capaian pada kadar 0,6% PP

ini menunjukkan peningkatan total sebesar 30,69% dibandingkan beton kontrol.

5. Kapasitas penyerapan energi atau energi disipasi menunjukkan lonjakan yang sangat signifikan pada variasi 0,6% PP yaitu sebesar 74,69 Joule. Nilai ini menunjukkan peningkatan tajam sebesar 245,95% dari beton normal yang hanya sebesar 21,59 Joule.
6. Terdapat hubungan yang berbanding terbalik antara berat benda uji dengan energi disipasi pada variasi 0,6% PP, di mana sampel dengan berat paling ringan (30,20 kg) justru menghasilkan kapasitas penyerapan energi yang paling besar.

B. Implikasi

Berdasarkan kesimpulan penelitian, temuan ini memiliki beberapa konsekuensi logis (implikasi) konseptual sebagai berikut.

1. Penurunan kuat tekan hingga 32,07% akibat rendahnya tingkat *workability* pada kadar serat tinggi mengimplikasikan bahwa beton serat makro *polypropylene* dosis tinggi tidak tepat untuk memikul beban tekan struktural utama. Temuan ini mengarahkan fungsi material secara khusus sebagai bahan penyusun komponen non-struktural atau arsitektural.
2. Peningkatan signifikan pada kapasitas lentur (8,33%), daktilitas (30,69%), dan lonjakan energi disipasi (245,95%) pada kadar 0,6% PP mengimplikasikan bahwa penggunaan serat makro sepanjang 54 mm sangat efektif mengubah sifat dasar material dari getas menjadi ulet. Kondisi ini memberikan dasar konseptual baru bagi perencanaan elemen bangunan non-struktural tahan gempa yang berfokus pada kemampuan penyerapan energi pasca-retak untuk memperpanjang waktu evakuasi penghuni.
3. Fenomena hubungan berbanding terbalik di mana benda uji dengan berat paling ringan (30,20 kg) menghasilkan energi disipasi terbesar mengimplikasikan adanya toleransi akademis baru dalam teknologi bahan. Keberadaan rongga udara akibat kendala pengerjaan adukan kaku tidak selalu dipandang sebagai kegagalan mutu mutlak, melainkan menjadi

kompensasi fisik untuk mendapatkan struktur yang lebih ringan dengan ketangguhan mekanis yang jauh lebih tinggi.

C. Saran

Berdasarkan keterbatasan selama proses penelitian, maka saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan bahan tambah kimia seperti *superplasticizer* untuk memperbaiki tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton serat agar kepadatan beton tetap terjaga pada kadar serat tinggi.
2. Disarankan untuk menggunakan alat penggetar mekanis berupa *vibrator table* atau *vibrator needle* dengan durasi penggetaran yang lebih lama (tambahkan 5 hingga 10 detik dari waktu normal) saat mencetak benda uji beton serat makro berkadar tinggi. Tindakan ini secara aktif memaksa pelepasan *bubble* udara yang terjebak di dalam matriks adukan yang kaku akibat dosis serat yang masif.
3. Perlu adanya analisis mengenai ketahanan durabilitas jangka panjang terhadap lingkungan agresif untuk melengkapi data sifat mekanis yang telah diperoleh pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abousnina, R., Premasiri, S., Anise, V., Lokuge, W., & Vimonsatit, V. (2021). *Mechanical Properties of Macro Polypropylene*. 1–25.
- Ahmad, J., Aslam, F., & Martínez-garcía, R. (2021). *Mechanical performance of concrete reinforced with polypropylene fibers (PPFs)*. <https://doi.org/10.1177/15589250211060399>
- Amalia, Z., Saidi, T., Saidi, T., Aulia, T. B., Aulia, T. B., Mahlil, M., & Mahlil, M. (2021). Pengaruh Densitas Arus Terhadap Perilaku Retak Beton Bertulang Yang Mengalami Korosi Tulangan. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 351–362. <https://doi.org/10.29103/tj.v11i2.507>
- ASTM C150-85, *Standard Specification for Portland Cement* (1985).
- ASTM C33/C33M, *Standard Specification for Concrete Aggregates* (2018).
- Astuti, P., & Wingky Sandi Pratama. (2023). Pengaruh Tulangan Terkorosi Pada Defleksi, Kelengkungan, Lebar Retak Dan Pola Retak Balok Beton Bertulang. *Jurnal Teknik Sipil*, 17(3), 191–197. <https://doi.org/10.24002/jts.v17i3.7610>
- Blazy, J., & Blazy, R. (2021). *Case Studies in Construction Materials Polypropylene fi ber reinforced concrete and its application in creating architectural forms of public spaces*. *Case Studies in Construction Materials*, 14, e00549. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00549>
- Callister, William D., J., & Rethwisch, D. G. (2018). *Material Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). John Wiley & Sons. https://books.google.co.id/books?id=dmoTEQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=id&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Carlesso, D. M., Bajić, P., & de la Fuente Antequera, A. (2024). *Understanding Energy Dissipation Behaviour in Cracked Macrosynthetic Fibre-Reinforced Concrete Under Flexural Fatigue Conditions*. *RILEM Bookseries*, 54, 406–413. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70145-0_50
- Chopra, A. K. (2020). *Dynamics of Structures Theory and Applications To Earthquake Engineering* (5th ed.).
- Deodatus, K. L. (2020). *Studi Eksperimental Penambahan Fiber Polypropylene Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton*. Universitas Mercu Buana.
- Fatimah, S. (2025). Evaluasi Kinerja Beton Mutu Tinggi dengan Penambahan Serat Polypropylene Pada Gedung Bertingkat. *J-Multitechno*, 1(1), 34–43.
- Gere, J. M., & Timoshenko, S. P. (1997). *Mechanics of Materials*. PWS Publishing Company.
- Gunawan, P., Rismunarsi, E., & Priyono, A. (2015). Pengaruh Penambahan Serat Polypropilene Pada Beton Ringan Dengan Teknologi Gas Terhadap Kuat Tekan , Kuat. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 3(September), 703–711.

- Hariandja, B. (1990). *Disain Beton Bertulang*. Erlangga.
- Hassoun, M. N., & Al-Manaseer, A. (2020). *Structural Concrete: Theory and Design* (7th ed.). Wiley.
- Mostafaei, H., Bahmani, H., & Mostofinejad, D. (2025). *Damping Behavior of Fiber-Reinforced Concrete: A Comprehensive Review of Mechanisms, Materials, and Dynamic Effects*. *Journal of Composites Science*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/jcs9060254>
- Mulyono, T. (2003). *Teknologi Beton*. Penerbit ANDI.
- Neville, A. (2011). *Properties of Concrete* (Sth Editio). Pearson Education Limited.
- Principio Neslyn, L., Avenido John Patrick, B., Manalo Jinky Marie, S., & Perez Deo, S. (2020). *Mechanical Properties of Recycled Polypropylene Macro Flat Fiber Reinforced Concrete with Rice Hull Ash as Partial Replacement to Cement*. 858, 199–204. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.858.199>
- Richardson, A. E. (2006). *Compressive strength of Concrete With polypropylene Fibre Additions*.
- Sabara, A. I. R., Rifqi, M. R., Vanessa, V., Febriant, M., & Fadiah, D. (2023). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Panjang Polypropylene Fibre terhadap Performa Beton. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 9(2), 38. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v9i2.38>
- Safigar, A. (2024). *Pengaruh Serat Sintetis Makro Polypropylene Terhadap Nilai Kekuatan Dan Perilaku Tekan Self Compacting Concrete (Scc)*.
- SNI-03-1968-1990, Sieve Analysis Agregat Halus Dan Agregat Kasar, 1 (1990).
- SNI-03-4804-1998, Metode Pengujian Bobot Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat, 1 (1998).
- SNI-03-6468-2000, Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi Dengan Semen Portland Dengan Abu Terbang, Pub. L. No. 03-6468–2000 (2000). https://id.scribd.com/document/713204206/sni-03-6468-2000#google_vignette
- SNI-2816-2014, Metoda Uji Bahan Organik, Pub. L. No. SNI-2816-2014 (2014). <https://id.scribd.com/document/594284348/SNI-2816-2014-Metoda-Uji-Bahan-Organik>
- SNI-6827-2002, Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland Dengan Menggunakan Alat Vicat Untuk Pekerjaan Sipil (2002).
- SNI 03-1729-2002, Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (2002).
- SNI 03-2847-2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan

Gedung (2002).

SNI 03-4142-1996 Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 Mm), 200 Badan Standardisasi Nasional Indonesia 1 (1996).

SNI 03-6826-2002 METODE PENGUJIAN KONSISTENSI N KONSISTENSI NORMAL SEMEN NORMAL SEMEN PORTLAND PORTLAND DENGAN ALAT VICAT UNTUK PEKERJAAN SIPIL, 1 (2002).

SNI 1726:2019, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, Sni 1726-2019 1 (2019).

SNI 1971:2011, Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan, Pub. L. No. 1971:2011, Badan Standarisasi Nasional 1 (2011).

SNI 1972:2008, Uji Slump Beton, Pub. L. No. 1972:2008 (2008).

SNI 1974:2011, Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder, Pub. L. No. 1974:2011 (2011).

SNI 2049:2015, Semen Portland, Pub. L. No. 2049:2015 (2015).

SNI 2417-2008, Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta., Badan Standardisasi Nasional 1 (2008).
https://imsippoliban.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/03/5368_sni-2417_2008.pdf

SNI 2491:2014, Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder, Pub. L. No. 2491:2014 (2014).

SNI 2531:2015, Metode Uji Densitas Semen Hidraulis, Pub. L. No. 2531:2015 (2015).
https://id.scribd.com/document/726462314/SNI-2531-2015#google_vignette

SNI 2847:2019, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (2019).

SNI 4431:2011, Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan, Pub. L. No. 4431:2011 (2011).

SNI 7656:2012, Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan Beton Massa, Pub. L. No. 7656:2012 (2012).

Taleghani, S. S., Salehi, A. M., Mehraein, M., & Asadollahfardi, G. (2025). *The Effect of Different Types of Fibers and Cement Substitutes on High - Performance Concrete Cured in Standard , Thermal , and Sulfate Conditions*.

Tjokrodimuldjo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit KMTS FT UGM.

Untu E, Kumaat E.J, & Windah, R. S. (2015). Pengujian Kuat Tarik Belah Dengan Variasi Kuat Tekan Beton. *Jurnal Sipil Statik*, 3(10), 703–708.

Yaqin, C., Haq, S. U., Iqbal, S., Khan, I., Room, S., & Khan, S. A. (2024).

Performance evaluation of indented macro synthetic polypropylene fibers in high strength self - compacting concrete (SCC). Scientific Reports, 1–15.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-71875-5>

Yunus, A. I., Widiati, I. R., Yendri, O., Hapsari, R. N. A., Picauly, P. F., Uzda, R., & Imani, R. (2024). *Dasar-dasar Teknologi Beton*. CV. Gita Lentera.