

TUGAS AKHIR

**PENGUNAAN SERAT KELAPA SAWIT SEBAGAI ADITIF DALAM
UPAYA PENINGKATAN KUAT TARIK BELAH BETON**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

ZULFIKRAM SADEWA SILITONGA
1907210165



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Zulfikram Sadewa Sillitonga

NPM : 1907210165

Program Studi : Teknik Sipil

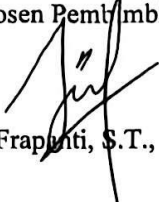
Judul Skripsi : Penggunaan Serat Kelapa Sawit Sebagai Aditif Dalam Upaya
Peningkatan Kuat Tarik Belah Beton

Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 08 September 2026

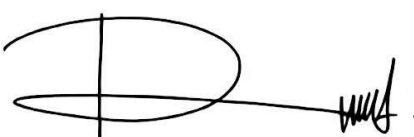
Mengetahui dan Menyetujui
Dosen Pembimbing


Sri Frapanti, S.T., M.T

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II


Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D


Fetra Venny Riza, S.T., M.Sc., Ph.D

Ketua Prodi Teknik Sipil


Dr. Josef Hadirpramana, S.T., M.Sc

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan Oleh :

Nama : Zulfikram Sadewa Silitonga

NPM : 1907210165

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Penggunaan Serat Kelapa Sawit Sebagai Aditif Dalam Upaya
Peningkatan Kuat Tarik Belah Beton

Bidang Ilmu : Struktur

**DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI**

Medan, 05 September 2026

Dosen Pembimbing



Sri Frapanti, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Zulfikram Sadewa Silitonga
Tempat / Tanggal Lahir : Kolonodale, 07 April 2001
Npm : 1907210165
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

Penggunaan Serat Kelapa Sawit Sebagai Aditif Dalam Upaya Peningkatan Kuat Tarik Belah Beton

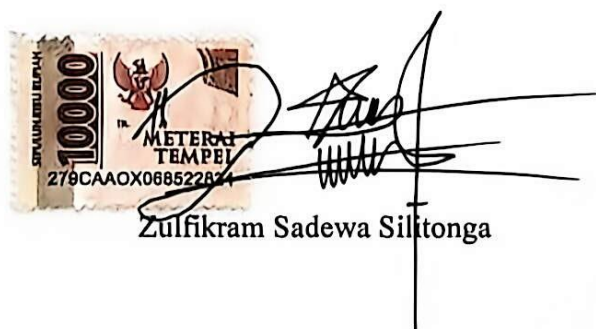
Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non- material, atau pun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/ kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 05 September 2026

Saya Yang Menyatakan



Zulfikram Sadewa Silitonga

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Penggunaan Serat Kelapa Sawit Sebagai Aditif Dalam Upaya Peningkatan Kuat Tarik Belah Beton Ramah Lingkungan” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini banyak pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan dukungan, bimbingan dan bantuan, sehingga dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Sri Frapanti, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Dr. Khairul Umurani, S.T., M. T., selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Program Studi Teknik Sipil yang ikut andil dalam proses administrasi penelitian
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu Teknik Sipil kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Teristimewa sekali penulis ucapkan terima kasih kepada kedua orang tua tercinta, yang sangat berusaha dalam membesarkan dan memberikan kasih sayangnya kepada penulis.

9. Dan penulis juga mengucapkan terima kasih kepada teman-teman Gragas (Angkatan 19) Teknik Umsu yang nama nya tidak bisa saya sebut satu persatu yang selalu membantu dan memberi dukungan kepada penulis.
10. Dan juga teman – teman dari kampung saya yang mau menemanin dan membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan penulisan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Medan, Agustus 2026

Penulis

Zulfikram Sadewa Silitonga

ABSTRAK

PENGUNAAN SERAT KELAPA SAWIT SEBAGAI ADITIF DALAM UPAYA PENINGKATAN KUAT TARIK BELAH BETON

Zulfikram Sadewa Silitonga

1907210165

Sri Frapanti S.T.,M.T.,

Penelitian ini menggunakan serat kelapa sawit (SKS) sebagai bahan tambah pada beton dengan tujuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tarik belah beton. Beton normal dicampur dengan serat kelapa sawit pada variasi 5%, 7%, dan 9% dari berat total campuran beton, menggunakan benda uji silinder berukuran 15 x 30 cm. Rancangan campuran (mix design) mengacu pada SNI 03-2834-2000 dengan kuat tekan rencana (f'_c) sebesar 25 MPa. Setiap variasi dibuat 3 benda uji, sehingga jumlah keseluruhan benda uji sebanyak 12 buah (3 beton normal dan 9 beton campuran SKS). Benda uji direndam selama 28 hari sebelum dilakukan pengujian kuat tarik belah menggunakan Compression Testing Machine. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serat kelapa sawit belum mampu meningkatkan kuat tarik belah beton; kuat tarik belah beton normal diperoleh sebesar 3,00 MPa, sedangkan pada variasi SKS 5%, 7%, dan 9% masing-masing menurun menjadi 2,03 MPa, 1,83 MPa, dan 1,67 MPa. Nilai kuat tarik belah tertinggi di antara variasi campuran SKS terdapat pada variasi SKS 5% sebesar 2,03 MPa, meskipun nilai tersebut tetap lebih rendah dibandingkan beton normal. Penyerapan air beton juga meningkat seiring bertambahnya kadar serat kelapa sawit, sejalan dengan penurunan kuat tarik belah yang terjadi.

Kata Kunci: beton normal, serat kelapa sawit, kuat tarik belah

ABSTRACT

USE OF PALM OIL FIBER AS AN ADDITIVE IN AN EFFORT TO INCREASE THE SPLIT TENSILE STRENGTH OF CONCRETE

Zulfikram Sadewa Silitonga

1907210165

Sri Frapanti S.T., M.T.,

This study used palm oil fiber (POF) as an additive in concrete to determine its effect on the split tensile strength of concrete. Normal concrete was mixed with palm oil fiber at variations of 5%, 7%, and 9% of the total concrete mixture weight, using cylindrical test specimens measuring 15 x 30 cm. The mix design referred to SNI 03-2834-2000, with a target compressive strength (f'_c) of 25 MPa. Three specimens were prepared for each variation, resulting in a total of 12 specimens (3 normal concrete and 9 concrete mixed with palm oil fiber). Specimens were cured for 28 days before the split tensile strength test was carried out using a Compression Testing Machine. The results showed that the addition of palm oil fiber was not able to increase the split tensile strength of concrete; the split tensile strength of normal concrete was 3.00 MPa, while the 5%, 7%, and 9% POF variations decreased to 2.03 MPa, 1.83 MPa, and 1.67 MPa, respectively. The highest split tensile strength among the POF variations was found at the 5% variation, at 2.03 MPa, although this value remained lower than that of normal concrete. Water absorption of the concrete also increased along with the increasing palm oil fiber content, consistent with the decline in split tensile strength observed.

Keywords: normal concrete, palm oil fiber, split tensile strength

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematis Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Agregat Halus	8
2.3 Agregat Kasar	8
2.4 Air	9
2.5 Kuat Tarik Belah Beton	9
2.5 Beton Serat (Fiber Reinforced Concrete)	10
2.6 Serat Kelapa Sawit	11
2.6.1 Klasifikasi dan Sumber Serat Kelapa Sawit	12
2.6.2 Komposisi Kimia Serat Kelapa Sawit	12
2.6.3 Pengaruh Komposisi Kimia terhadap Kinerja Serat	14
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Bagan Alir Penelitian	16
3.2 Lokasi Dan Waktu Penelitian	17

3.3 Sumber Dan Teknik Pengambilan Data	17
3.3.1 Data Primer	17
3.3.2 Data Skunder	17
3.4 Bahan Dan Alat	18
3.4.1 Bahan	18
3.5.2 Alat	20
3.5 Prosedur Pembuatan Benda Uji	26
3.5.2 Analisa Saringan Agregat	26
3.5.3 Kadar Air	27
3.5.4 Berat Jenis dan Penyerapan	27
3.5.5 Kadar Lumpur	27
3.5.6 Berat Isi	28
3.6 Benda Uji Beton	28
3.7 Penambahan Serat Kelapa Sawit	29
3.8 Mix Design	30
3.9 Pembuatan Benda Uji	31
3.10 Pemeriksaan <i>Slump Test</i>	32
3.11 Perawatan (<i>Curing</i>) Benda Uji	32
3.12 Kuat Tarik Belah Beton	33
BAB 4 PEMBAHASAN DAN HASIL	35
4.1 Hasil dan Analisa Pemeriksaan Material	35
4.1.1 Agregat Halus	35
4.1.2 Pemeriksaan Agregat Kasar	40
4.2 Komposisi Campuran	45
4.3 Uji Beton	52
4.3.1 Slump Test	52
4.3.2 Uji Kuat Tarik Belah Beton	53
4.3.3 Penyerapan Air pada Beton	55
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	64

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Pengujian yang akan dilakukan yaitu uji kuat tarik beton. Untuk jumlah sampel 29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian	15
Gambar 4. 3 Hubungan FAS dengan kuat tekan (SNI 03-2834, 2000).	46
Gambar 4. 4 Penentuan persentase pasir terhadap kadar total agregat yang digunakan pada penelitian (butir maksimum 40 mm)	48
Gambar 4. 5 Penentuan berat isi beton basah	49
Gambar 4. 1 Grafik hasil pengujian slump test.	41
Gambar 4. 7 Grafik hasil pengujian kuat tarik belah beton	54
Gambar 4. 8 Grafik persentase penurunan mutu beton	55
Gambar L. 1 Agregat Halus	51
Gambar L. 2 Agregat Kasar	51
Gambar L. 3 Penjemuran Agregat	76
Gambar L. 4 Pemeriksaan SKS	52
Gambar L. 5 Pemeriksaan Agregat Halus	77
Gambar L. 6 Pemeriksaan Beton Setelah Perendaman	53
Gambar L. 7 Pemeriksaan Benda Uji Sebelum Di Keeping	78
Gambar L. 8 Proses Keeping	54
Gambar L. 9 Benda Uji Setelah di Keeping	79

DAFTAR NOTASI

A	=	luas penampang benda uji (mm^2)
a	=	berat benda uji kering oven (gr)
B	=	jumlah air (kg/m^3)
b	=	berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gr)
B'	=	berat agregat setelah
B_o	=	berat agregat sebelum pengujian (gr)
C	=	jumlah agregat halus (kg/m^3)
C	=	berat benda uji dalam air (gr)
Ca	=	absorpsi agregat halus (%)
Ck	=	kadar air agregat halus (%)
D	=	jumlah agregat kasar (kg/m^3)
Da	=	absorpsi agregat kasar (%)
Dk	=	kadar air agregat kasar (%)
Fas	=	faktor air semen bebas
f'_{ct}	=	kuat tarik belah beton benda uji (MPa)
f_{ct}	=	kuat tarik belah beton rata-rata (MPa)
M	=	nilai tambah margin
M_c	=	berat wadah ukur yang diisi agregat (kg)
M_m	=	berat wadah ukur (kg)
N	=	jumlah benda uji
P	=	beban maksimum (N)
S	=	standar deviasi
V_m	=	volume wadah ukur (m^3)
W_{air}	=	kadar air bebas
SKS	=	Serat Kelapa Sawit

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia karena kemudahan dalam pengerjaannya, ketersediaan bahan penyusunnya, serta kemampuannya menahan beban tekan yang tinggi. Namun demikian, beton memiliki kelemahan mendasar yaitu kuat tarik yang jauh lebih rendah dibandingkan kuat tekannya, hanya berkisar 7%–11% dari kuat tekannya (Sinambela, 2025). Kelemahan ini menyebabkan beton mudah mengalami retak akibat pembebanan, susut, maupun perubahan suhu, sehingga diperlukan upaya untuk memperbaiki sifat tarik beton tanpa mengorbankan aspek keberlanjutan lingkungan dalam proses produksinya.

Salah satu upaya untuk meningkatkan kuat tarik beton adalah dengan menambahkan serat (*fiber*) ke dalam campuran beton, yang dikenal dengan istilah beton serat (*fiber reinforced concrete*). Penambahan serat berfungsi menahan penyebaran retak akibat pembebanan sekaligus meningkatkan daktilitas beton (Sanggaria & Mara, 2023). Serat yang digunakan dapat berupa serat sintetis maupun serat alami. Di antara berbagai pilihan tersebut, serat alami menjadi alternatif yang semakin diminati karena sifatnya yang terbarukan, mudah didapat, serta sejalan dengan upaya pengurangan limbah industri dan emisi karbon dalam sektor konstruksi.

Di sisi lain, industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor perkebunan terbesar di Indonesia yang menghasilkan limbah dalam jumlah sangat besar setiap tahunnya. Dalam setiap proses produksi kelapa sawit, dihasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebesar 23%, cangkang 8%, serat 12%, dan limbah cair 66% dari total produksi (Sinambela, 2025). Apabila tidak dikelola dengan baik, limbah tersebut berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah kelapa sawit termasuk serat, abu, maupun cangkangnya sebagai bahan tambah pada campuran beton menjadi salah

satu solusi yang relevan untuk mendukung konsep konstruksi ramah lingkungan sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap material konvensional.

Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji pemanfaatan limbah kelapa sawit pada campuran beton maupun mortar. (Opirina, 2019) meneliti pengaruh penambahan serat TKKS terhadap kuat tarik belah beton normal dan menemukan bahwa kadar serat 5% menghasilkan kuat tarik belah optimum sebesar 3,73 MPa, meningkat 6,27% dibandingkan beton normal. (Sanggaria & Mara, 2023) mengkaji pengaruh panjang serat tandan kelapa sawit terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur, dan menyimpulkan bahwa panjang serat 5 cm memberikan hasil terbaik, sedangkan penambahan panjang serat lebih dari itu justru menurunkan kekuatan beton akibat distribusi serat yang kurang merata. Penelitian oleh (Zulkarnain & Chair, 2022) yang memanfaatkan abu cangkang kelapa sawit dikombinasikan dengan silica gel turut menunjukkan peningkatan kuat tarik belah beton hingga 4,88 MPa pada komposisi optimum.

Meskipun demikian, tidak semua penelitian menunjukkan hasil yang konsisten. (Roziandi & Farizal, 2022) melaporkan bahwa penambahan TKKS sebagai serat pada perencanaan mutu beton K-225 justru menurunkan kuat tekan secara signifikan hingga tidak memenuhi mutu rencana. Hal serupa juga ditemukan pada penelitian material rammed earth oleh peneliti dari Universitas Gadjah Mada, yang menunjukkan bahwa penambahan serat TKKS menurunkan kuat tekan meskipun meningkatkan kuat lentur pada kadar tertentu. Demikian pula, penelitian (Bastika et al., 2024) mengenai substitusi cangkang kelapa sawit menunjukkan penurunan kuat tekan yang signifikan seiring bertambahnya kadar cangkang sawit dalam campuran.

Ketidakkonsistenan hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa pengaruh limbah kelapa sawit terhadap sifat mekanik beton, khususnya kuat tarik belah, masih memerlukan kajian lebih lanjut. Selain itu, sebagian besar penelitian terdahulu lebih banyak menjadikan kuat tekan sebagai parameter utama, sementara kuat tarik belah yang justru menjadi kelemahan mendasar beton cenderung diposisikan sebagai data pendukung dan belum dioptimasi secara khusus (Hafiz & Farizal, 2023a). Variasi kadar dan panjang serat yang diuji pada penelitian-penelitian tersebut juga masih terbatas, dan penerapannya pun beragam mulai dari

beton normal, mortar (Bintang, 2023) hingga rammed earth, sehingga hasilnya belum sepenuhnya dapat digeneralisasi untuk konteks beton struktural ramah lingkungan.

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan penelitian yang secara khusus memfokuskan kajian pada pengaruh penambahan serat kelapa sawit sebagai aditif terhadap kuat tarik belah beton, dengan tetap mengedepankan prinsip beton ramah lingkungan melalui pemanfaatan limbah industri kelapa sawit. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa data empiris mengenai kadar optimum serat kelapa sawit yang mampu meningkatkan kuat tarik belah beton secara signifikan, sekaligus memperkuat upaya pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai material konstruksi alternatif yang berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan serat kelapa sawit dapat meningkatkan kuat tarik belah beton?
2. Berapa persen komposisi serat kelapa sawit yang optimal untuk menghasilkan peningkatan kuat tarik belah beton?

1.3 Ruang Lingkup

1. Penelitian ini menguji kuat tarik belah beton yang menggunakan limbah serat kelapa sawit sebagai bahan tambah (aditif).
2. Penggunaan serat kelapa sawit sebagai bahan tambahan dalam beton normal.
3. Variasi campuran serat kelapa sawit sebesar : 5%, 7% dan 9% terhadap berat beton.
4. Benda uji yang digunakan berupa slinder dengan diameter 15cm dan tinggi 30cm
5. Penelitian di lakukan di Laboratorium beton Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan serat kelapa sawit terhadap kuat tarik belah beton.
2. Untuk menentukan komposisi serat kelapa sawit yang optimal sebagai aditif pada beton.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini semoga menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya dengan suatu acuan bahwa penggunaan limbah beton yang berasal dari hasil uji kuat tekan dapat dipergunakan kembali sebagai komponen pembentuk beton dan patut dipertimbangkan untuk mendapatkan/merubah sifat dan mutu beton tertentu sesuai yang diinginkan.

1.6 Sistematis Penelitian

Dalam penyusunan tugas akhir penulis membagi yang akan dibahas dan disampaikan melalui pemabagian pada beberapa bab, berikut diantaranya:

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisikan tentang pemabahasan latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika pembahasan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang pembahasan teori-teori yang mendukung dan berhubungan dengan judul penelitian.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian bab ini membahas tentang tempat dan waktu peneltia, sumber data, teknik pengumpulan data yang digunakan dan mode analisis data.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini merupakan hasil penelitian dan pembahasan singkat tentang hasil yang didapat dan digunakan untuk memecahkan masalah yang berkaitan dengan judul penelitian.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Dan dari pembahasan dan analisa yang telah didapat, penulis dapat menarik kesimpulan dan memaparkan pada bagian bab ini, serta juga memberikan saran yang berkaitan dengan judul penelitian tugas akhir ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Opirina melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terhadap kuat tarik belah beton normal. Serat TKKS yang berasal dari limbah pabrik kelapa sawit digunakan sebagai substitusi sebagian agregat halus dengan variasi kadar 0%, 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8%, kemudian diuji tarik belah pada benda uji silinder berukuran $\varnothing 15 \times 30$ cm setelah berumur 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tarik belah optimum dicapai pada kadar serat 5% dengan nilai 3,73 MPa, meningkat 6,27% dibandingkan beton normal tanpa serat yang hanya mencapai 3,51 MPa. Namun, pada kadar serat di atas 5% nilai kuat tarik belah justru cenderung menurun, yang mengindikasikan bahwa terdapat batas kadar optimum di mana penambahan serat yang berlebihan dapat menurunkan efektivitas ikatan serat dengan matriks beton (Opirina, 2019).

Sanggaria meneliti pengaruh panjang serat tandan kelapa sawit terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton normal dengan kadar serat tetap sebesar 2% dari volume beton. Penelitian ini menggunakan tiga variasi panjang serat, yaitu 5 cm, 7 cm, dan 9 cm, yang diambil dari limbah pabrik kelapa sawit di Tobadak, Kabupaten Mamuju Tengah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tarik belah tertinggi diperoleh pada variasi panjang serat 5 cm sebesar 2,430 MPa, lebih tinggi dibandingkan beton tanpa serat yang hanya mencapai 2,218 MPa, sementara pada panjang serat 7 cm dan 9 cm nilai kuat tarik belah justru menurun menjadi 2,194 MPa dan 2,005 MPa. Penelitian ini menyimpulkan bahwa semakin panjang ukuran serat yang digunakan, semakin berkurang kekuatan beton yang dihasilkan, diduga karena distribusi serat yang semakin tidak merata pada matriks beton seiring bertambahnya panjang serat (Sanggaria et al., 2023).

Zulkarnain mengkaji pengaruh penambahan abu cangkang kelapa sawit yang dikombinasikan dengan bahan tambah silica gel terhadap kekuatan tarik belah beton silinder. Penelitian ini menggunakan variasi komposisi campuran abu cangkang kelapa sawit dan silica gel hingga mencapai 25% dari berat bahan

pengikat, dengan pengujian tarik belah mengacu pada SNI 2491:2014. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu cangkang kelapa sawit dan silica gel secara konsisten meningkatkan nilai slump sekaligus kuat tarik belah beton, dengan kondisi optimum tercapai pada komposisi 25% yang menghasilkan kuat tarik belah sebesar 4,88 MPa. Temuan ini memperkuat indikasi bahwa limbah kelapa sawit, baik dalam bentuk serat maupun abu, memiliki potensi nyata untuk meningkatkan kuat tarik beton apabila dikombinasikan dengan bahan tambah yang tepat (Zulkarnain & Chair, 2022).

Sinambela melakukan penelitian mengenai pemanfaatan abu tandan kosong kelapa sawit (ATKS) sebagai material beton hijau untuk mendukung konstruksi berkelanjutan, dengan meninjau kuat tekan dan kuat tarik belah beton melalui substitusi sebagian semen. Penelitian ini menganalisis hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik belah menggunakan persamaan regresi linear guna memastikan konsistensi pola hasil pada berbagai persentase substitusi ATKS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan ATKS dapat mengurangi kebutuhan semen portland, berkontribusi terhadap penurunan emisi karbon, sekaligus memberikan pola hubungan regresi yang konsisten antara kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Penelitian ini menegaskan bahwa limbah kelapa sawit berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai material alternatif ramah lingkungan dalam industri konstruksi, khususnya dalam mendukung konsep beton hijau (green concrete) (Sinambela, 2025).

Berbeda dengan hasil-hasil di atas, (Roziandi & Farizal, 2022) menemukan bahwa penambahan TKKS sebagai serat pada perencanaan mutu beton K-225 di PT. Socfindo Kabupaten Nagan Raya justru menurunkan kuat tekan beton secara signifikan. Penelitian ini menggunakan variasi kadar serat TKKS sebesar 0%, 5%, dan 7%, dan hasilnya menunjukkan penurunan kuat tekan dari 117,111 kg/cm² pada beton tanpa serat menjadi hanya 56,667 kg/cm² dan 54,400 kg/cm² pada kadar 5% dan 7%, sehingga tidak memenuhi klasifikasi mutu beton rencana. Temuan ini menjadi catatan penting bahwa penambahan serat kelapa sawit tanpa memperhatikan kadar dan perlakuan yang tepat dapat berdampak merugikan terhadap kekuatan beton, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut yang secara

khusus mengoptimasi kadar serat kelapa sawit terhadap parameter kuat tarik belah, bukan sekadar kuat tekan semata.

2.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah butiran mineral hasil disintegrasi alami batuan atau hasil pemecahan batuan oleh mesin pemecah batu (*stone crusher*) yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) dan tertahan pada saringan No. 200 (0,075 mm). Agregat halus dapat berupa pasir alam yang diperoleh dari sungai, pantai, maupun gunung, atau pasir hasil olahan pabrik. Fungsi utama agregat halus dalam campuran beton adalah mengisi rongga-rongga di antara agregat kasar sehingga menghasilkan beton yang lebih padat, kompak, dan memiliki permukaan yang lebih halus, sekaligus membantu meningkatkan workability campuran beton segar.

Sifat fisis agregat halus seperti gradasi butiran, kadar lumpur, kadar air, berat jenis, dan modulus kehalusan (*fineness modulus*) harus memenuhi syarat mutu yang ditetapkan dalam SNI 03-1968-1990 dan SNI 03-2834-2000 agar tidak mengurangi kekuatan beton yang dihasilkan. Kadar lumpur yang melebihi batas maksimum (umumnya 5% dari berat agregat) dapat mengganggu ikatan antara pasta semen dan agregat, sehingga menurunkan kuat tekan maupun kuat tarik beton. Selain itu, gradasi agregat halus yang tidak memenuhi zona gradasi standar dapat menyebabkan campuran beton menjadi terlalu porous atau justru terlalu padat namun sulit dikerjakan, sehingga pemeriksaan sifat fisis agregat halus menjadi tahapan penting sebelum digunakan dalam campuran beton penelitian.

2.3 Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan butiran mineral yang tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm), dapat berupa kerikil alami hasil disintegrasi batuan maupun batu pecah (*split*) hasil pemecahan mekanis. Agregat kasar berperan sebagai kerangka utama (*skeleton*) dalam campuran beton yang menahan sebagian besar beban tekan yang bekerja pada struktur, sehingga kualitas agregat kasar sangat memengaruhi kuat tekan beton yang dihasilkan. Ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan biasanya disesuaikan dengan dimensi struktur dan jarak antar tulangan agar proses pengecoran dapat berjalan dengan baik tanpa terjadi penumpukan agregat (*segregasi*).

Selain ukuran, bentuk dan tekstur permukaan agregat kasar turut memengaruhi kekuatan dan workability beton. Agregat dengan bentuk bersudut (*angular*) dan permukaan kasar cenderung menghasilkan ikatan mekanis yang lebih baik dengan pasta semen sehingga meningkatkan kuat tekan, namun di sisi lain dapat menurunkan tingkat kelecakan campuran beton segar. Sebaliknya, agregat berbentuk bulat (*rounded*) dengan permukaan halus menghasilkan workability yang lebih baik namun ikatan dengan pasta semen relatif lebih lemah. Pemeriksaan sifat fisis agregat kasar seperti berat jenis, penyerapan air, keausan (*abrasi*), dan gradasi butiran perlu dilakukan mengacu pada SNI yang berlaku agar agregat yang digunakan memenuhi syarat mutu untuk campuran beton penelitian.

2.4 Air

Air merupakan salah satu bahan penyusun beton yang berfungsi sebagai media reaksi hidrasi semen, yaitu reaksi kimia yang mengubah pasta semen dari bentuk plastis menjadi keras, sekaligus memberikan sifat kelecakan (*workability*) pada campuran beton segar agar mudah dikerjakan, dituang, dan dipadatkan. Air yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi syarat mutu air untuk konstruksi sebagaimana diatur dalam SNI 03-6817-2002, yaitu bersih, tidak mengandung lumpur, minyak, garam, bahan organik, maupun zat kimia lain yang dapat mengganggu proses hidrasi semen dan menurunkan kekuatan beton.

Faktor air-semen (FAS), yaitu perbandingan berat air terhadap berat semen dalam campuran, merupakan salah satu variabel penting yang sangat memengaruhi kuat tekan dan kuat tarik beton. Semakin rendah nilai FAS pada rentang tertentu, umumnya menghasilkan beton dengan kekuatan yang lebih tinggi karena pasta semen yang terbentuk lebih padat dengan rongga pori yang lebih sedikit. Namun, FAS yang terlalu rendah dapat menyulitkan proses pengerjaan (*workability*) beton segar, sehingga diperlukan keseimbangan antara nilai FAS yang digunakan dengan tingkat kemudahan pengerjaan di lapangan, termasuk mempertimbangkan penggunaan bahan tambah kimia (*chemical admixture*) apabila diperlukan.

2.5 Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah (*splitting tensile strength*) merupakan salah satu metode pengujian tidak langsung untuk mengetahui kuat tarik beton, yang dilakukan dengan cara memberikan beban tekan pada sisi memanjang benda uji berbentuk silinder hingga benda uji terbelah menjadi dua bagian, mengacu pada SNI 2491:2014 (Zulkarnain & Chair, 2022). Metode ini dipilih karena pengujian tarik langsung (*direct tensile test*) pada beton relatif sulit dilakukan akibat kesulitan dalam pemasangan benda uji pada alat uji tarik tanpa menimbulkan tegangan tambahan pada titik jepitan.

Kuat tarik belah beton normal umumnya berkisar antara 7%–11% dari nilai kuat tekannya (Sinambela, 2025), dan menjadi parameter penting untuk mengevaluasi ketahanan beton terhadap retak akibat pembebanan, susut pengeringan, maupun perubahan suhu. Berbeda dengan kuat tekan yang cenderung stabil atau meningkat seiring bertambahnya kepadatan campuran, kuat tarik belah beton sangat dipengaruhi oleh keberadaan bahan yang mampu menahan perambatan retak, seperti serat. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat kelapa sawit pada kadar optimum tertentu mampu meningkatkan kuat tarik belah beton secara signifikan (Sanggaria & Mara, 2023), menjadikan kuat tarik belah sebagai parameter kunci yang relevan untuk diteliti lebih lanjut dalam upaya pengembangan beton ramah lingkungan berbasis limbah kelapa sawit.

2.5 Beton Serat (Fiber Reinforced Concrete)

Beton serat adalah beton yang campurannya ditambahkan serat (fiber) secara acak dengan tujuan memperbaiki sifat mekanik beton, khususnya kuat tarik, kuat lentur, dan daktilitas. Penambahan serat berfungsi menahan penyebaran retak akibat pembebanan sekaligus menahan retak dini yang timbul akibat panas hidrasi maupun susut pengeringan pada saat beton masih dalam kondisi plastis (Sanggaria & Mara, 2023). Serat yang digunakan dalam beton dapat berupa serat sintesis, seperti serat baja, polypropylene, dan glass fiber, maupun serat alami yang berasal dari tumbuhan, seperti serat bambu, serat sabut kelapa, serat ijuk, dan serat kelapa sawit. Penggunaan serat alami semakin diminati karena sifatnya yang terbarukan, mudah didapat, serta sejalan dengan upaya pengurangan limbah industri dan emisi karbon dalam sektor konstruksi.

Mekanisme kerja serat dalam menahan retak adalah dengan cara menjembatani (crack bridging) retak mikro yang terbentuk pada matriks beton, sehingga energi yang diperlukan untuk merambatkan retak menjadi lebih besar dan proses keruntuhan beton menjadi lebih daktil, tidak getas seperti pada beton normal tanpa serat. Efektivitas serat dalam meningkatkan kuat tarik beton sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya kadar serat yang digunakan, panjang serat, rasio aspek (aspect ratio) serat, orientasi penyebaran serat dalam campuran, serta kualitas ikatan antarmuka (interfacial bond) antara serat dan matriks beton. Kadar serat yang terlalu rendah tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan beton, sedangkan kadar yang berlebihan justru dapat menurunkan workability campuran dan menyebabkan distribusi serat menjadi tidak merata (bola serat/fiber balling), sehingga penentuan kadar optimum serat menjadi salah satu fokus utama dalam penelitian beton serat.

2.6 Serat Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas perkebunan terbesar di Indonesia yang menghasilkan limbah dalam jumlah sangat besar pada setiap proses produksinya. Dalam setiap proses produksi kelapa sawit dihasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebesar 23%, cangkang 8%, serat 12%, dan limbah cair 66% dari total produksi (Sinambela, 2025). Serat yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit, baik yang berasal dari tandan kosong (TKKS) maupun serabut buah, memiliki karakteristik fisik berupa helaian berwarna coklat kekuningan dengan panjang rata-rata sekitar 17 cm, bertekstur kuat dan keras, serta memiliki kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang cukup tinggi dibandingkan serat alami lainnya.

Pemanfaatan serat kelapa sawit sebagai bahan tambah pada beton memiliki dua tujuan utama, yaitu memperbaiki sifat mekanik beton, khususnya kuat tarik serta mengurangi timbunan limbah industri kelapa sawit yang apabila tidak dikelola dengan baik dapat berdampak negatif terhadap lingkungan (Opirina, 2019). Karakteristik serat kelapa sawit yang bersifat alami, tidak beracun, murah, dan mudah didapat menjadikannya salah satu alternatif serat alami yang potensial untuk dikembangkan dalam industri beton ramah lingkungan. Namun demikian, karena

serat kelapa sawit merupakan serat alami yang belum melalui perlakuan khusus (seperti perlakuan alkali) sebagaimana umum diterapkan pada beberapa serat alami lain, karakteristik permukaan dan daya serap airnya perlu diperhatikan secara khusus agar tidak mengganggu ikatan antara serat dan matriks beton, yang pada akhirnya dapat memengaruhi efektivitas peningkatan kuat tarik belah beton yang dihasilkan.

2.6.1 Klasifikasi dan Sumber Serat Kelapa Sawit

Serat yang dihasilkan dari tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) pada dasarnya tergolong sebagai serat lignoselulosa, yaitu serat alami yang tersusun dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang saling terikat membentuk struktur dinding sel serat. Berdasarkan bagian tanaman asalnya, serat kelapa sawit dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang berasal dari tandan buah setelah perontokan, serat pelepah (*frond fibre*), serat batang (*trunk fibre*), dan serat mesokarp atau serat perasan buah (*mesocarp fibre/press fibre*) yang merupakan sisa serabut daging buah setelah proses pengempaan (*screw press*) pada unit ekstraksi minyak di pabrik kelapa sawit.

Serat kelapa sawit yang digunakan pada penelitian ini berasal dari perasan buah kelapa sawit, sehingga secara klasifikasi tergolong sebagai serat mesokarp (*mesocarp fibre*). Serat jenis ini terpisah dari daging buah pada proses pengempaan di stasiun kempa (*screw press*), kemudian dipisahkan dari inti (*nut*) melalui unit depericarper sebelum akhirnya dibawa menuju *fibre cyclone* sebagai bahan bakar boiler pada kondisi normal di pabrik kelapa sawit. Secara morfologi, serat mesokarp berbentuk serabut halus menyerupai benang dengan panjang yang relatif pendek dan tidak seragam, mengikuti ukuran daging buah asalnya.

2.6.2 Komposisi Kimia Serat Kelapa Sawit

Sifat mekanik dan sifat fisik suatu serat alami, termasuk serat kelapa sawit, sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia penyusunnya, yaitu selulosa, hemiselulosa, lignin, serta komponen minor berupa protein, lemak, dan abu.

Selulosa merupakan polimer alam berbentuk rantai panjang unit glukosa yang berperan sebagai kerangka utama pemberi kekuatan dan kekakuan pada serat; semakin tinggi kandungan selulosa suatu serat, pada umumnya semakin tinggi pula kuat tarik yang dapat dihasilkan serat tersebut. Hemiselulosa bersifat amorf dan bercabang, berfungsi sebagai perekat antar mikrofibril selulosa, namun bersifat sangat higroskopis (mudah menyerap air) karena banyaknya gugus hidroksil ($-OH$) bebas pada strukturnya. Lignin merupakan senyawa polimer aromatik yang bersifat kaku dan hidrofobik, berfungsi sebagai perekat alami (matriks) yang mengikat selulosa dan hemiselulosa serta memberikan kekakuan dan ketahanan terhadap degradasi biologis pada serat.

Komposisi kimia serat kelapa sawit hasil pengempaan buah (mesocarp/press fibre) telah diteliti oleh Koba dan Ishizaki (1990) yang melakukan analisis kimia terhadap serat kelapa sawit sebagai limbah lignoselulosa dari industri minyak sawit. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa serat kelapa sawit terdiri atas holoselulosa (gabungan selulosa dan hemiselulosa), lignin, protein kasar, lemak, abu, dan komponen minor lainnya. Rekapitulasi komposisi kimia serat kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Komposisi kimia serat kelapa sawit

Komponen Kimia	Kandungan (%)
Holoselulosa (selulosa + hemiselulosa)	59,6
Lignin	28,5
Protein Kasar	3,6
Lemak (Lipid)	1,9
Abu (Ash)	5,6
Komponen Lain (impurities)	0,8

Berdasarkan Tabel 2.1, kandungan holoselulosa serat kelapa sawit sebesar 59,6% menunjukkan bahwa serat ini memiliki potensi kekuatan tarik yang cukup baik sebagai bahan penguat (reinforcement), sebagaimana umumnya serat alami berbasis lignoselulosa lainnya. Sebagai pembanding, Sreekala et al. (1997) yang meneliti serat kelapa sawit dari mesokarp buah secara lebih mendalam melaporkan kandungan holoselulosa pada kisaran 65,0–70,0% dan lignin pada kisaran 13,0–

25,0%, dengan variasi nilai yang dipengaruhi oleh umur tanaman, lokasi tumbuh, serta metode ekstraksi dan pengujian yang digunakan (Koba & Ishizaki, 1990; Sreekala et al., 1997).

Sifat hidrofilik yang timbul akibat gugus hidroksil pada selulosa dan hemiselulosa tersebut selaras dengan sifat serat kelapa sawit yang digunakan pada penelitian ini, yaitu belum melalui perlakuan alkali sebagaimana dijelaskan pada sub-bab 2.6 sebelumnya. Semakin tinggi kadar serat kelapa sawit yang ditambahkan ke dalam campuran beton, semakin besar pula jumlah gugus hidroksil bebas yang berpotensi menyerap air dari campuran, sehingga turut memengaruhi tingkat penyerapan air beton serta kualitas ikatan antara serat dengan pasta semen. Hal ini menjadi salah satu dasar teoritis yang mendukung kecenderungan penurunan kuat tarik belah beton seiring bertambahnya kadar serat kelapa sawit sebagaimana ditemukan pada hasil penelitian di Bab 4.

2.6.3 Pengaruh Komposisi Kimia terhadap Kinerja Serat

Secara umum, tiga komponen utama penyusun serat kelapa sawit memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kinerjanya sebagai bahan tambah pada beton. Kandungan selulosa yang tinggi memberikan potensi kekuatan tarik pada serat itu sendiri, sehingga secara teoritis mampu berkontribusi dalam menahan retak (*crack bridging*) pada matriks beton. Kandungan lignin berperan menjaga kekakuan dan bentuk serat selama proses pencampuran maupun perawatan (*curing*) beton. Namun demikian, kandungan hemiselulosa, protein, lemak, serta zat ekstraktif yang bersifat hidrofilik dan berminyak dapat menghambat penetrasi pasta semen ke permukaan serat, sehingga ikatan antarmuka serat-matriks menjadi lebih lemah dibandingkan serat yang telah diberi perlakuan permukaan (*surface treatment*).

Oleh karena itu, tanpa adanya perlakuan awal seperti perendaman alkali (NaOH) atau pencucian dengan pelarut untuk menghilangkan lapisan lilin dan minyak pada permukaan serat, penambahan serat kelapa sawit ke dalam campuran beton berpotensi tidak memberikan peningkatan kuat tarik belah secara optimal, bahkan dapat menurunkan kekuatan apabila kadar serat yang ditambahkan melebihi batas optimum, sejalan dengan yang dikemukakan pada penelitian-penelitian

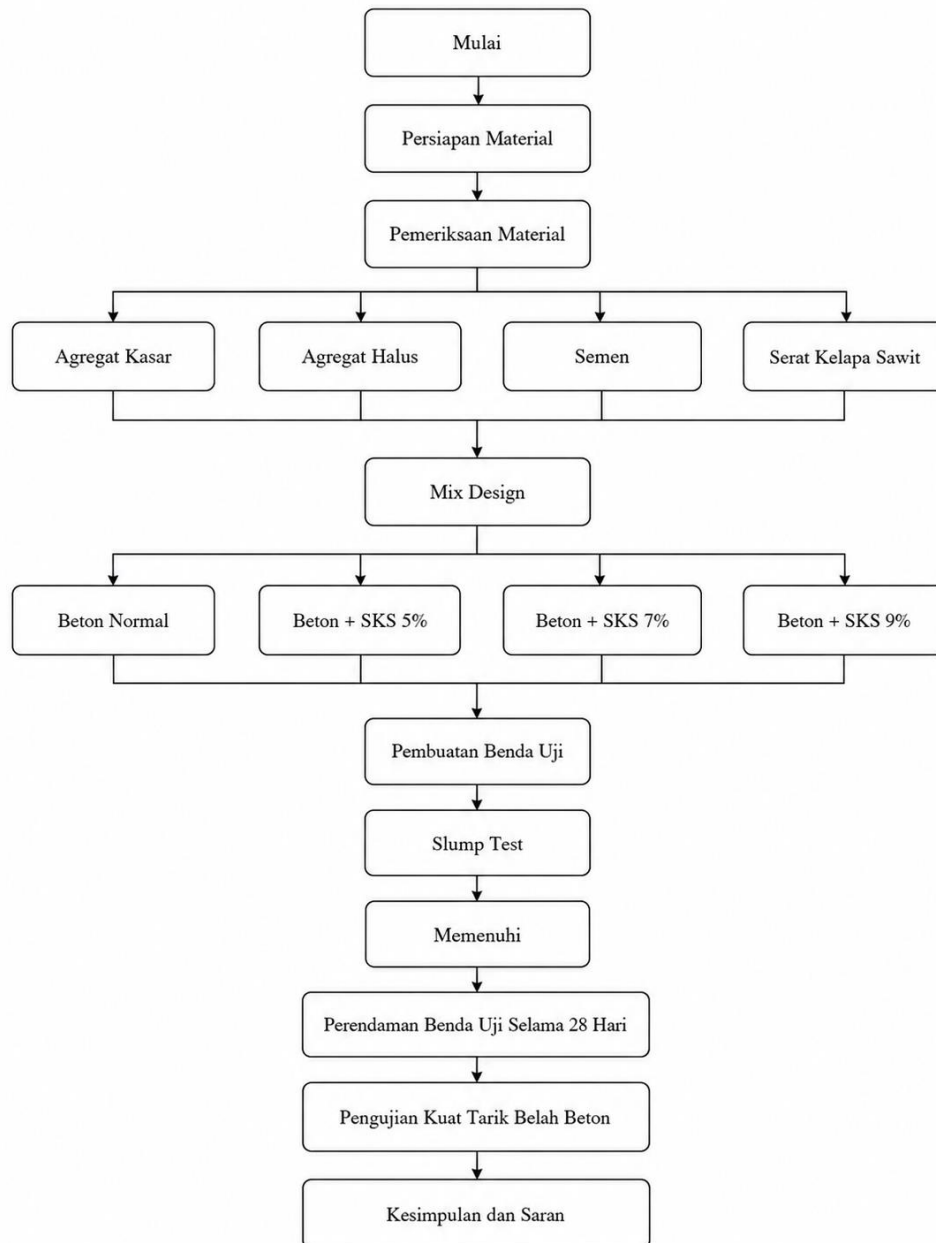
terdahulu mengenai pemanfaatan limbah kelapa sawit pada campuran beton (Zulkarnain & Putri, 2021).

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bagan Alir Penelitian

Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada bagan alir penelitian di bawah ini:



Gambar 3. 1 Bagan Alir

3.2 Lokasi Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jl. Muchtar Basri . Waktu penelitian yang dilakukan direncanakan kurang lebih selama 2 bulan dan dimulai pada akhir bulan Agustus 2025.

3.3 Sumber Dan Teknik Pengambilan Data

3.3.1 Data Primer

Dalam penelitian ini peneliti akan memperoleh data melalui data primer. Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari sumber pertama, baik melalui observasi maupun wawancara kepada informan. Data primer yang diperoleh dari hasil perhitungan dilaboratorium meliputi:

1. Analisa saringan agregat (SNI ASTM C 136: 2012)
2. Berat jenis dan penyerapan agregat Kasar (SNI 1969-2016)
3. Berat jenis dan penyerapan agregat Halus (ASTM C 128: 2004)
4. Pemeriksaan berat isi agregat (ASTM C 29: 2009)
5. Pemeriksaan kadar air agregat (SNI 1971-2011)
6. Pemeriksaan kadar lumpur (ASTM C177: 2013)
7. Perencanaan campuran beton (Mix design) (SNI 03-2834-2000)
8. Uji Slump Test (SNI 1972-2008)
9. Uji kuat tarik belah beton (SNI 2491-2014)

3.3.2 Data Skunder

Data sekunder adalah sumber yang tidak langsung dimana memberi data untuk peneliti, data tersebut didapatkan dari sumber yang bisa memberikan dukungan penelitian seperti dari literatur dan dokumentasi. Peneliti mendapatkan data sekunder dari penelitian terdahulu, artikel, jurnal dan buku, situs internet, serta informasi lainnya yang berkaitan dengan penelitian. Data sekunder yang akan peneliti ambil sebagai referensi pembuatan beton dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. SNI (Standart Nasional Indonesia) 03-2834-2000 tentang cara pembuatan

beton normal.

2. Jurnal-jurnal ilmiah serta buku-buku sebagai acuan yang mendukung jalannya penelitian ini.
3. Laporan praktikum beton, sebagai referensi untuk penunjang dalam penelitian ini. Sebuah permasalahan yang telah diuraikan akan terjawab dengan dilakukannya penelitian secara bertahap yang sebelumnya sudah dirangai dalam sebuah metode penelitian..

3.4 Bahan Dan Alat

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang maksimal, maka diperlukan peralatan dan bahan yang sudah tersedia di laboratorium teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Alat-alat yang digunakan sebagai berikut:

3.4.1 Bahan

Komponen bahan pembentuk beton yang digunakan yaitu:

1. Semen

Semen yang digunakan, dalam penelitian ini adalah semen tipe 1.



Gambar 3. 2 Semen

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang diperoleh dari daerah medan sekitar.



Gambar 3. 3 Agregat Halus

3. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah yang diperoleh dari daerah medan berukuran maksimum 20 mm.



Gambar 3. 4 Agregat Kasar

4. Serat Kelapa Sawit

Serat kelapa sawit yang digunakan dari perasan buah kepala sawit dengan bentuk serabut seperti benang.



Gambar 3. 5 Serat Kelapa Sawit

5. Air

Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.



Gambar 3. 6 Air

3.5.2 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Saringan agregat

Saringan agregat yang digunakan antara lain saringan No 4, No 8, No 16, No 30, No 50, dan No 100 Untuk agregat halus, sedangkan untuk agregat kasar yang digunakan antara lain saringan 1,1/2", 3/4", 3/8", dan No 4.



Gambar 3. 7 Saringan

2. Timbangan digital

Timbangan digital yang digunakan jenis timbangan analitik (*analytical balance*) Kapasitas timbangan yang digunakan adalah 30 kg dengan ketelitian 0,01 g.



Gambar 3. 8 Timbangan

3. Kuas

Kuas digunakan untuk membersihkan cetakan benda uji dari sisa beton atau debu, serta untuk mengoleskan minyak pelumas pada permukaan cetakan agar memudahkan proses pembongkaran benda uji.



Gambar 3. 9 Kuas

4. Sekop

Sekop tangan digunakan untuk memindahkan material. Alat ini terbuat dari baja, memiliki panjang sekitar 35 cm dan lebar bilah 10 cm,



Gambar 3. 10 Sekop

5. Terpal

Terpal plastik ini berfungsi sebagai alas kerja laboratorium untuk menampung, mengaduk, serta menjemur material agregat dan limbah serat agar tidak tercecer maupun terkontaminasi kotoran lantai.



Gambar 3. 11 Terpal

6. Pan

Pan digunakan sebagai wadah penampung sementara agregat saat proses penimbangan atau pengeringan.



Gambar 3. 12 Pan

7. Piknometer

Piknometer digunakan untuk menentukan berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus. Alat ini berbentuk botol logam dengan kapasitas 500 ml, dilengkapi tutup berlubang untuk mengeluarkan kelebihan air. Pengujian ini dengan suhu air $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$.



Gambar 3. 13 Pknometer

8. Sarung tangan

Sarung tangan digunakan untuk melindungi tangan dari kontak langsung dengan bahan kimia seperti semen maupun benda tajam saat proses pencampuran dan pembuatan benda uji mortar.



Gambar 3. 14 Sarung Tangan

9. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur banyak air yang digunakan dalam pencampuran beton.



Gambar 3. 15 Gelas Ukur

10. Cetakan benda uji silinder

Cetakan silinder baja berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm ini berfungsi sebagai wadah untuk mencetak benda uji beton guna pengujian kuat tarik belah di laboratorium.



Gambar 3. 16 Cetakan Benda Uji

11. Satu set alat slump test

Satu set alat *slump test* yang terdiri dari kerucut Abrams, pelat landasan, dan batang penusuk ini berfungsi untuk mengukur tingkat kelecakan (*workability*) serta kekentalan adukan beton segar di laboratorium.



Gambar 3. 17 Alat Slump Test

12. Bak perendaman

Bak perendam digunakan untuk proses curing benda uji beton selama periode tertentu sebelum dilakukan pengujian kuat tekan.



Gambar 3. 18 Bak Perendam

13. Oven

Oven laboratorium digunakan oven listrik pengering / *drying oven* dengan kapasitas 60-250 liter dan suhu maksimal 300 °C. Proses pengeringan dilakukan pada suhu $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam atau hingga berat sampel konstan.



Gambar 3. 19 Oven

14. Mesin penguji kuat tarik belah beton

Alat ini digunakan untuk mengukur kekuatan tekan maksimum 50 ton. Proses pengujian dilakukan sesuai (SNI 03-6825-2002, 2002) hingga benda uji hancur dan nilai beban maksimum digunakan untuk menghitung kuat tarik belah beton



Gambar 3. 20 Mesin penguji kuat tarik belah beton

3.5 Prosedur Pembuatan Benda Uji

Prosedur pembuatan benda uji dilakukan agar mendapatkan hasil penelitian yang baik sesuai dengan standar pengujian yang telah ditetapkan sebelumnya. Berikut adalah prosedur pembuatan benda uji.

3.5.2 Analisa Saringan Agregat

Analisa saringan agregat menggunakan alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan (SNI ASTM C 136:2012, 2012). Standar ini akan menjadi acuan dan pegangan dalam pengujian analisis saringan agregat halus dan agregat kasar, adapun tujuannya adalah untuk mengetahui gradasi butiran dari agregat halus dan agregat kasar termasuk agregat campuran.

Pengujian akan dilakukan dengan cara penyiapan contoh uji, penimbangan, pengeringan, dan penyaringan. Dimana satu set saringan yang digunakan meliputi; 76,2 mm (3"); 37,5 mm (1½"); 19,1 mm (¾"); 9,5 mm (⅜"); No.4 (4,75 mm); No.8 (2,36 mm); No.16 (1,18 mm); No.30 (0,600 mm); No.50 (0,300 mm); No.100 (0,150 mm); No.200 (0,075 mm). Hasil pengujian dinyatakan dalam persentase material yang tertahan pada setiap saringan, persentase total dari material yang lolos setiap saringan, dan persentase total dari material yang tertahan pada setiap saringan, serta indeks modulus kehalusan.

3.5.3 Kadar Air

Pemeriksaan kadar air bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah air yang terkandung dalam agregat. Semakin besar selisih antara berat agregat semula dengan agregat setelah dikeringkan maka semakin banyak kandungan air didalam agregat atau sebaliknya. Agregat yang basah akan membuat adonan beton juga menjadi basah.

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan (ASTM-C566-2004, 2004). Dengan rumus sebagai berikut:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100 \%$$

Keterangan :

W : Kadar air total agregat (gr)

W1 : Berat agregat kondisi SSD (gr)

W2 : Berat agregat kering oven (gr)

3.5.4 Berat Jenis dan Penyerapan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis dan penyerapan air pada agregat yang akan digunakan dalam menghitung volume beton. Pengujian ini mengacu kepada (ASTM-C127-2013, 2013) untuk agregat kasar dan (ASTM C128-2001, 2004) untuk agregat halus, dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_w = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \%$$
 (3.2)

dengan:

S_w = Persentase Penyerapan Air (%)

B_j = Berat Benda Uji Kondisi Jenuh Kering Permukaan Di Udara (gr)

B_k = Berat Benda Uji Kering Oven (gr)

3.5.5 Kadar Lumpur

Dalam penelitian ini, peneliti akan melakukan pengujian kadar lumpur, pengujian kadar lumpur pasir dilakukan untuk mengetahui kelayakan pasir yang akan digunakan dalam mortar. Pengujian ini mengacu pada (ASTM C177-2013, 2013). Perhitungan Kandungan lumpur berdasarkan Pers. 3.3

$$L = \frac{A - C}{A} \times 100 \%$$
 (3.3)

Keterangan :

L : Persentase lumpur dalam agregat (%)

A : Berat agregat sebelum dicuci (gr)

C : Berat agregat setelah dicuci dan kering oven (gr)

Persentase kandungan lumpur tidak boleh lebih dari 5%, jika didapat kadar lumpur dalam pasir lebih dari 5% maka pasir harus di cuci dahulu.

3.5.6 Berat Isi

Dalam penelitian ini, peneliti akan melakukan pengujian berat isi, pengujian berat isi agregat dilakukan untuk mengetahui volume produksi campuran beton, kadar semen yang digunakan dan kadar udara dalam beton dalam suatu campuran beton segar. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan panduan (ASTM C29-2009, 2009) berdasarkan Persamaan. 3.10 berikut:

$$M = \frac{M_c - M_m}{V_m} \quad (3.4)$$

dengan:

M = Berat isi agregat kering oven (kg/m^3)

M_c = berat wadah ukur yang diisi agregat (kg)

M_m = berat wadah ukur (kg)

V_m = volume wadah ukur (m^3)

3.6 Benda Uji Beton

Dalam penelitian ini akan dibutuhkan beberapa sampel benda uji berdasarkan variabel - variabel yang ditetapkan. Benda uji yang digunakan untuk diteliti kuat tariknya yaitu sebagai berikut:

1. Beton murni mutu K-300 ($f'_c = 24 \text{ MPa}$)
2. Beton + 5% serat kelapa sawit,
3. Beton + 7% serat kelapa sawit, dan
4. Beton + 9% serat kelapa sawit.

Tabel 3. 1 Pengujian yang akan dilakukan yaitu uji kuat tarik beton. Untuk jumlah sampel

Jenis Pengujian	Kode benda uji	Limbah Serat Kelapa Sawit (%)	Semen (%)	Agregat halus (%)	Agregat kasar (%)	Umur beton (Hari)	Jumlah Sampel (Buah)
Uji Kuat Tarik beton	BN	0%	100%	100%	100%	28	3
	BSKS 1	5%	100%	100%	100%	28	3
	BSKS 2	7%	100%	100%	100%	28	3
	BSKS 3	9%	100%	100%	100%	28	3
Jumlah							12

BSKS = Beton Serat Kelapa Sawit

3.7 Penambahan Serat Kelapa Sawit

Limbah serat kelapa sawit merupakan salah satu limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit dan jumlahnya cukup besar. Serat kelapa sawit yang tidak dimanfaatkan dengan baik dapat menumpuk dan berpotensi menimbulkan permasalahan terhadap lingkungan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi permasalahan tersebut adalah dengan memanfaatkan limbah serat kelapa sawit sebagai bahan tambahan dalam campuran beton.

Pada penelitian ini, serat kelapa sawit dimanfaatkan sebagai aditif pada campuran beton untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tarik belah beton. Serat kelapa sawit yang digunakan terlebih dahulu dicuci dan dikeringkan sebelum dicampurkan ke dalam beton. Variasi penambahan serat kelapa sawit yang digunakan adalah sebesar 5%, 7%, dan 9% terhadap berat beton. Selanjutnya, masing-masing variasi dibuat dalam bentuk benda uji silinder dan dilakukan pengujian kuat tarik belah pada umur beton 28 hari.. Proses daur ulang merupakan

salah satu cara untuk mengatasi permasalahan limbah bata. Pada penelitian ini, limbah beton yang akan digunakan adalah limbah uji kuat tarik belah beton silinder dengan mutu f'_{ct} 25 dari laboratorium teknik sipil universitas muhammadiyah sumatera utara.

3.8 Mix Design

Dalam penelitian ini peneliti akan melakukan mix design, mix design ini dilakukan untuk menentukan pemilihan bahan pada campuran dengan mempertimbangkan perbandingan dari setiap material beton agar mencapai syarat dengan kualitas sesuai dengan yang diharapkan. Metode mix design yang digunakan yaitu berdasarkan metode (SNI-03-2834-2000). Berikut ini perhitungan mix design.

- a. Menentukan data-data, antara lain meliputi :
 1. Kuat tarik yang disyaratkan f'_{ct} .
 2. Tipe semen yang digunakan.
 3. Tinggi slump yang disyaratkan.
 4. Ukuran butiran agregat maksimum yang digunakan.
 5. Jenis susunan agregat kasar.
 6. Gradasi susunan butiran agregat halus.
 7. Kondisi beton terlindungi atau tidak dari hujan dan terik matahari langsung
- b. Langkah-langkah perhitungan :
 1. Menentukan nilai deviasi standar
 2. Menentukan nilai tambah
 3. Menentukan kuat tarik beton rata-rata (F_{ct})
 4. Menentukan jenis semen yang digunakan
 5. Menentukan jenis agregat yang digunakan, meliputi:
 - a) Agregat halus (pasir)
 - b) Agregat kasar (kerikil)
 6. Menentukan Faktor Air Semen (fas)
 7. Menentukan kadar air bebas
 8. Menentukan kadar semen minimum

9. Mencari persentase dari agregat halus/pasir
10. Menghitung berat jenis agregat gabungan
11. Menghitung berat isi beton
12. Menghitung kadar agregat gabungan
13. Menghitung kadar masing-masing agregat
14. Menghitung proporsi campuran (setiap m³)
15. Menghitung proporsi campuran uji

3.9 Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat dengan menggunakan cetakan silinder dengan ukuran diameter 15 cm, tinggi 30 cm. Yang berjumlah 4 buah, untuk pengujian kuat tekan. Dalam proses pembuatan benda uji, dilakukan beberapa tahapan yang dilakukan. Tahapan tersebut adalah:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam proses pembuatan benda uji.
2. Menimbang satu persatu bahan sesuai dengan yang telah ditentukan.
3. Membersihkan cetakan dengan menggunakan sekrup dan kain lap, lalu mengolesinya dengan *vaseline* secukupnya.
4. Menghidupkan mesin pengaduk (*mixer*).
5. Masukkan bahan dimulai dari agregat kasar, agregat halus, dan semen.
6. Setelah tercampur rata masukkan limbah bata lalu diaduk hingga merata.
7. Masukkan air kedalam mesin pengaduk sesuai ukuran takaran yang digunakan.
8. Memeriksa *slump flow* pada beton.
9. Memasukkan campuran beton kedalam cetakan hingga penuh.
10. Meratakan permukaan pada cetakan dengan menggunakan sendok semen.
11. Mendinginkan beton selama 24 jam hingga beton mengeras dengan sempurna.
12. Setelah kering, buka cetakan beton dan rawat beton (*curing*) dengan memasukkan beton ke dalam bak perendam selama 28 hari.
13. Setelah direndam selama 28 hari, angkat beton dan keringkan.
14. Melakukan uji kuat tarik belah beton.

3.10 Pemeriksaan *Slump Test*

Tahapan pengujian *slump test*:

1. Membasahi kerucut Abrams dan plat sebesar 1m x 1m.
2. Angkat dan letakan plat pada bidang yang datar dan letakkan kerucut Abrams secara terbalik tepat di tengah plat.
3. Tuangkan campuran beton kedalam kerucut Abrams hingga penuh lalu ratakan menggunakan skrap dan diamkan selama 1 menit. Angkat kerucut Abrams secara tegak lurus secara perlahan-lahan sambil menghitung waktu persebaran adukan menggunakan *stopwatch*.
4. Mencatat waktu saat sebaran adukan mencapai ukuran diameter 50 cm dan hentikan *stopwatch* saat sebaran adukan berhenti serta mencatat waktunya.
5. Kemudian ukur lebar sebaran adukan beton menggunakan penggaris secara vertikal dan horizontal.
6. Besar diameter sebaran adukan menunjukkan tingkat kekentalan adukan tersebut, semakin besar diameter yang didapat maka semakin encer pula adukan tersebut.

3.11 Perawatan (*Curing*) Benda Uji

Proses perawatan (*curing*) untuk benda uji pada penelitian ini berdasarkan ketentuan (*Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field*, 2019). Proses ini dilakukan dengan tahapan cara perendaman benda uji kedalam bak perendam berisi air. Benda uji direndam setelah mencapai umur rencana (28 hari). Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses perendaman benda uji ini adalah sebagai berikut:

1. Mengeluarkan benda uji dari cetakan.
2. Pastikan benda uji tersebut sudah kering dengan sempurna.
3. Isi bak perendam dengan air bersih dari kran air Laboratorium Teknik
4. Masukkan benda uji secara hati-hati ke dalam bak perendam.
5. Diamkan rendaman benda uji tersebut pada umur 27 hari, lalu angkat pada umur 28 hari.
6. Tunggu benda uji mengering dan timbang benda uji tersebut.

3.12 Kuat Tarik Belah Beton

Dalam penelitian ini peneliti melakukan pengujian kuat Tarik beton. Kekuatan tarik dalam arah sejajar dengan sumbu silinder sangat kecil dan berkisar antara 8% dan 15% dari AS. Secara umum, penentuan kekuatan tarik beton selalu sulit karena hasil yang diperoleh dapat bervariasi dengan bahan yang diuji dan juga sangat bervariasi dibandingkan dengan hasil penentuan kekuatan tekan (Zulkarnain & Maulidza, 2024). Nilai kuat tarik belah beton dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi \times L \times D} \quad (3.1)$$

dengan:

- f_{ct} = Kuat Tarik Belah Beton (Mpa),
- P = Beban Maksimum Pada Saat Benda Uji Terbelah (N)
- L = Panjang Benda Uji Silinder (Mm)
- D = Diameter Benda Uji Silinder (mm).

Adapun langkah-langkah pengujian kuat Tarik beton (SNI 2491:2014, 2014) yaitu sebagai berikut :

1. Mengukur dan menimbang benda uji.
2. Memberi tanda pada benda uji berupa garis tengah pada tiap sisi ujung benda uji agar dapat memastikan kedua garis tengah tersebut berada dalam bidang aksial yang sama.
3. Meletakkan sebuah pelat atau batang penekan tambahan (bila digunakan) di atas meja tekan bagian bawah mesin uji tekan secara simetris.
4. Meletakkan sebuah dari dua buah bantalan bantu pembebanan yang terbuat dari kayu lapis di atas meja tekan bagian bawah dari mesin uji tekan pada Tengahtengahnya.
5. Letakkan benda uji di atas bantalan bantu sedemikian rupa hingga tanda garis tengah pada benda uji tegak lurus terhadap titik tengah bantalan bantu
6. pembebanan tersebut.
7. Meletakkan bantalan bantu pembebanan kedua di atas benda uji dan

kemudian meletakkan pelat atau batang penekan tambahan di atas bantalan tersebut bila digunakan.

8. Atur posisi pengujian agar mencapai kondisi yang sesuai.
9. Menjalankan mesin uji tekan dengan pembebanan dilakukan secara menerus tanpa sentakan dengan kecepatan pembebanan konstan yang berkisar antara 0,7 hingga 1,4 Mpa per detik sampai benda uji hancur/terbelah.
10. Mencatat waktu dan beban maksimum pengujian.

BAB 4

PEMBAHASAN DAN HASIL

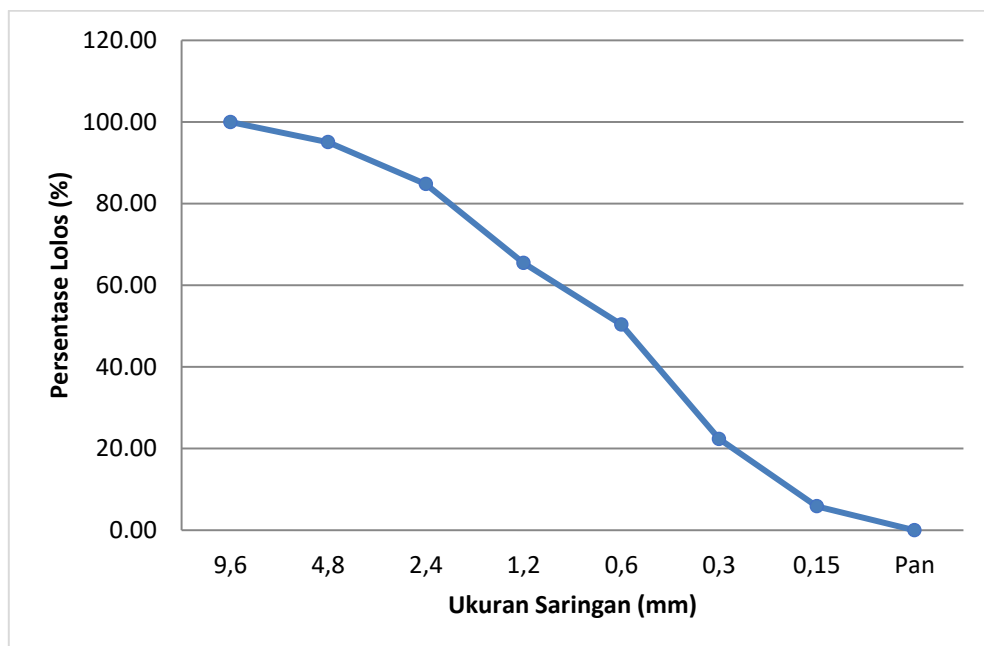
4.1 Hasil dan Analisa Pemeriksaan Material

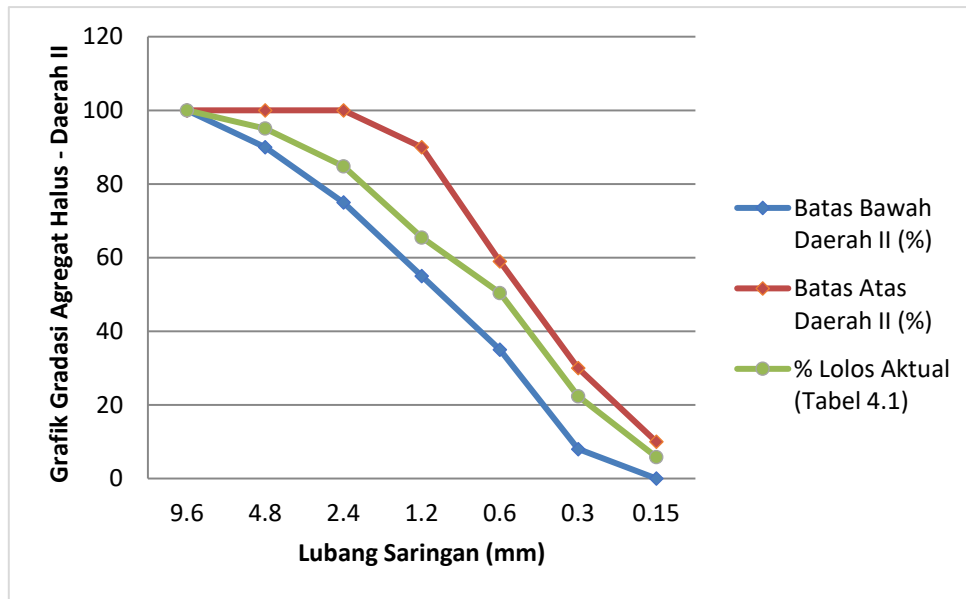
4.1.1 Agregat Halus

Pemeriksaan sifat fisik agregat halus dilakukan untuk mengetahui karakteristik agregat halus yang akan digunakan sebagai bahan penyusun beton, meliputi pengujian analisa saringan, berat jenis dan penyerapan air, berat isi, kadar air, dan kadar lumpur.

a) Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian analisa saringan dilakukan berdasarkan acuan SNI 03-1968-1990 tentang metode pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar.



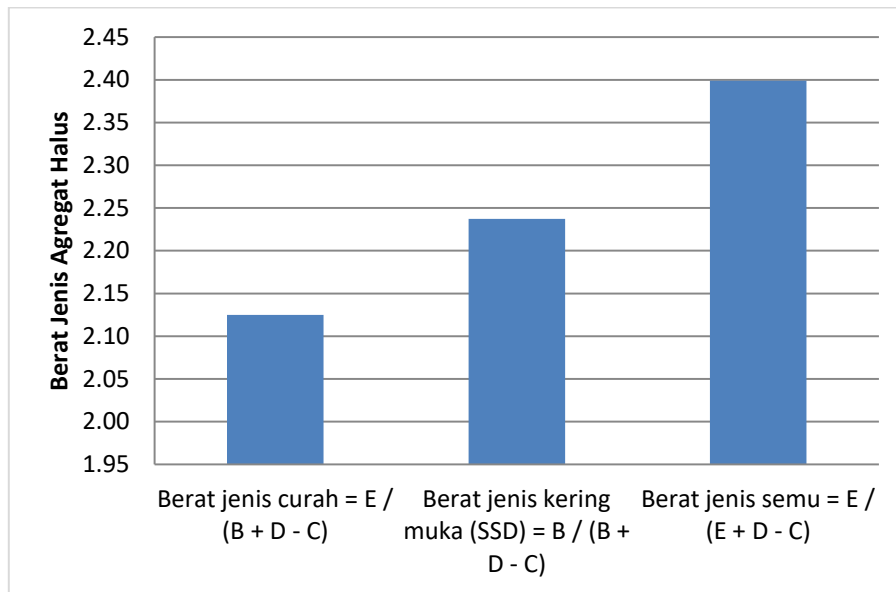


Gambar 4. 2 Gradasi Agregat Halus Daerah 2

Grafik gradasi agregat halus daerah 2 menyajikan hubungan antara persentase lolos kumulatif agregat halus dengan ukuran lubang saringan, dibandingkan terhadap batas bawah dan batas atas gradasi Daerah II sesuai SNI 03-1968-1990. Hasil pengujian menunjukkan persentase lolos berturut-turut sebesar 100% pada saringan 3/8", 95,05% pada saringan No.4, 84,8% pada saringan No.8, 65,45% pada saringan No.16, 50,4% pada saringan No.30, 22,35% pada saringan No.50, dan 5,85% pada saringan No.100.

Seluruh titik gradasi tersebut berada di antara garis batas bawah dan batas atas Daerah II, sehingga agregat halus yang digunakan pada penelitian ini tergolong sebagai pasir sedang (Daerah II) dan memenuhi syarat gradasi untuk campuran beton. Modulus halus butir (MHB) yang diperoleh dari data gradasi ini adalah sebesar 2,761, berada dalam rentang syarat 1,5–3,8, sehingga agregat halus dinyatakan memenuhi syarat kehalusan untuk digunakan pada penelitian.

b) Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus



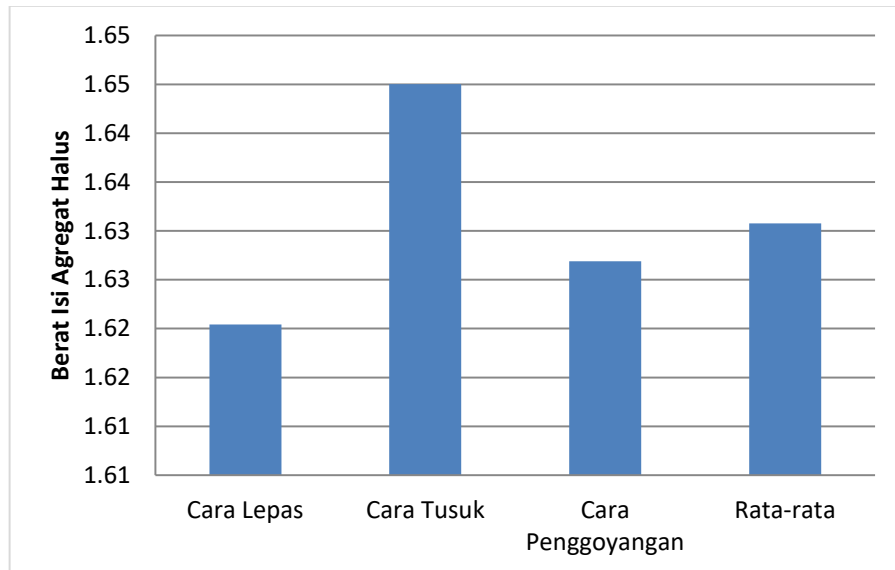
Gambar 4. 3 Berat Jenis Agregat Halus

Grafik di atas menyajikan perbandingan nilai pengujian berat jenis agregat halus (pasir) yang terbagi ke dalam tiga parameter pengujian, yaitu berat jenis curah (*bulk specific gravity*), berat jenis jenuh kering muka (*saturated surface dry / SSD*), dan berat jenis semu (*apparent specific gravity*). Dari grafik batang tersebut, diperoleh nilai berat jenis curah sebesar 2,12 dengan rumus perhitungan $E/(B + D - C)$, nilai berat jenis kering muka (SSD) sebesar 2,24 melalui formula $B/(B + D - C)$, serta nilai berat jenis semu tertinggi yang mencapai 2,40 berdasarkan perhitungan $E/(E + D - C)$.

Perbedaan nilai ini mencerminkan karakteristik volume pori dan massa jenis internal agregat pasir yang digunakan, di mana berat jenis semu selalu bernilai paling tinggi karena hanya memperhitungkan massa partikel padat tanpa volume pori yang dapat ditembus air. Nilai berat jenis SSD sebesar 2,24 dijadikan acuan utama dalam perhitungan proporsi rancangan campuran beton (*mix design*) guna memastikan koreksi volume adukan dan kebutuhan air bebas tetap akurat di lapangan.

c) Berat Isi Agregat Halus

Pengujian berat isi dilakukan dengan tiga cara, yaitu cara lepas, cara tusuk, dan cara penggoyangan.

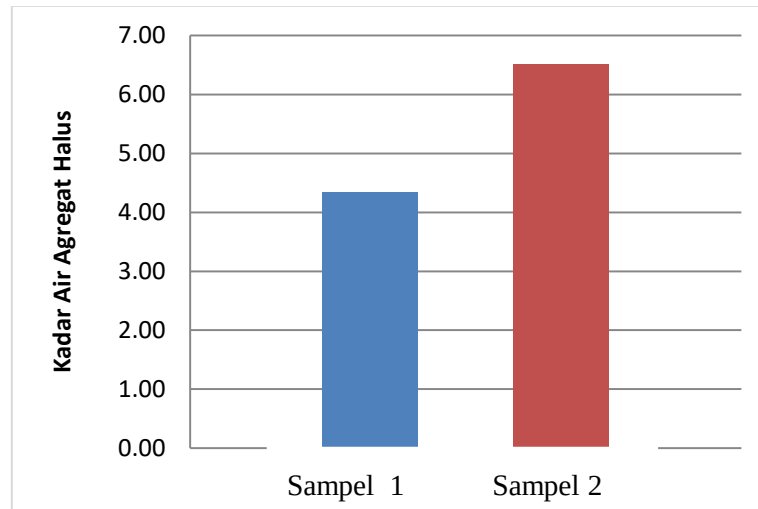


Gambar 4. 4 Berat Isi Agregat Halus

Grafik di atas menyajikan nilai hasil pengujian berat isi agregat halus (pasir) berdasarkan tiga metode perlakuan pemadatan yang berbeda, yaitu cara lepas, cara tusuk, dan cara penggoyangan, beserta nilai rata-ratanya. Berdasarkan grafik batang tersebut, pengujian dengan cara lepas menghasilkan nilai berat isi terendah yaitu sebesar 1,62 g/cm³, cara penggoyangan sebesar 1,63 g/cm³, dan cara tusuk menghasilkan nilai tertinggi sebesar 1,65 g/cm³, sehingga diperoleh nilai berat isi rata-rata agregat halus sebesar 1,63 g/cm³.

d) Kadar Air Agregat Halus

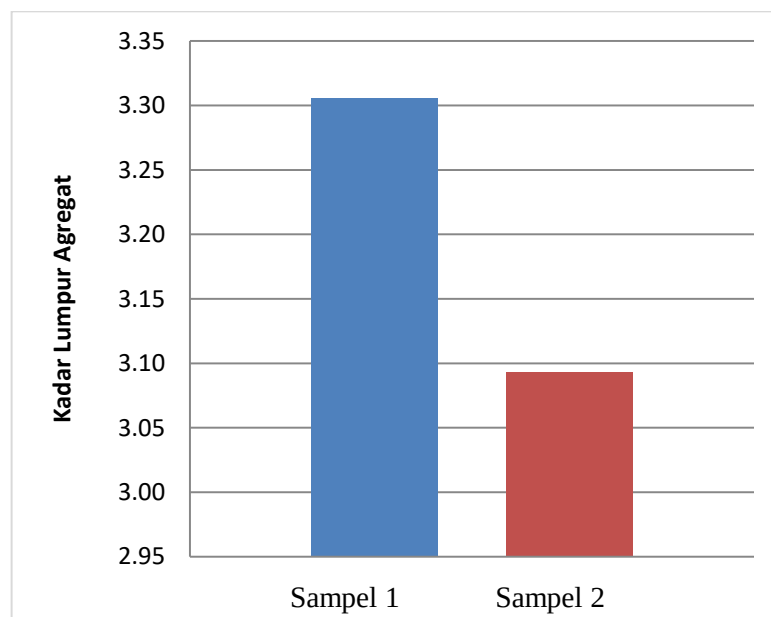
Nilai kadar air ini digunakan untuk koreksi takaran air pada adukan beton yang disesuaikan dengan kondisi agregat di lapangan.



Gambar 4. 5 Kadar Air Agregat Halus

e) Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian kadar lumpur pasir dilakukan untuk mengetahui kelayakan pasir yang akan digunakan dalam beton.



Gambar 4. 6 Kadar Lumpur Agregat

Grafik di atas menyajikan hasil pengujian kadar air agregat halus (pasir) pada dua sampel pengujian independen. Berdasarkan grafik batang tersebut, diperoleh nilai kadar air pada Sampel 1 sebesar 4,35% dan pada Sampel 2 sebesar 6,51%, sehingga menghasilkan nilai kadar air rata-rata agregat halus sebesar 5,43%.

Pengukuran kadar air ini bertujuan untuk mengetahui jumlah kandungan air bebas yang terperangkap pada permukaan maupun pori agregat sebelum dilakukan

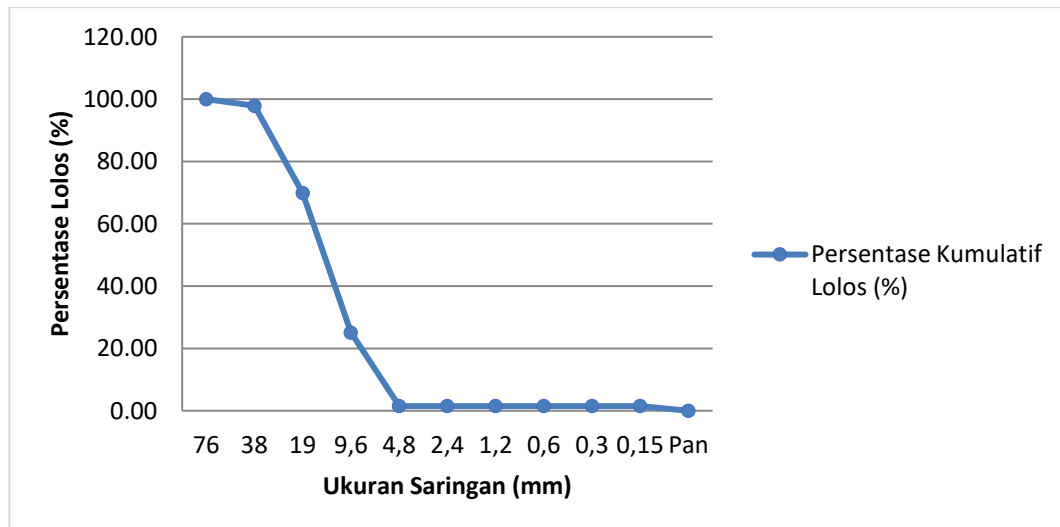
proses pencampuran beton. Nilai kadar air rata-rata sebesar 5,43% ini selanjutnya digunakan sebagai parameter penyesuaian koreksi takaran air dan berat agregat pada rancangan campuran (*mix design*), guna mencegah kelebihan air bebas yang dapat meningkatkan porositas serta menurunkan kuat tekan maupun kuat tarik beton.

4.1.2 Pemeriksaan Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan salah satu material penyusun beton dengan persentase terbesar dibandingkan material penyusun beton lainnya. Pengujian agregat kasar yang dilakukan sama dengan pengujian agregat halus, yaitu pengujian berat jenis dan penyerapan, pengujian analisa saringan, pengujian kadarair, dan kadar lumpur.

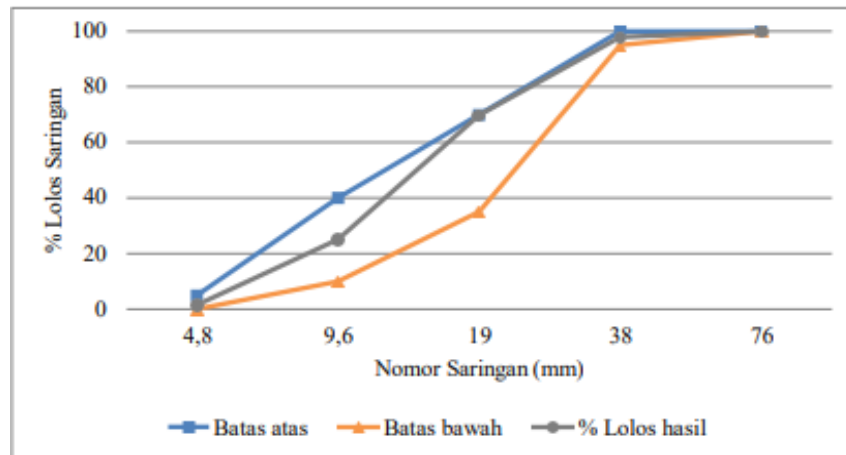
a) Analisa Saringan Agregat Kasar

Analisis saringan agregat ialah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan.



Gambar 4. 7 Gradasi Agregat Kasar

Hasil pengujian analisa saringan digunakan untuk menentukan daerah gradasi pada agregat kasar. Gradasi yang dihasilkan dari pengujian analisa saringan agregat kasar berada dalam batas yang disyaratkan yaitu pada daerah gradasi dengan jenis besar butir maksimum 40 mm. Berikut merupakan grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan lubang ayakan.



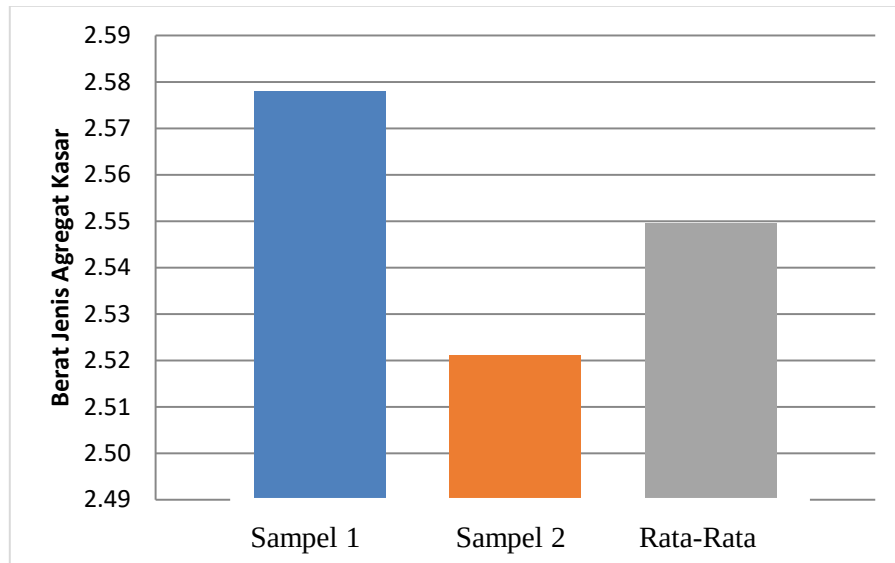
Gambar 4. 8 Grafik gradasi agregat kasar (Maks 40 mm)

Grafik gradasi agregat kasar menampilkan hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan ukuran saringan, mengacu pada batas gradasi butir maksimum 40 mm. Data pengujian menunjukkan persentase lolos kumulatif sebesar 100% pada saringan 3", turun menjadi 97,85% pada saringan 1½", 69,8% pada saringan 3/4", 25,1% pada saringan 3/8", dan hanya tersisa 1,5% pada saringan No.4 hingga No.100.

Sebagian besar butiran agregat kasar tertahan pada saringan berukuran besar, dengan persentase tertahan terbesar terjadi pada saringan 3/8" sebesar 44,7% dan saringan No.4 sebesar 23,6%. Pola distribusi butiran ini konsisten dengan karakteristik agregat kasar berbutir maksimum 40 mm, dengan modulus halus butir (MHB) yang dihasilkan sebesar 6,98, sesuai dengan nilai MHB yang umumnya tinggi pada agregat kasar.

b) Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Data pengujian berat jenis dan penyerapan air dan agregat kasar.



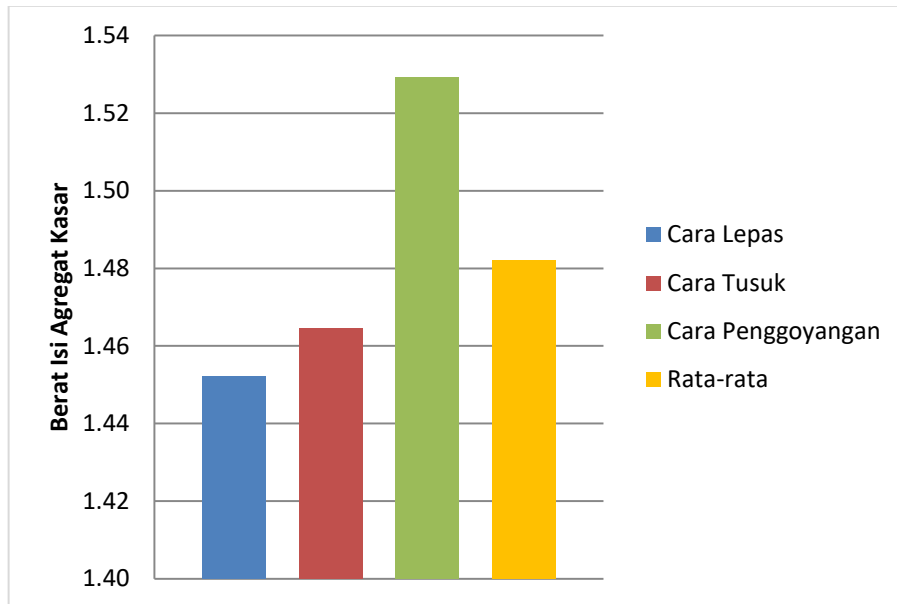
Gambar 4. 9 Berat Jenis Agregat Kasar

Grafik di atas menyajikan perbandingan nilai pengujian berat jenis agregat kasar (batu pecah/kerikil) pada dua sampel pengujian independen beserta nilai rata-ratanya. Berdasarkan grafik batang tersebut, diperoleh nilai berat jenis pada Sampel 1 sebesar 2,58 dan pada Sampel 2 sebesar 2,52, sehingga menghasilkan nilai berat jenis rata-rata agregat kasar sebesar 2,55.

Pengujian berat jenis agregat kasar bertujuan untuk menentukan densitas massa batuan serta proporsi volume padat agregat dalam campuran beton. Nilai rata-rata berat jenis sebesar 2,55 ini telah memenuhi batas standar teknis agregat normal (2,50–2,70) dan digunakan sebagai parameter dasar dalam perhitungan berat jenis agregat gabungan serta estimasi massa agregat kasar per satuan volume adukan pada perancangan campuran (*mix design*)

c. Berat Isi Agregat Kasar

Pengujian berat isi dilakukan dengan tiga cara, yaitu cara lepas, cara tusuk, dan cara penggoyangan.



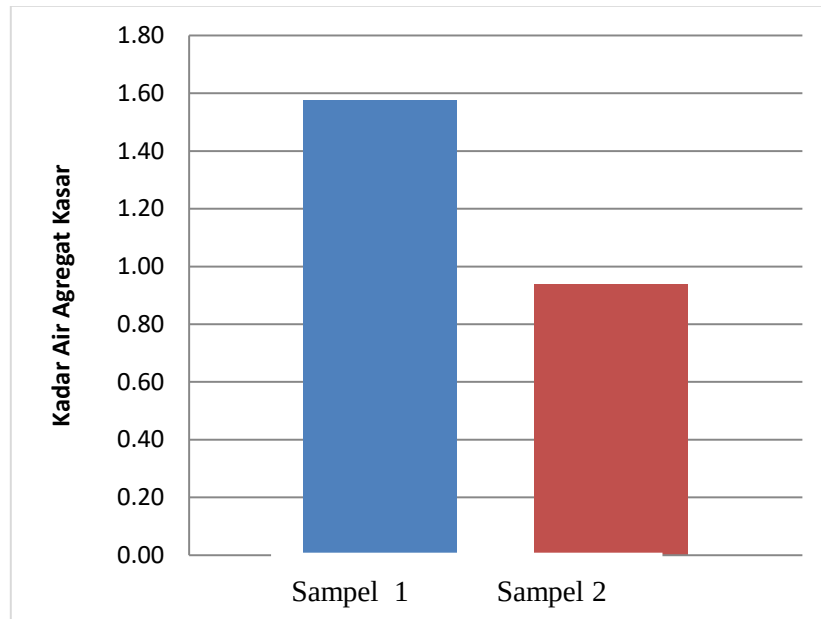
Gambar 4. 10 Berat Isi Agregat Kasar

Grafik di atas menyajikan perbandingan nilai pengujian berat isi agregat kasar (kerikil/batu pecah) berdasarkan tiga metode perlakuan pemadatan yang berbeda, yaitu cara lepas, cara tusuk, dan cara penggoyangan, beserta nilai rata-ratanya. Berdasarkan grafik batang tersebut, pengujian dengan cara lepas menghasilkan nilai berat isi sebesar 1,45 g/cm³, cara tusuk sebesar 1,46 g/cm³, dan cara penggoyangan menghasilkan nilai tertinggi sebesar 1,53 g/cm³, sehingga diperoleh nilai berat isi rata-rata agregat kasar sebesar 1,48 g/cm³.

Variasi nilai kerapatan antar-metode pengujian ini menunjukkan pengaruh tingkat kompaksi terhadap penataan partikel agregat di dalam wadah ukur, di mana proses penggoyangan dan penusukan mampu mereduksi volume rongga antar-butir batuan kasar sehingga meningkatkan kepadatan massanya. Nilai berat isi rata-rata sebesar 1,48 g/cm³ ini digunakan sebagai parameter teknis untuk mengestimasi volume produksi adukan, kebutuhan semen, serta kadar rongga udara campuran beton pada perancangan campuran (*mix design*).

d) Kadar Air Agregat Kasar

Berikut merupakan data hasil pengujian kadar air yang terdapat pada agregat kasar.

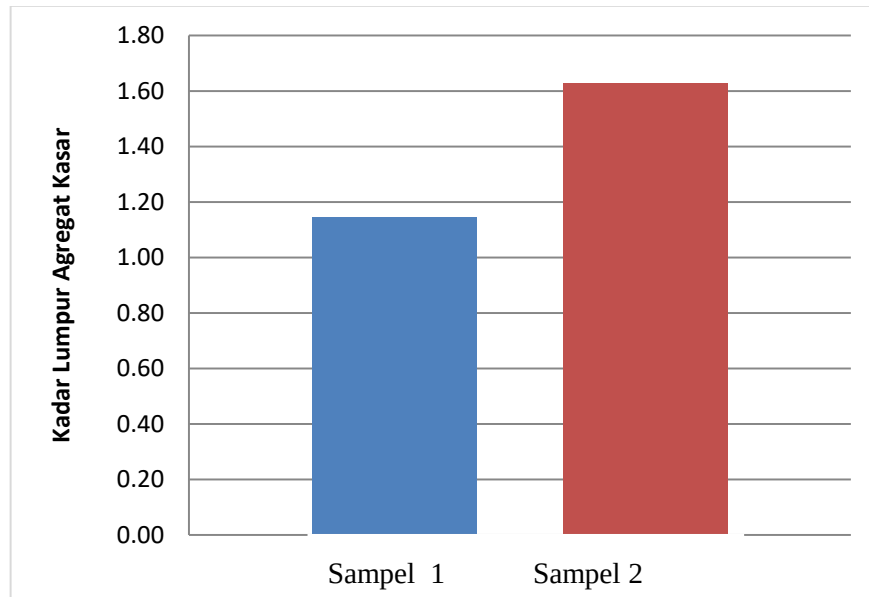


Gambar 4. 11 Kadar Air Agregat Kasar

Grafik di atas menyajikan nilai hasil pengujian kadar air agregat kasar (kerikil/batu pecah) pada dua sampel pengujian independen. Berdasarkan grafik batang tersebut, diperoleh nilai kadar air pada Sampel 1 sebesar 1,58% dan pada Sampel 2 sebesar 0,94%, sehingga menghasilkan nilai kadar air rata-rata agregat kasar (D_k) sebesar 1,26%.

e) Kadar Lumpur Agregat Kasar

Data pengujian kandungan lumpur yang terdapat pada agregat halus.



Gambar 4. 12 Kadar Lumpur Agregat Kasar

Grafik di atas menyajikan nilai hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar (batu pecah/kerikil) pada dua sampel pengujian independen. Berdasarkan grafik batang tersebut, diperoleh persentase kadar lumpur pada Sampel 1 sebesar 1,15% dan pada Sampel 2 sebesar 1,63%, sehingga menghasilkan nilai kadar lumpur rata-rata agregat kasar sebesar 1,39%.

4.2 Komposisi Campuran

Perhitungan *mix design* pada penelitian ini mengacu pada (SNI 03-2834, 2000) dengan mutu yang direncanakan yaitu 25 MPa. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan *mix design*:

1. Kuat tekan yang direncanakan = 25 MPa
2. Menentukan nilai tambah/margin (M)

Nilai tambah dapat dilihat pada SNI 03-2834, 2000, karena jumlah pengujian yang

di buat adalah 10 buah maka jumlah data uji tersebut kurang dari 15 buah, oleh karena itu kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f_{cr} harus diambil tidak kurang dari

$$(f'_{ct} + 12 \text{ MPa}).$$

3. Kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (f_{ct}) = $f'_{ct} + M$

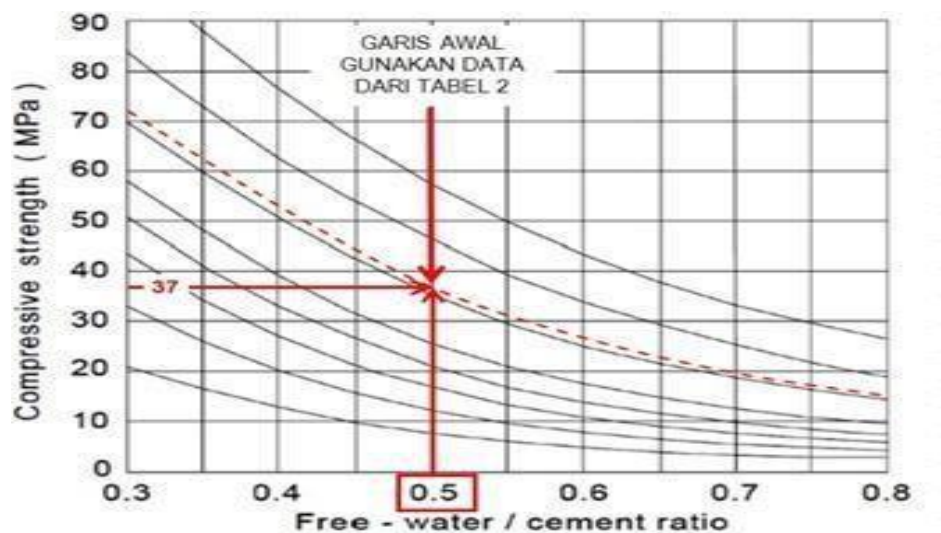
$$f_{ct} = 25 + 12$$

$$f_{ct} = 37 \text{ MPa}$$

4. Jenis semen ditetapkan menggunakan semen portland tipe 1.
5. Jenis agregat halus yang digunakan, yaitu alami, menggunakan pasir.
6. Agregat kasar yang digunakan yaitu batu pecah berasal dengan ukuran maksimal 40 mm.
7. Penetapan Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen ditentukan berdasarkan kuat tekannya. Pada Tabel 3.5, jenis semen tipe 1, dengan jenis agregat kasar batu pecah benda uji silinder memiliki kuat tekan sebesar 37 MPa pada umur 28 hari dengan nilai FAS yang digunakan

sebesar 0,5. Karena kuat tekan yang ditargetkan (f_{ct}) adalah 37 MPa, maka penarikan garis tidak diperlukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4. 13 Hubungan FAS dengan kuat tekan (SNI 03-2834, 2000).

8. Penetapan Kebutuhan Air

Penentuan kebutuhan air dapat digunakan, berikut urutan penentuan kebutuhan

air:

- a. Ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 40 mm.

b. Penetapan nilai slump, nilai *slump* berpengaruh terhadap *workability*, pada penelitian ini penetapan nilai *slump* sebesar 30-60 mm.

c. Maka diperoleh:

Batu tak dipecahkan / alami (W_h) = 160

Batu pecah (W_k) = 190

d. Kebutuhan air = $\frac{2}{3}w_h + \frac{1}{3}w_k$

$$\text{Kebutuhan air} = \frac{2}{3}160 + \frac{1}{3}190 = 170 \text{ kg} / \text{m}^3$$

9. Penetapan Jumlah Semen Minimum

Berdasarkan perhitungan didapatkan penentuan jumlah semen minimum sebagai

berikut : Jumlah semen = kebutuhan air / fas

$$\text{Jumlah semen} = 170 / 0,5$$

$$\text{Jumlah semen} = 340 \text{ kg/m}^3$$

Kadar semen minimum dengan jenis pembetonan beton di dalam ruangan bangunan serta beton berada pada lingkungan tidak korosif adalah 275 kg/m³.

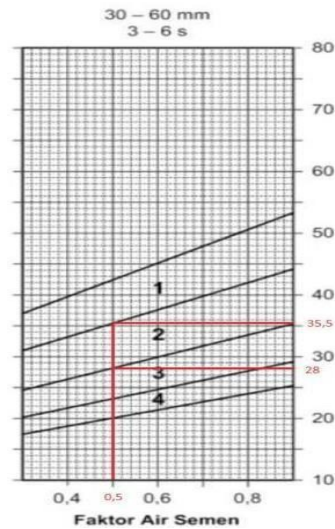
Berdasarkan perhitungan, jumlah semen lebih besar dibandingkan dengan kadar semen minimum maka digunakan jumlah semen yaitu 340 kg/m³.

10. Penentuan Persentase Agregat

a. Cara menentukan persentase agregat yang pertama yaitu kita harus dapat menentukan batas bawah dan batas atas terlebih dahulu pada Gambar 4.4 di bawah. Pertama menentukan titik faktor air semen (FAS) yaitu 0,5 berdasarkan perhitungan sebelumnya.

b. Setelah faktor air semen (FAS) sudah ditentukan lalu menarik garis lurus pada gradasi yang sudah ditentukan sebelumnya yaitu gradasi 2.

c. Setelah garis faktor air semen (FAS) sudah bersinggungan dengan garis batas gradasi 2, cara selanjutnya adalah dengan menarik garis tegak lurus ke arah kanan, sehingga didapatkan batas bawah dan batas atasnya



Gambar 4. 14 Penentuan persentase pasir terhadap kadar total agregat yang digunakan pada penelitian (butir maksimum 40 mm).

d. Dari Gambar 4.4 didapatkan sebagai berikut:

Batas bawah 28

Batas atas : 35,5

$$\text{Presentase agregat halus : } \frac{28+35,5}{2} = 32\%$$

$$\text{Presentase agregat kasar : } 100\% - 32\% = 68\%$$

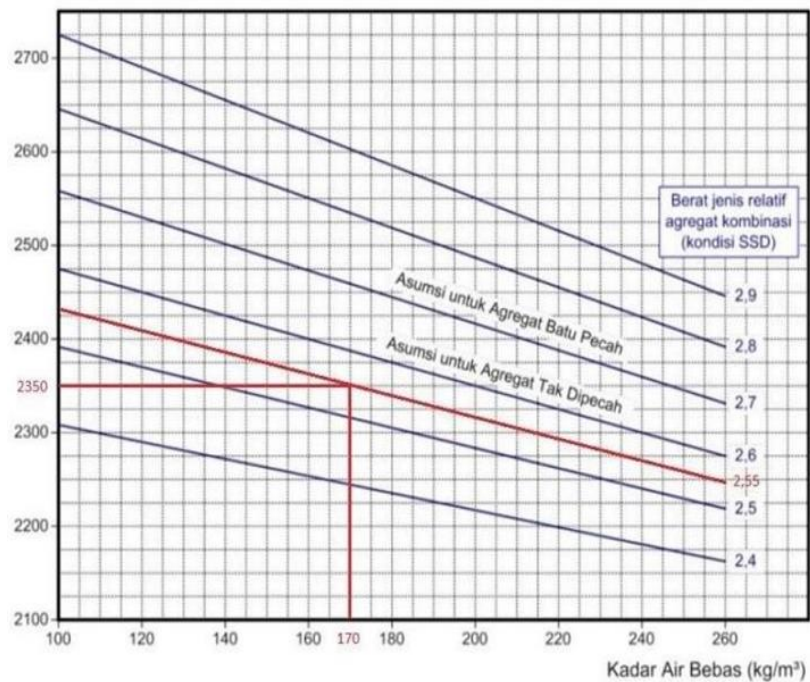
11. Berat Jenis Agregat

a. Berat jenis SSD pasir : 2,24

b. Berat jenis SSD krikil : 2,69

$$\text{c. Berat jenis gabungan : } \left(\frac{32}{100} \times 2,24 \right) + \left(\frac{68}{100} \times 2,69 \right) = 2,55$$

12. Penetapan Berat Isi Beton



Gambar 4. 15 Penentuan berat isi beton basah

Dari Gambar 4.5 diatas diperoleh berat isi beton adalah 2350 kg/m^3 .

13. Penentuan Berat Agregat Campuran.

Berat agregat campuran = Berat isi beton – berat semen – berat air

$$\text{berat agregat campuran} = 2350 - 340 - 170$$

$$\text{Berat agregat campuran} = 1840 \text{ kg/m}^3$$

14. Penentuan Berat Agregat Halus dan Agregat Kasar yang diperlukan.

$$\text{Berat agregat halus} = \frac{32}{100} \times 1840 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat agregat kasar} = 1840 - 588,8 = 1251,2 \text{ kg/m}^3$$

15. Proporsi Campuran

Kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan, maka jumlah semen, air, agregat halus dan agregat kasar yang dibutuhkan per m^3 adukan:

- Semen = 340 kg/m^3
- Air = 170 kg/m^3
- Pasir = $588,8 \text{ kg/m}^3$
- Krikil = $1251,2 \text{ kg/m}^3$

16. Koreksi Proporsi

Campuran Apabila agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan

proporsi campuran harus di koreksi terhadap kandungan air dalam agregat.
Koreksi proporsi campuran dapat di hitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Air} = B - (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} (D_k - D_a) \times \frac{D}{100}$$

$$\text{Agregat halus} = C - (C_k - C_a) \times \frac{C}{100}$$

$$\text{Agregat kasar} = D + (C_k - D_a) \times \frac{C}{100}$$

Dimana :

$$B \text{ adalah jumlah air} = 170 \text{ kg/m}^3$$

$$C \text{ adalah jumlah agregat halus} = 588,8 \text{ kg/m}^3$$

$$D \text{ adalah jumlah agregat kasar} = 1251,2 \text{ kg/m}^3$$

$$C_a \text{ adalah absorpsi agregat halus} = 5,32\%$$

$$D_a \text{ adalah absorpsi agregat kasar} = 2,55\%$$

$$C_k \text{ adalah kadar air agregat halus} = 5,43\%$$

$$D_k \text{ adalah kadar air agregat kasar} = 1,26\%$$

Maka proporsi terkoreksi adalah.

$$\begin{aligned} \text{a. Air} &= 170 - (5,43 - 5,32) \times \frac{588,8}{100} (1,26 - 2,55) \times \frac{1251,2}{100} \\ &= 185,49 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Agregat halus} &= 588,8 + (5,43 - 5,32) \times \frac{588,8}{100} \\ &= 589,45 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{c. Agregat kasar} = 1251,2 + (1,26 - 2,55) \times \frac{1251,2}{100}$$

Rekapitulasi *mix design* beton dengan mutu 25 Mpa menggunakan metode SNI 03-2834 – 2000 dapat dilihat pada Tabel 4.13 berikut :

Tabel 4. 1 Rekapitulasi mix design beton mutu 25 MPa

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tarik rencana (f'_{ct})	25	MPa
2	<i>Deviasi standart</i>	-	-
3	Nilai tambah	12	-
4	Kuat tarik beton ditargetkan (f_{ct})	37	MPa
5	Jenis semen	Tipe I	-
6	Faktor air semen (fas)	0,5	-
7	Ukuran agregat maksimum	40	Mm
8	Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (Wh)	160	-

9	Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (Wk)	190	-
10	Jumlah air yang digunakan	170	Kg/m ³
11	Bj agregat halus	2,24	-
12	Bj agregat kasar	2,69	-
13	Bj butiran agregat gabungan	2,55	-
14	Persen agregat halus	32	%
15	Persen agregat kasar	68	%
16	Berat isi beton	2350	Kg/m ³
17	Kadar agregat gabungan	1840	Kg/m ³
18	Kadar agregat halus	588,8	Kg/m ³
19	Kadar agregat kasar	1251,2	Kg/m ³
20	Jumlah semen yang digunakan	340	Kg/m ³
21	Jumlah air terkoreksi	185,49	Kg/m ³
22	Jumlah agregat halus terkoreksi	589,45	Kg/m ³
23	Jumlah agregat kasar terkoreksi	1235,1	Kg/m ³

Volume satu silinder benda uji (Ø15 cm, tinggi 30 cm) sebesar 0,0053 m³. Proporsi campuran untuk setiap benda uji dihitung dengan mengalikan kebutuhan tiap material per m³ terhadap volume silinder, ditambah faktor keamanan (*safety factor*) 110%, sehingga diperoleh kebutuhan material untuk satu benda uji beton normal sebagai berikut:

- a) Semen = 1,98 kg
- b) Air = 1,08 liter
- c) Agregat halus = 3,44 kg
- d) Agregat kasar = 7,20 kg
- e) Total = 13,7 kg

Proporsi Penambahan Serat Kelapa Sawit (SKS) per Benda Uji

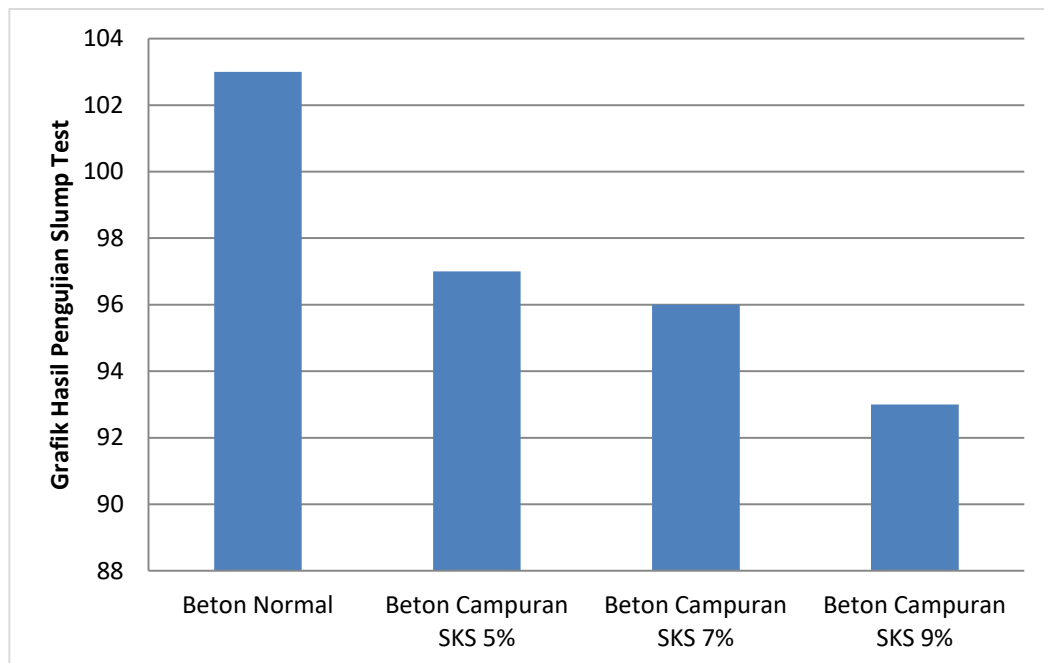
- a) Beton Normal (BN 0%) = 0 kg SKS
- b) Variasi SKS 5% (BSKS 1) = 0,68 kg SKS
- c) Variasi SKS 7% (BSKS 2) = 0,95 kg SKS
- d) Variasi SKS 9% (BSKS 3) = 1,23 kg SKS

4.3 Uji Beton

Uji beton pada penelitian ini terbagi menjadi pengujian pada beton segar berupa uji *slump*, dan pengujian pada beton keras berupa uji kuat tarik belah beton serta pengamatan penyerapan air.

4.3.1 Slump Test

Uji *slump* dilakukan untuk menentukan *workability* beton segar sekaligus mengetahui kecukupan air dalam campuran. Faktor yang memengaruhi hasil *slump test* di antaranya kadar air agregat, kadar lumpur agregat, faktor air semen, gradasi agregat, dan bahan tambah yang digunakan.



Gambar 4. 16 Grafik hasil pengujian slump test.

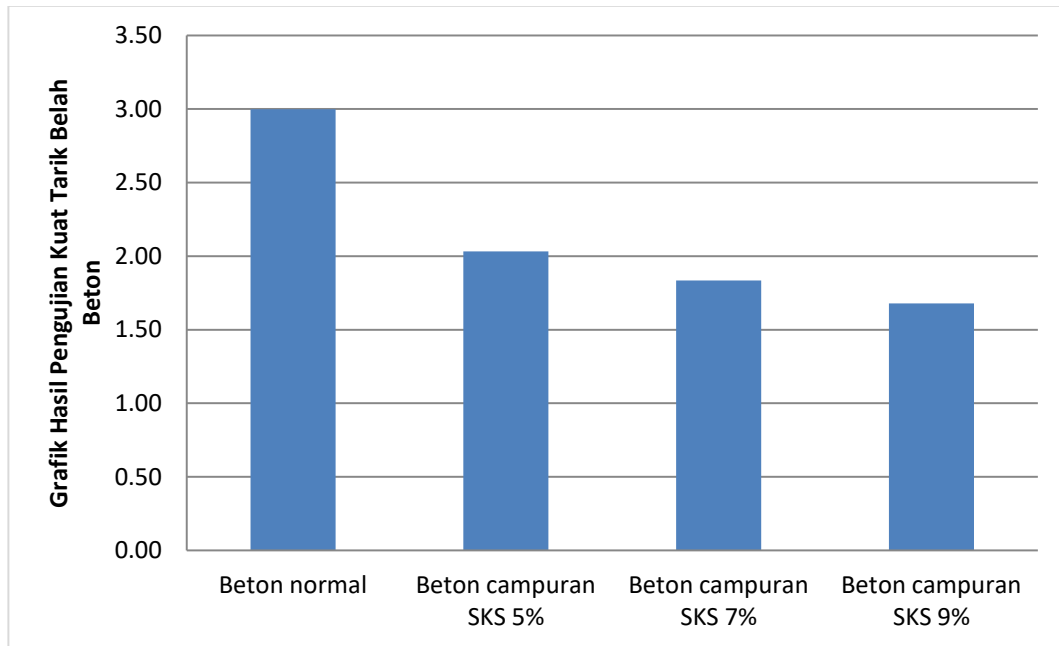
Grafik hasil pengujian slump menampilkan nilai slump pada beton normal dan beton dengan penambahan serat kelapa sawit (SKS) pada berbagai variasi kadar. Nilai slump beton normal diperoleh sebesar 103 mm, kemudian menurun menjadi 97 mm pada variasi SKS 5%, 96 mm pada variasi SKS 7%, dan 93 mm pada variasi SKS 9%.

Kecenderungan penurunan nilai slump ini menunjukkan bahwa penambahan serat kelapa sawit menurunkan tingkat *workability* atau kelecakan beton segar. Hal

ini diduga disebabkan oleh sifat serat kelapa sawit yang bersifat higroskopis, sehingga menyerap sebagian air bebas dalam campuran beton dan mengurangi kelecakan adukan seiring bertambahnya kadar serat yang ditambahkan.

4.3.2 Uji Kuat Tarik Belah Beton

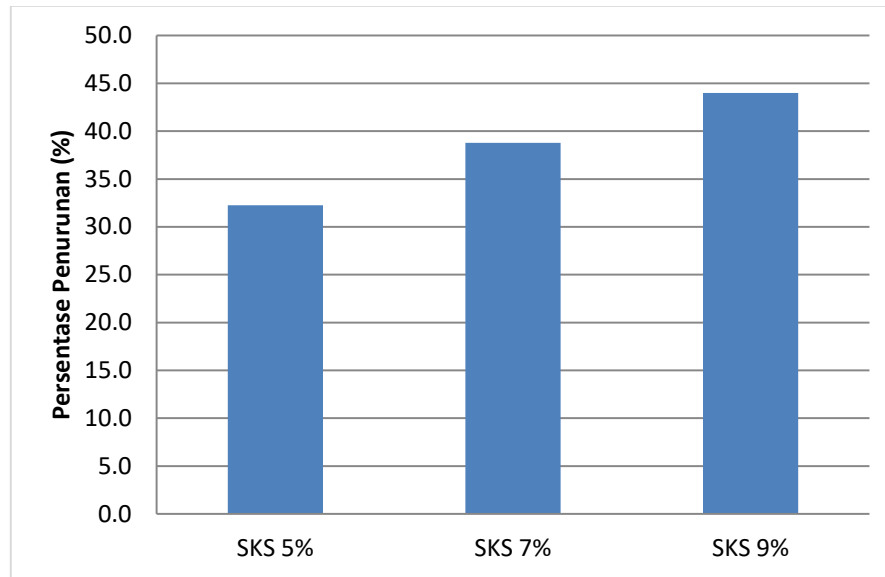
Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan pada benda uji berumur 28 hari yang telah melalui masa perawatan berupa perendaman dalam air dan pengeringan 1 hari sebelum pengujian, menggunakan alat *Compression Testing Machine*.



Gambar 4. 17 Grafik hasil pengujian kuat tarik belah beton.

Grafik hasil pengujian kuat tarik belah beton menampilkan nilai rata-rata kuat tarik belah untuk setiap variasi benda uji pada umur 28 hari, yang dihitung menggunakan persamaan $f_{ct} = 2P/(\pi \times L \times D)$ berdasarkan beban maksimum pada saat benda uji terbelah. Kuat tarik belah beton normal diperoleh sebesar 3,00 MPa, sedangkan pada variasi campuran SKS 5%, 7%, dan 9% masing-masing menurun menjadi 2,03 MPa, 1,84 MPa, dan 1,68 MPa.

Grafik ini menunjukkan tren penurunan kuat tarik belah beton yang konsisten seiring bertambahnya kadar serat kelapa sawit yang ditambahkan, dengan nilai kuat tarik belah tertinggi di antara variasi SKS terdapat pada kadar 5%. Kecenderungan ini mengindikasikan bahwa penambahan serat kelapa sawit tanpa perlakuan permukaan khusus (surface treatment) belum mampu meningkatkan kuat tarik belah beton dibandingkan beton normal.

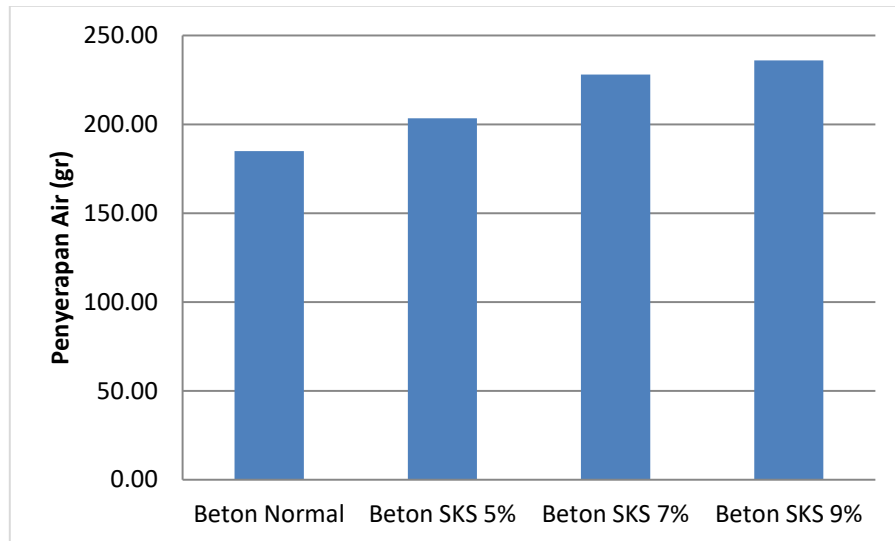


Gambar 4. 18 Grafik persentase penurunan mutu beton

Grafik persentase penurunan mutu beton menggambarkan besarnya penurunan kuat tarik belah beton pada setiap variasi campuran SKS terhadap kuat tarik belah beton normal. Persentase penurunan yang diperoleh berturut-turut sebesar 32,24% pada variasi SKS 5%, 38,79% pada variasi SKS 7%, dan 43,99% pada variasi SKS 9%.

Grafik ini memperlihatkan pola peningkatan persentase penurunan kuat tarik belah yang searah dengan bertambahnya kadar serat kelapa sawit dalam campuran beton, sehingga semakin tinggi kadar SKS yang ditambahkan, semakin besar pula penurunan kuat tarik belah beton yang dihasilkan dibandingkan beton normal.

4.3.3 Penyerapan Air pada Beton



Gambar 4. 19 Grafik Penyerapan Air pada Beton

Grafik rata-rata penyerapan air pada beton menunjukkan besarnya air yang diserap oleh benda uji beton selama proses perendaman, dihitung dari selisih berat beton sebelum dan sesudah perendaman. Nilai rata-rata penyerapan air pada beton normal diperoleh sebesar 185 gram, kemudian meningkat menjadi 203,33 gram pada variasi SKS 5%, 228 gram pada variasi SKS 7%, dan 236 gram pada variasi SKS 9%.

Kecenderungan peningkatan penyerapan air yang searah dengan bertambahnya kadar serat kelapa sawit ini sejalan dengan sifat hidrofilik serat kelapa sawit akibat gugus hidroksil pada selulosa dan hemiselulosa penyusunnya. Pola ini juga konsisten dengan tren penurunan kuat tarik belah beton yang terjadi pada variasi kadar SKS yang sama, mengindikasikan bahwa peningkatan penyerapan air turut berkontribusi terhadap melemahnya ikatan antara serat dan matriks beton.

Penurunan nilai kuat tarik belah beton seiring bertambahnya persentase serat kelapa sawit disebabkan oleh sifat alami serat yang belum melalui perlakuan kimiawi khusus (*surface treatment* seperti larutan alkali), di mana serat bersifat higroskopis dan hidrofilik akibat gugus hidroksil pada kandungan selulosa serta hemiselulosanya. Karakteristik ini membuat serat menyerap sebagian air bebas dari adukan, menurunkan kelecakan (*slump*), memicu terbentuknya pori atau rongga mikro di dalam beton (terbukti dari peningkatan penyerapan air beton dari 185 gr pada beton normal menjadi 236 gr pada variasi 9%), serta menghalangi adhesi

ikatan antarmuka (*interfacial bond*) antara pasta semen dan agregat, sehingga terjadi konsentrasi tegangan yang melemahkan ketahanan matriks beton terhadap beban tarik belah

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan penelitian yang telah dilakukan mengenai penggunaan serat kelapa sawit sebagai bahan tambah pada beton, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan serat kelapa sawit sebagai bahan tambah sangat berpengaruh terhadap kuat tarik belah beton. Kuat tarik belah beton normal diperoleh nilai rata-rata sebesar 3,00 MPa, sedangkan pada beton dengan campuran serat kelapa sawit 5% terjadi penurunan menjadi 2,03 MPa, pada campuran 7% menjadi 1,83 MPa, dan pada campuran 9% menjadi 1,67 MPa. Dengan demikian, nilai kuat tarik belah optimum di antara variasi campuran serat kelapa sawit terdapat pada variasi SKS 5% dengan nilai 2,03 MPa.
2. Persentase penurunan kuat tarik belah beton terhadap beton normal semakin besar seiring bertambahnya kadar serat kelapa sawit, yaitu sebesar 32,3% pada variasi SKS 5%, 39% pada variasi SKS 7%, dan 44,3% pada variasi SKS 9%. Berdasarkan penelitian ini, potensi penggunaan serat kelapa sawit sebagai bahan tambah belum menunjukkan hasil yang maksimal, karena kuat tarik belah yang dihasilkan justru menurun dibandingkan beton normal apabila digunakan sebagai bahan campuran beton.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini, dengan harapan penelitian selanjutnya dapat menghasilkan hasil yang lebih bervariasi dan maksimal, terdapat beberapa saran yang dapat disampaikan, antara lain:

1. Variasi campuran serat kelapa sawit memengaruhi kenaikan maupun penurunan nilai kuat tarik belah beton, sehingga perlu dilakukan riset lebih mendalam terhadap kandungan dan takaran serat kelapa sawit yang digunakan, serta perlu dicoba mix design yang berbeda sebagai perbandingan terhadap mutu beton yang dihasilkan.

2. Penelitian tugas akhir ini dapat dijadikan sebagai literatur tambahan maupun bahan evaluasi bagi penelitian tugas akhir selanjutnya, dengan harapan hasil penelitian berikutnya dapat menghasilkan karakteristik beton yang lebih baik dibandingkan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, W., Farooq, S. H., Usman, M., Khan, M., Ahmad, A., Aslam, F., Yousef, R. Al, Abduljabbar, H. Al, & Sufian, M. (n.d.). *Effect of Coconut Fiber Length and Content on Properties of High Strength Concrete*.
- Akhir, L. T., Bangsa, G. P., Hidayat, M. N., Teknik, F., Teknik, J., & Semarang, U. (2025). *Beton Ramah Lingkungan Menggunakan Serat Serabut Kelapa sebagai Bahan Tambah pada Campuran Beton*.
- Akhir, T., Serat, P., Kosong, T., Penguat, S., Campuran, P., Dengan, B., Beton, T. B., Studi, P., Sipil, T., Teknik, F., Muhammadiyah, U., & Utara, S. (2020). (*Studi Penelitian*).
- Arifin, M., Nisa, C., & Mariana, Z. T. (2018). Respon Pertumbuhan dan Hasil Kedelai Varietas Anjasmoro Terhadap Pemberian Bokashi Serabut Buah Kelapa Sawit. *Agroekotek View*, 1(1), 13–20.
- Bastika, R., Yustinus, Y., & Aida, N. (2024). Pengaruh Penambahan Limbah Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 13(1).
https://www.researchgate.net/publication/381974013_Pengaruh_penambahan_limbah_cangkang_kelapa_sawit_terhadap_nilai_kuat_tekan_beton
- Batu, A. (2004). *Standar Nasional Indonesia Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder (Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens)*. <https://www.bsn.go.id>
- Belakang, L., Masalah, I., & Masalah, B. (n.d.). *PENGARUH PENAMBAHAN SERAT SABUT KELAPA TERHADAP KUAT TEKAN*. 13–20.
- Bintang. (2023). Pengaruh Penambahan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Mortar. *Prosiding SEMDI-UNAYA (Seminar Nasional Multi Disiplin Ilmu Universitas Abulyatama)*.
<https://jurnal.abulyatama.ac.id/index.php/semdiunaya/article/view/4570>
- Hafiz, A., & Farizal, T. (2023a). *Studi penelitian kuat tekan beton menggunakan*

serabut kelapa sawit dan kawat ikat. 12(02), 128–136.

Hafiz, A., & Farizal, T. (2023b). Studi Penelitian Kuat Tekan Beton Menggunakan Serabut Kelapa Sawit Dan Kawat Ikat. *Jurnal MUSTEK ANIM HA*, 12(2), 128–136. <https://doi.org/10.35724/mustek.v12i02.5396>

Juwita, L. (2025). *Tugas akhir pengaruh penggunaan limbah serbuk besi sebagai pengganti sebagian pasir terhadap kuat tarik beton.*

Kartini, W. (n.d.). *Penggunaan Serat Polypropylene untuk Meningkatkan Kuat Tarik Belah Beton.*

lengkap], [Penulis tidak teridentifikasi. (2024). Kajian Kuat Tekan dan Kuat Lentur Material Rammed Earth dengan Penambahan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Dinding Bangunan. *Jurnal Rekayasa Proses*. <https://jurnal.ugm.ac.id/v3/jrekpros/article/view/13246>

Lumbangaol, P., & Panjaitan, Y. (2021). Pengaruh Penggunaan Limbah Tempurung Kelapa Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 25–31.

Nasional, B. S. (n.d.). *Standar Nasional Indonesia Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.*

Nindya, R., Hapsari, A., Yuhana, N., Anggraini, N. K., Istianti, M. A., Muna, Y. M., & Zulfiqor, R. A. (2024). Infrastruktur Ramah Lingkungan dengan Beton Limbah Batu Bata Penggaron dan Zat Adiktif Sikament-NN. *Jurnal Teknik Sipil*, 17(1), 30–45. <https://jurnal2.untagsmg.ac.id/index.php/JTS>

Novi, & Angjaya. (2013). *JM_JSS, JSS010302 Novi Angjaya 080211068.*

Opirina, L. (2019). Pengaruh Penambahan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Terhadap Kuat Tarik Belah Beton Normal. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*. <https://e-jurnal.pnl.ac.id/portal/article/view/1522>

Page, J. H., & Adiktif, Z. (2024). Infrastruktur Ramah Lingkungan dengan Beton Limbah Batu Bata. *Jurnal Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Semarang*, 17(1), 30–45.

- Pemanfaatan Limbah Bata Ringan Sebagai Bahan Tambah.* (n.d.).
- Prasanti, P. P., & Saelan, P. (2019). *Tinjauan Kembali Mengenai Batasan Gradasi Agregat Kasar dalam Campuran Beton.*
- Rocky, & Tanjung. (2018). *Peningkatan Nilai Kuat Tarik Belah Beton Dengan Campuran PET.* 10(1).
- Roziandi, R., & Farizal, T. (2022). Analisis Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Campuran Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Sebagai Serat Pada Perencanaan Mutu Beton K-225 Di PT. Socfindo Kabupaten Nagan Raya. *Jurnal Ilmiah Teknik Unida*, 3(2), 149–158. <https://doi.org/10.55616/jitu.v3i2.374>
- Sanggaria, O. J., Jandri, & Mara, J. (2023). Pengaruh Penambahan Serat Tandan Kelapa Sawit Terhadap Campuran Beton Normal. *Paulus Civil Engineering Journal (PCEJ)*, 5(4), 671–678. <http://ojs.ukipaulus.ac.id/index.php/pcej/article/view/13>
- Sanggaria, O. J., & Mara, J. (2023). *Pengaruh Penambahan Serat Tandan Kelapa Sawit Terhadap Campuran Beton Normal.* 5(4), 671–678.
- Saputra, H., Sahay, L., Studi, P., Sipil, T., Teknik, F., & Raya, U. P. (2021). *PENGARUH VARIASI KADAR SERAT DAN RASIO PANJANG TERHADAP DIAMETER (L / D) SERAT PELEPAH SAWIT TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH.* 4, 1–10.
- Sinambela. (2025). Pemanfaatan Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Material Beton Hijau untuk Mendukung Konstruksi Berkelanjutan. *Portal: Jurnal Teknik Sipil.* <https://e-jurnal.pnl.ac.id/portal/article/view/6461>
- Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.* (2019). ASTM International. https://doi.org/10.1520/C0031_C0031M-19
- Standard Specification for Concrete Aggregates.* (n.d.). ASTM International. <https://www.astm.org>
- Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and*

Absorption of Fine Aggregate. (n.d.). ASTM International.
<https://www.astm.org>

Vantri, V., & Asfarizal. (2025). Pengaruh Panjang Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit pada Pembuatan Palmfiber Reinforced Concrete terhadap Uji Lentur dan Struktur Makro. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 3(2).
<https://journal.aritekin.or.id/index.php/Venus/article/view/801>

Wijaya, D. W. T., Safitri, E., & Wibowo, W. (2024). Kajian Kuat Tarik Belah Pada Beton Bubuk Reaktif Dengan Pasir Kuarsa 30% dan Variasi Fly Ash sebagai Substitusi Parsial Semen. *Sustainable Civil Building Management and Engineering Journal*, 1(2), 10. <https://doi.org/10.47134/scbmej.v1i2.2964>

Yulian, H., Carlo, N., & Khaidir, I. (2023). Pengaruh Limbah Batu Bata Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(2), 322–334.
<https://doi.org/10.28932/jts.v19i2.6176>

Zulkarnain, F., & Chair, M. Y. (2022). Penambahan Abu Cangkang Kelapa Sawit Dengan Bahan Tambah Silica Gel Ditinjau Dari Kekuatan Tarik Belah Beton Silinder. *Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan Dan Sipil (JIMT)*, 8, 51–58.
<https://jurnalmahasiswa.umsu.ac.id/index.php/jimt/article/view/225>

Zulkarnain, F., & Putri, F. (2021). *Pengaruh Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Subtitusi Pengganti Semen Sikafume Terhadap Pengujian Kuat Tekan Beton Normal*. 3, 16–17.

LAMPIRAN

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Ukuran Saringan (SNI, mm)	Ukuran Saringan (ASTM)	Berat Tertahan (gram)	Persentase Tertahan (%)	Persentase Kumulatif Tertahan (%)	Persentase Kumulatif Lolos (%)
9,6	3/8"	0	0,00	0,00	100,00
4,8	No.4	99	4,95	4,95	95,05
2,4	No.8	205	10,25	15,20	84,80
1,2	No.16	387	19,35	34,55	65,45
0,6	No.30	301	15,05	49,60	50,40
0,3	No.50	561	28,05	77,65	22,35
0,15	No.100	330	16,50	94,15	5,85
Pan	-	117	5,85	100,00	0,00
Total	-	2000	100,00	276,10	-
Modulus Halus Butir (MHB)				2,761	

Tabel 4.2 Daerah Gradasi Agregat Halus

Nomor Saringan (No)	Lubang Saringan (mm)	Batas Bawah Daerah II (%)	Batas Atas Daerah II (%)	% Lolos Aktual
3/8"	9,6	100	100	100,00
4	4,8	90	100	95,05
8	2,4	75	100	84,80
16	1,2	55	90	65,45

30	0,6	35	59	50,40
50	0,3	8	30	22,35
100	0,15	0	10	5,85

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), (B)	500	500	500
Berat pasir kering mutlak, (E)	486	464	475
Berat piknometer berisi pasir dan air, (C)	948	943	945,5
Berat piknometer berisi air, (D)	673	665	669
Berat jenis curah = $E / (B + D - C)$	2,16	2,09	2,13
Berat jenis kering muka (SSD) = $B / (B + D - C)$	2,22	2,25	2,24
Berat jenis semu = $E / (E + D - C)$	2,30	2,49	2,40
Penyerapan air, $[(B - E) / E] \times 100\%$	2,88	7,76	5,32

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus

Uraian	Cara Lepas	Cara Tusuk	Cara Penggoyangan	Rata-rata
Berat contoh (gr)	25050	25430	25150	25210

Berat wadah (gr)	6400	6400	6400	6400
Berat contoh & wadah (gr)	31450	31830	31550	31610
Volume wadah (cm ³)	15458,9	15458,9	15458,9	15458,9
Berat isi = Berat contoh / Volume wadah (gr/cm ³)	1,620	1,645	1,627	1,631

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Uraian	Satuan	Sampel 1	Sampel 2
Berat contoh SSD dan berat wadah	gr	6991	7436
Berat contoh SSD	gr	6480	6928
Berat contoh kering oven & berat wadah	gr	6722	7012
Berat wadah	gr	511	508
Berat air = (SSD+wadah) - (Oven+wadah)	gr	269	424
Berat contoh kering = (Oven+wadah) - wadah	gr	6211	6504
Kadar air = Berat air / Berat contoh kering x 100%	%	4,33	6,52
Rata-rata		5,43 %	

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur pada Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2
Wadah (W1), gr	511	507
Berat pasir kering mutlak (W2), gr	500	500
Berat pasir + wadah setelah dicuci dan dioven lagi (W3), gr	995	992
Berat lumpur (W4) = W2 - (W3 - W1), gr	16	15
Kadar lumpur % = $W4 / (W3 - W1) \times 100\%$	3,31	3,09
Kadar lumpur rata-rata	3,20 %	

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Ukuran Saringan (SNI, mm)	Ukuran Saringan (ASTM)	Berat Tertahan (gram)	Persentase Tertahan (%)	Persentase Kumulatif Tertahan (%)	Persentase Kumulatif Lolos (%)
76	3"	0	0,00	0,00	100,00
38	1 1/2"	43	2,15	2,15	97,85
19	3/4"	561	28,05	30,20	69,80
9,6	3/8"	894	44,70	74,90	25,10
4,8	No.4	472	23,60	98,50	1,50
2,4	No.8	0	0,00	98,50	1,50
1,2	No.16	0	0,00	98,50	1,50
0,6	No.30	0	0,00	98,50	1,50

0,3	No.50	0	0,00	98,50	1,50
0,15	No.100	0	0,00	98,50	1,50
Pan	-	30	1,50	100,00	0,00
Total	-	2000	100,00	698,25	-
Modulus Halus Butir (MHB)				6,983	

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), (A)	6446	6466	6456
Berat kerikil kering mutlak, (B)	6284	6307	6295,5
Berat kerikil dalam air, (C)	4047	4060	4053,5
Berat jenis curah = $B / (A - C)$	2,62	2,62	2,62
Berat jenis kering muka (SSD) = $A / (A - C)$	2,69	2,69	2,69
Berat jenis semu = $B / (B - C)$	2,81	2,81	2,81
Penyerapan air, $[(A - B) / B] \times 100\%$	2,58	2,52	2,55

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar

Uraian	Cara Lepas	Cara Tusuk	Cara Penggoyangan	Rata-rata
Berat contoh (gr)	22450	22640	23640	22910

Berat wadah (gr)	6400	6400	6400	6400
Berat contoh & wadah (gr)	28850	29040	30040	29310
Volume wadah (cm ³)	15458,9	15458,9	15458,9	15458,9
Berat isi = Berat contoh / Volume wadah (gr/cm ³)	1,452	1,465	1,529	1,482

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Uraian	Satuan	Sampel 1	Sampel 2
Berat contoh SSD dan berat wadah	gr	6684	6597
Berat contoh SSD	gr	6191	6029
Berat contoh kering oven & berat wadah	gr	6588	6541
Berat wadah	gr	493	568
Berat air = (SSD+wadah) - (Oven+wadah)	gr	96	56
Berat contoh kering = (Oven+wadah) - wadah	gr	6095	5973
Kadar air = Berat air / Berat contoh kering x 100%	%	1,58	0,94
Rata-rata		1,26 %	

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2
Wadah (W1), gr	494	566
Berat kerikil kering mutlak (W2), gr	1500	1500
Berat kerikil + wadah setelah dicuci dan dioven lagi (W3), gr	1977	2042
Berat lumpur (W4) = W2 - (W3 - W1), gr	17	24
Kadar lumpur % = $W4 / (W3 - W1) \times 100\%$	1,15	1,63
Kadar lumpur rata-rata	1,39 %	

Tabel 4.12 Rincian Berat Serat Kelapa Sawit (SKS)

Persentase Serat Kelapa Sawit (%)	Banyaknya Serat Kelapa Sawit yang Digunakan (kg)
5	0,685
7	0,959
9	1,233

Tabel 4.13 Rekapitulasi Mix Design Beton Mutu 25 MPa (SNI 03-2834-2000)

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan rencana (f_c)	25	MPa
2	Deviasi standar (jumlah benda uji < 15 buah)	-	-

3	Nilai tambah (margin), M	12	-
4	Kuat tekan beton rata-rata ditargetkan (fcr) = f'c + M	37	MPa
5	Jenis semen	Tipe I (Portland)	-
6	Faktor Air Semen (FAS)	0,5	-
7	Ukuran agregat maksimum	40	mm
8	Perkiraan jumlah air agregat alami/tak dipecah (Wh)	160	-
9	Perkiraan jumlah air agregat batu pecah (Wk)	190	-
10	Kebutuhan air = $\frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k$	170	Kg/m ³
11	Berat jenis (SSD) agregat halus	2,24	-
12	Berat jenis (SSD) agregat kasar	2,69	-
13	Berat jenis butiran agregat gabungan	2,54	-
14	Persen agregat halus	32	%
15	Persen agregat kasar	68	%
16	Berat isi beton	2350	Kg/m ³
17	Kadar agregat gabungan	1840	Kg/m ³
18	Kadar agregat halus	588,8	Kg/m ³
19	Kadar agregat kasar	1251,2	Kg/m ³
20	Jumlah semen = kebutuhan air / FAS	340	Kg/m ³
21	Jumlah air terkoreksi	185,56	Kg/m ³
22	Jumlah agregat halus terkoreksi	589,42	Kg/m ³

23	Jumlah agregat kasar terkoreksi	1235,02	Kg/m ³
Kebutuhan Material per Benda Uji Silinder (D = 15 cm, L = 30 cm)		Nilai	Satuan
Volume 1 benda uji		0,0053	m ³
Faktor keamanan (safety factor)		1,10	-
Semen per benda uji		1,983	kg
Air per benda uji		1,082	liter
Agregat halus per benda uji		3,437	kg
Agregat kasar per benda uji		7,202	kg
Total berat campuran per benda uji (beton normal)		13,704	kg

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Slump

No	Variasi Beton	Slump Test (mm)
1	Beton Normal	103
2	Beton Campuran SKS 5%	97
3	Beton Campuran SKS 7%	96
4	Beton Campuran SKS 9%	93

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

No	Benda Uji	Umur (Hari)	Beban Maksimum (kN)	Panjang L (mm)	Diameter D (mm)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Nilai Rata-rata (MPa)
----	-----------	-------------	---------------------	----------------	-----------------	------------------------	-----------------------

1	Beton normal	28	196,54	300	150	2,78	3,00
		28	226,68	300	150	3,21	
		28	212,61	300	150	3,01	
2	Beton campuran SKS 5%	28	147,12	300	150	2,08	2,03
		28	132,14	300	150	1,87	
		28	151,56	300	150	2,14	
3	Beton campuran SKS 7%	28	135,33	300	150	1,91	1,84
		28	124,76	300	150	1,76	
		28	129,12	300	150	1,83	
4	Beton campuran SKS 9%	28	122,22	300	150	1,73	1,68
		28	115,23	300	150	1,63	
		28	118,67	300	150	1,68	

Ringkasan Nilai Rata-rata (dasar Gambar 4.7):

Variasi Beton	Kuat Tarik Belah Rata-rata (MPa)
Beton normal	3,00
Beton campuran SKS 5%	2,03

Beton campuran SKS 7%	1,84
Beton campuran SKS 9%	1,68

Tabel 4.16 Persentase Perubahan Mutu Beton (Kuat Tarik Belah) Umur 28 Hari

Campuran Beton	Persentase Penurunan Kuat Tarik Belah Beton (%)
SKS 5%	32,24
SKS 7%	38,79
SKS 9%	43,99

Tabel 4.17 Analisa Penyerapan Air

Sampel Umur Beton 28 Hari	No	Berat Beton Sebelum (gr)	Berat Beton Sesudah (gr)	Penyerapan Air (gr)	Rata-rata (gr)
Beton Normal	1	12755	12924	169	185,00
	2	12926	13117	191	
	3	12575	12770	195	
Beton SKS 5%	1	12040	12250	210	203,33
	2	11930	12145	215	
	3	12245	12430	185	
Beton SKS 7%	1	11660	11889	229	228,00
	2	11810	12035	225	
	3	11895	12125	230	

Beton SKS 9%	1	11499	11742	243	236,00
	2	11620	11850	230	
	3	11560	11795	235	

Ringkasan Nilai Rata-rata (dasar Gambar 4.9):

Variasi Beton	Rata-rata Penyerapan Air (gr)
Beton Normal	185,00
Beton SKS 5%	203,33
Beton SKS 7%	228,00
Beton SKS 9%	236,00



Gambar L. 3 Penjemuran Agregat



Gambar L. 4 Pemeriksaan SKS



Gambar L. 5 Pemeriksaan Agregat Halus



Gambar L. 6 Pemeriksaan Beton Setelah Perendaman



Gambar L. 7 Pemeriksaan Benda Uji Sebelum Di Keeping



Gambar L.8 Proses Keeping



Gambar L. 9 Benda Uji Setelah di Keeping

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Pribadi

Nama : Zulfikram Sadewa Silitonga
Tempat/Tanggal Lahir : Kolonodale, 07 April 2001
Jenis Kelamin : Laki - Laki
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia
Anak ke : 1 (Pertama) dari 3 (Tiga) Bersaudara
Alamat : Jl. Matandau, Kel.Bahontula, Kec. Petasia,
Kabupaten Morowali Utara, Sulawesi Tengah
94971
No. Telepon : 082218999939
E-Mail : sadewa.sltnga.zs@gmail.com

Data Orangtua

Nama Ayah : Musa Parlindungan Silitonga
Pekerjaan Ayah : Pegawai Negeri Sipil
Nama Ibu : Rosida. A . Palawa
Pekerjaan Ibu : Ibu Rumah Tangga
Alamat : Jl. Matandau, Kel.Bahontula, Kec. Petasia,
Kabupaten Morowali Utara, Sulawesi Tengah
94971

Riwayat Pendidikan

1. Tamatan SD Negeri 2 Kolonodale
2. Tamatan SMP Negeri 1 Petasia
3. Tamatan SMA Negeri 19 Makassar
4. Kuliah pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tahun 2019 sampai dengan sekarang

Medan, 11 September 2026

Zulfrikram Sadewa Silitonga