

TUGAS AKHIR
PENGARUH VARIASI KADAR AIR KELAPA TUA (*COCOS NUCIFERA*)
SEBAGAI SUBSTITUSI AIR PENCAMPUR BETON TERHADAP KUAT
TEKAN BETON PADA BERBAGAI UMUR
(Studi Penelitian)

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh Gelar Sarjana
Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Disusun Oleh:

AHMAD FAUZI FEBRIAN

2207210143



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ahmad Fauzi Febrian

NPM : 2207210143

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Kadar Air Kelapa Tua (*Cocos Nucifera*)
sebagai Substitusi Air Pencampur Beton Terhadap Kuat
Tekan Beton pada Berbagai Umur

Bidang Ilmu : Struktur

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

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 03 September 2026

Dosen Pembimbing



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

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ahmad Fauzi Febrian

NPM : 2207210143

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Kadar Air Kelapa Tua (*Cocos Nucifera*)
sebagai Substitusi Air Pencampur Beton Terhadap Kuat
Tekan Beton pada Berbagai Umur

Bidang Ilmu : Struktur

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

Medan, 03 September 2026

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



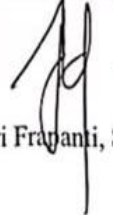
Fetra Venny Riza S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Penguji I



Rizki Efrida, S.T., M.T.

Dosen Penguji II



Sri Fraganti, S.T., M.T.

Ketua Prodi Teknik Sipil



Ir. Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D.

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ahmad Fauzi Febrian

Tempat, tanggal lahir : Marlinton, 15 Februari 2004

NPM : 2207210033

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir berjudul "Pengaruh Variasi Kadar Air Kelapa Tua (*Cocos Nucifera*) sebagai Substitusi Air Pencampur Beton Terhadap Kuat Tekan Beton pada Berbagai Umur"

Bukan merupakan plagiatisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non material serta segala kemungkinan lain, yang pada hakikatnya bukan merupakan karya tulis tugas akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian terduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi dengan sanksi terberat dengan pembatalan kelulusan atau keserjanaan saya.

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

Medan, 03 September 2026

Saya Menyatakan,


Ahmad Fauzi Febrian

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI KADAR AIR KELAPA TUA (*COCOS NUCIFERA*) SEBAGAI SUBSTITUSI AIR PENCAMPUR BETON TERHADAP KUAT TEKAN BETON PADA BERBAGAI UMUR

Ahmad Fauzi Febrian

2207210143

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

Beton merupakan material konstruksi yang memiliki kuat tekan tinggi dan banyak digunakan pada berbagai jenis bangunan. Air kelapa tua (*Cocos nucifera*) mengandung gula dan mineral yang berpotensi memengaruhi proses hidrasi semen sehingga menarik untuk dimanfaatkan sebagai substitusi sebagian air pencampur beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kadar air kelapa tua sebesar 10%, 20%, dan 30% sebagai substitusi sebagian air pencampur terhadap kuat tekan beton pada umur 7, 14, dan 28 hari, menganalisis perkembangan kuat tekan beton pada setiap umur pengujian, serta menentukan variasi substitusi yang memberikan hasil optimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran memiliki nilai slump yang masih berada pada rentang rencana sebesar 75–100 mm. Kuat tekan beton meningkat seiring bertambahnya umur beton pada seluruh variasi campuran. Beton normal menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 6,79 MPa pada umur 7 hari, 11,69 MPa pada umur 14 hari, dan 16,59 MPa pada umur 28 hari. Variasi substitusi air kelapa tua sebesar 20% menghasilkan kuat tekan rata-rata tertinggi di antara seluruh variasi, yaitu sebesar 13,58 MPa pada umur 28 hari, diikuti variasi 10% sebesar 12,92 MPa dan variasi 30% sebesar 11,31 MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan air kelapa tua sebagai substitusi sebagian air pencampur memberikan pengaruh terhadap kuat tekan beton, namun belum mampu menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton normal. Variasi substitusi sebesar 20% merupakan variasi optimum pada penelitian ini.

Kata kunci: beton, air kelapa tua, substitusi air pencampur, kuat tekan, dan umur beton.

ABSTRACT

THE EFFECT OF VARIATIONS IN WATER CONTENT OF OLD COCONUT (COCOS NUCIFERA) AS A SUBSTITUTION FOR CONCRETE MIXING WATER ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE AT VARIOUS AGES

Ahmad Fauzi Febrian

2207210143

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

Concrete is a construction material with high compressive strength and is widely used in various types of buildings. One factor that influences the compressive strength of concrete is the quality of the mixing water. Old coconut water (Cocos nucifera) contains sugars and minerals that have the potential to affect the cement hydration process, making it attractive to be used as a partial substitute for concrete mixing water. This study aims to determine the effect of variations in old coconut water content of 10%, 20%, and 30% as a partial substitute for mixing water on the compressive strength of concrete at the ages of 7, 14, and 28 days, analyze the development of concrete compressive strength at each test age, and determine the substitution variation that provides optimum results. The results showed that all mixture variations had slump values that were still within the design range of 75–100 mm. The compressive strength of concrete increased with increasing concrete age in all mixture variations. Normal concrete produced an average compressive strength of 6.79 MPa at the age of 7 days, 11.69 MPa at the age of 14 days, and 16.59 MPa at the age of 28 days. The 20% coconut water substitution variation produced the highest average compressive strength of all variations, at 13.58 MPa at 28 days, followed by the 10% variation at 12.92 MPa and the 30% variation at 11.31 MPa. The results showed that the use of coconut water as a partial substitution for mixing water affected the compressive strength of concrete, but did not produce a higher compressive strength than normal concrete. The 20% substitution variation was the optimum variation in this study.

Keywords: concrete, coconut water, mixing water substitution, concrete compressive strength, concrete age.

KATA PENGANTAR

Assalamu`alaikum Warahmatullahi Wabaarakatuh

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, segala puji dan ucapan Syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kenikmatan dan karunia-Nya yang tak terhingga. Yang mana salah satu karunia tersebut ialah penulis yang telah berhasil menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Variasi Kadar Air Kelapa Tua (Cocos Nucifera) Sebagai Substitusi Air Pencampur Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Selama proses penyelesaian tugas akhir ini tentunya banyak pihak yang turut serta secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan dukungan, bimbingan, dan bantuan. Sehingga dalam kesempatan kali ini, pada lembaran ini saya haturkan terima kasih sebesar-besarnya dan setulus-tulusnya kepada:

1. Ibu Fetra Venny Riza S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan dukungan serta bantuan dalam membimbing dan mengarahkan penulis untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Rizki Efrida S.T., M.T., Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara sekaligus Dosen Penguji I yang telah membantu memberikan saran serta masukkan demi kelancaran penulis dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Ibu Sri Frapanti S.T., M.T., Selaku Dosen Penguji II yang telah banyak membimbing dan memberi masukkan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D selaku Ketua Program Studi yang telah memberikan dukungan serta bantuan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan ilmu Teknik Sipil kepada penulis
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Ibunda Ningsih tersayang yang tidak pernah berhenti mendo'akan, ikut berjuang, serta selalu memberikan kasih sayang dengan kelembutan dan penuh cinta dalam memotivasi dan mendukung penulis hingga mampu bertahan dan menyelesaikan studi.
9. Ayahanda Sutardi tercinta yang selalu berjuang untuk keberlangsungan hidup penulis, memberikan kasih sayang dan cintanya yang tiada henti kepada penulis hingga mampu bertahan dan menyelesaikan studi.
10. Kedua Abang penulis Sugiharto yang telah kebersamai penulis, memberikan dukungan dan motivasi serta saling mendo'akan.
11. Teman baik penulis Dwi Octa Sintia, Putri Khalishah, Aisyah Tri Ananda Putri, Putri Annisa Humaira yang selalu mendukung secara materi maupun mental dan menemani dalam perkuliahan hingga penyelesaian laporan tugas akhir ini.
12. Sahabat berproses penulis sejak SMA Azra Sabilli Sinaga yang telah banyak membantu dan mendukung di setiap hari-hari penulis serta penyelesaian tugas akhir ini.
13. Rekan seperjuangan Kelas A2 Sore Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Stambuk 2022 yang telah memberikan perhatian serta dukungan dalam menjani perkuliahan.

Terima kasih sekali lagi saya ucapkan telah menjadi bagian dari kisah yang tidak terlupakan.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karna keterbatasan pengetahuan dan kempuan penulis. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan kritikan dan saran yang membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian

Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis dan juga bagi teman-teman Mahasiswa Teknik Sipil khususnya.

Medan, 26 Juli 2026
Saya yang menyatakan,

Ahmad Fauzi Febrian

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	Error!
Bookmark not defined.	
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR NOTASI	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Beton	7
2.2 Air Sebagai Bahan Pencampur Beton	8
2.3 Air Kelapa Tua (Cocos Nucifera)	9

2.3.1 Pengertian Air Kelapa Tua	9
2.3.2 Kandungan Kimia Air Kelapa Tua	10
2.3.3 Potensi Air Kelapa Tua Sebagai Substitusi Air Pencampur Beton	12
2.4 Kuat Tekan Beton	14
2.4.1 Pengertian Kuat Tekan Beton	15
2.4.2 Faktor Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan	16
2.4.3 Perkembangan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur	17
2.5 Penelitian Terdahulu	18
BAB 3 METODE PENELITIAN	23
3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian	23
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	24
3.3 Bahan dan Alat Penelitian	25
3.3.1 Bahan Penelitian	25
3.3.2 Alat Penelitian	29
3.4 Pengujian Karakteristik Bahan	35
3.4.1 Pengujian Karakteristik Agregat	35
3.4.2 Pengujian Karakteristik Air Kelapa Tua	35
3.5 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	38
3.5.1 Data Perencanaan Beton	38
3.5.2 Langkah Perhitungan Campuran Beton	39
3.5.3 Mix Design Beton per Benda Uji Silinder ($\varnothing 15 \times 30$ cm)	45
3.5.4 Kebutuhan Material	45
3.5.5 Proporsi Campuran Air Kelapa	47
3.6 Pembuatan Beton dan Benda Uji	48

3.7 Penentuan nilai <i>slump test</i>	48
3.8 Perawatan Beton (Curing)	49
3.9 Pengujian Kuat Tekan Beton	49
3.10 Kesimpulan Metode Penelitian	51
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1. Umum	52
4.2. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus	52
4.2.1 Hasil Analisa Saringan Agregat Halus	52
4.2.2 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus	53
4.2.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	54
4.2.4 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus	55
4.2.5 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	56
4.3. Agregat Kasar	57
4.3.1 Hasil Analisis Saringan Agregat Kasar	57
4.3.2. Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar	58
4.3.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	59
4.3.4 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar	60
4.3.5 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	61
4.4. Hasil pH Air Kelapa	62
4.5. Hasil Pengujian Kadar Gula Air Kelapa	63
4.6 Hasil Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	64
4.7 Hasil Pengujian Slump (<i>Slump Test</i>)	64
4.8 Hasil Kuat Tekan Beton	66
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	70

5.1 Kesimpulan	70
5.2 Saran	71
LAMPIRAN	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Bagan Alir	21
Gambar 3.2 Semen Tiga Roda	23
Gambar 3.3 Agregat Halus	24
Gambar 3.4 Agregat Kasar	25
Gambar 3.5 Air Bersih	26
Gambar 3.6 Air Kelapa Tua	26
Gambar 3.7 Timbangan Digital	27
Gambar 3.8 Concrete Mixer	28
Gambar 3.9 Cetakan Benda Uji	28
Gambar 3.10 Uji Slump	29
Gambar 3.11 Bak/Wadah Curing	29
Gambar 3.12 pH meter	30
Gambar 3.13 Refracnometer	31
Gambar 3.14 Mesin Uji Kuat Tekan	31
Gambar 3.15 Penentuan Skala pH	34
Gambar 4.1 Grafik Perkembangan Kuat Tekan Beton pada Berbagai Umur	63

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Pengujian Karakteristik Agregat	32
Tabel 3.2 Penentuan Pengujian Kadar Gula Air Kelapa	33
Tabel 3.3 Penentuan Pengujian Ph Air Kelapa	34
Tabel 3.4 Data Perencanaan Beton	35
Tabel 3.5 Perkiraan Kebutuhan Air Pencampur dan Kadar Udara	36
Tabel 3.6 Hubungan Rasio air semen atau rasio air bahan	37
Tabel 3.7 Volume Agregat Kasar pe Satuan Volume beton	38
Tabel 3.8 Perkiraan awal beton segar	39
Tabel 3.9 Perbandingan berat Bahan	40
Tabel 3.10 Mix Desain Beton per 1 m	42
Tabel 3.11 Campuran Air Kelapa	44
Tabel 3.12 Pembuatan Beton dan Benda Uji	45
Tabel 4.1 Pengujian analisa saringan agregat halus	48
Tabel 4.2 Kadar Air Agregat Halus	49
Tabel 4.3 Pengujian Berat Jenis Agregat Halus	50
Tabel 4.4 Pengujian berat isi agregat halus	51
Tabel 4.5 Pengujian kadar lumpur agregat halus	52
Tabel 4.6 Pengujian analisa saringan agregat kasar	53
Tabel 4.7 Pengujian Kadar air Agregat Kasar	55
Tabel 4.8 Pengujian Berat Jenis dan penyerapan agregat kasar	56
Tabel 4.9 Pengujian Berat isi Agregat Kasar	57

Tabel 4.10 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	57
Tabel 4.11 Hasil Ph Air Kelapa	58
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Kadar Gula Air Kelapa	59
Tabel 4.13 Hasil Perencanaan Campuran Beton	60
Tabel 4.14 Nilai Slump	60
Tabel 4.15 Hasil Pengujian Kuat Tekan	61

DAFTAR NOTASI

A	=	Luas Penampang
BAK	=	Beton Air Kelapa
AK	=	Air Kelapa
F'c	=	Kuat Tekan Beton
V	=	Volume
R2	=	jari-jari
t	=	Tinggi
A	=	Berat Benda Uji Kering Oven
B	=	Berat Benda Uji Jenuh Kering Permukaan di Udara
C	=	Berat Benda Uji Jenuh Kering Permukaan Dalam Air
S	=	Berat Benda Uji Kondisi Jenuh Kering Permukaan
D	=	Berat Isi Beton
Mc	=	Berat Wadah Ukur yang diisi Agregat
Mm	=	Berat Wadah Ukur
Vm	=	Volume Wadah Ukur

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan karena memiliki kuat tekan yang tinggi, durabilitas yang baik, serta mampu diaplikasikan pada berbagai jenis struktur (Mishra et al., 2025). Salah satu parameter utama dalam menilai kualitas beton adalah kuat tekan, yang sangat dipengaruhi oleh komposisi bahan penyusunnya, termasuk karakteristik air yang digunakan dalam campuran beton (Haz & Prabowo, 2025). Seiring berkembangnya penelitian mengenai pemanfaatan bahan alami sebagai material alternatif, berbagai sumber daya lokal mulai dikaji sebagai substitusi sebagian air pencampur beton untuk meningkatkan performa maupun efisiensi penggunaan material. Salah satunya adalah air kelapa tua (*Cocos nucifera*), yang pada variasi penggunaan air kelapa tua sebesar 5–15% dari total kebutuhan air menunjukkan kecenderungan peningkatan kuat tekan beton pada umur 28 hari, yang mengindikasikan kontribusi positif komponen kimia air kelapa terhadap proses pembentukan kekuatan beton (Hartini, 2022).

Air Merupakan salah satu komponen utama dalam campuran beton yang berfungsi mengaktifkan reaksi hidrasi semen sehingga menghasilkan produk kalsium silikat hidrat (C-S-H) sebagai penyusun utama kekuatan beton. Kualitas beton sangat bergantung pada material penyusunnya, yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, dan air, sehingga perubahan karakteristik kimia air pencampur dapat memengaruhi proses hidrasi serta perkembangan kuat tekan beton (Haz & Prabowo, 2025). Karakteristik fisik dan kimia air diketahui memengaruhi proses hidrasi partikel semen, pembentukan struktur mikro beton, serta perkembangan sifat mekanik beton, termasuk kuat tekan. Oleh karena itu, penggunaan bahan alternatif sebagai substitusi sebagian air pencampur perlu dikaji lebih lanjut untuk mengetahui pengaruhnya terhadap proses hidrasi dan perkembangan kuat tekan beton pada berbagai umur (Amer et al., 2024).

Air Kelapa tua (*Cocos Nucifera*) merupakan bahan alami yang mengandung berbagai senyawa kimia aktif seperti sukrosa, glukosa, fruktosa, serta mineral berupa kalium (K^+), kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), dan natrium (Na^+) (Halim et al., 2021). Selama proses pematangan buah, kandungan sukrosa mengalami peningkatan yang cukup signifikan, sedangkan glukosa dan fruktosa cenderung menurun, dengan total kandungan gula berkisar antara 3–7% dari total padatan terlarut (Halim et al., 2021). Selain itu, perubahan tingkat kematangan menyebabkan perubahan karakteristik kimia, termasuk komposisi gula, pH, dan elektrolit, sehingga air kelapa tua memiliki sifat yang berbeda dibandingkan air kelapa muda. Kombinasi kandungan gula, mineral, dan pH tersebut menunjukkan bahwa air kelapa tua merupakan media cair yang aktif secara kimia dan berpotensi memengaruhi proses hidrasi semen serta perkembangan kuat tekan beton apabila digunakan sebagai substitusi sebagian air pencampur (Amer et al., 2024).

Secara mekanistik, kandungan gula alami dalam air kelapa tua (*Cocos Nucifera*) khususnya sukrosa, dapat mempengaruhi proses hidrasi semen melalui mekanisme adsorpsi pada permukaan partikel semen dan pembentukan kompleks dengan ion Ca^{2+} yang dilepaskan selama proses hidrasi. Mekanisme tersebut menghambat nukleasi dan pertumbuhan kalsium silikat hidrat (C-S-H), yaitu fase utama yang berperan dalam pembentukan kekuatan beton (Khan & Baradan, 2022). Pengaruh gula terhadap hidrasi semen sangat bergantung pada konsentrasinya, pada kadar rendah hingga menengah, gula diketahui dapat memperpanjang waktu ikat awal dan akhir beton sehingga proses hidrasi berlangsung lebih terkendali (Ashad, 2023). Namun, pada konsentrasi yang terlalu tinggi, gula dapat menghambat pembentukan struktur hidrasi secara berlebihan sehingga berdampak negatif terhadap perkembangan kuat tekan beton (Khan & Baradan, 2022). Oleh Karena itu, variasi kadar air kelapa tua sebagai substitusi air pencampur perlu dikaji untuk mengetahui konsentrasi yang mampu memberikan pengaruh optimum terhadap perkembangan kuat tekan beton pada berbagai umur.

Berbagai penelitian telah mengkaji penggunaan jenis air alternatif sebagai bahan pencampur beton untuk mengetahui pengaruh karakteristik kimia air terhadap performa beton. Penggunaan air sungai dilaporkan menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan air bersih karena kandungan mineral, klorida,

dan sulfat dapat menghambat proses hidrasi semen serta meningkatkan porositas beton (Haz & Prabowo, 2025). Penelitian lain oleh (Hartini, 2022) menunjukkan bahwa penggunaan air kelapa sebagai substitusi sebagian air pencampur dengan variasi 5%, 10%, dan 15% memberikan kecenderungan peningkatan kuat tekan beton pada umur 28 hari, yang mengindikasikan bahwa kandungan gula dan mineral dalam air kelapa berpotensi memengaruhi proses pembentukan kekuatan beton. Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa karakteristik kimia air pencampur memiliki peranan penting terhadap perkembangan kuat tekan beton. Namun, penelitian mengenai penggunaan air kelapa tua sebagai substitusi sebagian air pencampur dengan variasi kadar tertentu serta evaluasi perkembangan kuat tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari masih sangat terbatas sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh variasi kadar air kelapa tua terhadap perkembangan kuat tekan beton serta menentukan kadar substitusi yang memberikan hasil optimum.

Menurut data Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Utara, produksi kelapa di Provinsi Sumatera Utara menunjukkan tren peningkatan, dari sekitar 97 ribu ton pada tahun 2022 menjadi sekitar 102 ribu ton pada tahun 2023 (BPS Provinsi Sumatera Utara, 2025). Selain memiliki produksi yang melimpah, setiap buah kelapa umumnya menghasilkan sekitar 300 mL air kelapa dengan karakteristik kimia berupa kandungan gula, mineral, dan pH yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan alternatif dalam campuran beton (Halim et al., 2021). Potensi sumber daya lokal tersebut memberikan peluang untuk mengembangkan inovasi material konstruksi berbasis bahan alami yang lebih ekonomis dan mudah diperoleh. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi kadar air kelapa tua (*Cocos nucifera*) sebagai substitusi sebagian air pencampur terhadap perkembangan kuat tekan beton pada umur 7, 14, dan 28 hari serta menentukan kadar substitusi yang memberikan hasil optimum sebagai alternatif pemanfaatan sumber daya lokal dalam teknologi beton.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perkembangan kuat tekan beton pada setiap variasi kadar air kelapa tua (*Cocos nucifera*) sebesar 10%, 20%, dan 30% pada umur 7,14, dan 28 hari?
2. Berapakah variasi kadar air kelapa tua (*Cocos Nucifera*) sebagai substitusi air pencampur beton yang menghasilkan kuat tekan beton optimum pada umur 28 hari?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang ditetapkan, maka ruang lingkup penelitian dibatasi sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan beton normal sesuai mutu rencana yang ditetapkan dalam penelitian
2. Air kelapa yang digunakan adalah air kelapa tua (*Cocos nucifera*)
3. Air kelapa tua digunakan sebagai substitusi sebagian air pencampur dengan variasi kadar :

- 10%
- 20%
- 30%

Dari total kebutuhan air pencampur.

4. Beton tanpa substitusi air kelapa tua (0%) digunakan sebagai beton kontrol.
5. Benda uji yang digunakan berupa silinder beton sesuai standar yang berlaku.
6. Pengujian dilakukan pada umur:
 - 7 hari,
 - 14 hari,
 - 28 hari.
7. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini adalah kuat tekan beton.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui perkembangan kuat tekan beton pada setiap variasi kadar air kelapa tua (*Cocos nucifera*) sebesar 10%, 20%, dan 30% pada umur 7, 14, dan 28 hari.
2. Menentukan variasi kadar air kelapa tua (*Cocos nucifera*) sebagai substitusi air pencampur beton yang menghasilkan kuat tekan beton optimum pada umur 28 hari.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh variasi kadar air kelapa tua (*Cocos nucifera*) sebagai substitusi sebagian air pencampur terhadap kuat tekan beton pada berbagai umur serta menjadi referensi bagi perkembangan penelitian dan pemanfaatan bahan alami sebagai alternatif material dalam teknologi beton.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembahasan dalam penelitian ini, maka sistematika penulisan dilakukan dengan membagi tulisan menjadi beberapa bab, antara lain:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini terdiri dari teori yang berupa pengertian dan landasan dasar dari penelitian sebelumnya yang memaparkan teori-teori yang berkaitan dengan masalah yang diteliti.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Pada bab ini terdiri dari metode penelitian, diagram alir penelitian, peralatan,

bahan-bahan, pembuatan sampel uji, dan pengumpulan sampel.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini terdiri dari hasil penelitian dan menganalisis data yang diperoleh dari penelitian.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini merupakan bagian akhir dari skripsi yang berisikan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang sudah dilakukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton merupakan material komposit yang tersusun atas campuran semen portland atau semen hidrolik lainnya, agregat halus, agregat kasar, air, serta dapat ditambahkan bahan tambahan tertentu sehingga membentuk massa yang padat (Putra, 2021). Kualitas beton sangat dipengaruhi oleh kualitas setiap material penyusunnya, sehingga pemilihan bahan yang tepat akan menentukan sifat dan kinerja beton yang dihasilkan. Beton menjadi salah satu material konstruksi yang paling banyak digunakan pada berbagai jenis infrastruktur karena memiliki kuat tekan yang tinggi, mudah dibentuk sesuai kebutuhan struktur, serta memiliki ketahanan yang baik terhadap pengaruh lingkungan. Kekuatan beton diperoleh melalui proses hidrasi antara semen dan air yang menghasilkan produk hidrasi berupa *calcium silicate hydrate* (C-S-H) sebagai komponen utama yang berperan dalam membentuk struktur padat dan memberikan kemampuan beton dalam menahan beban tekan secara efektif (Al-gburi, 2024).

Kinerja beton tidak hanya ditentukan oleh komposisi material penyusunnya, tetapi juga oleh proses hidrasi semen yang berlangsung setelah pencampuran. Proses tersebut berlangsung secara bertahap sehingga perkembangan kuat tekan beton meningkat seiring bertambahnya umur beton (Luo et al., 2021). Selain faktor air semen (*water-cement ratio*), kualitas material penyusun, dan kondisi perawatan (*curing*), karakteristik kimia air pencampur juga berperan dalam memengaruhi proses hidrasi serta pembentukan struktur mikro beton (Al-saffar et al., 2023). Oleh karena itu, penggunaan air dengan karakteristik kimia yang berbeda sebagai substitusi sebagian air pencampur berpotensi memengaruhi perkembangan kuat tekan beton pada berbagai umur.

Perkembangan sifat mekanik beton merupakan hasil interaksi antara proses hidrasi semen, karakteristik material penyusun, serta kondisi lingkungan, selama proses pengerasan. Pembentukan struktur mikro yang semakin padat akibat

berlangsungnya hidrasi akan meningkatkan densitas pasta semen dan memperbaiki ikatan antara pasta semen dengan agregat, sehingga kuat tekan beton berkembang secara bertahap sesuai umur beton (Al-saffar et al., 2023). Oleh karena itu, setiap perubahan pada karakteristik material penyusun, terutama air yang berperan sebagai media hidrasi, dapat memengaruhi pembentukan struktur mikro dan perkembangan kuat tekan beton (Pan et al., 2025). Kondisi tersebut menjadi dasar penting dalam pengkajian penggunaan air dengan karakteristik kimia yang berbeda sebagai substitusi sebagian air pencampur pada campuran beton.

2.2 Air Sebagai Bahan Pencampur Beton

Air merupakan salah satu material utama dalam campuran beton yang memiliki peranan penting terhadap pembentukan sifat beton baik pada kondisi segar maupun setelah mengeras. Air berfungsi sebagai media berlangsungnya reaksi hidrasi antara semen dan air yang menghasilkan produk hidrasi sehingga membentuk struktur pasta semen yang mampu mengikat agregat menjadi suatu massa yang padat. Selain berperan dalam proses hidrasi, air juga memengaruhi kemudahan pengerjaan (*workability*), proses pencampuran, pemadatan, serta homogenitas campuran beton (Muncan et al., 2022). Oleh karena itu, keberadaan air dalam jumlah dan kualitas yang sesuai menjadi faktor penting dalam menghasilkan beton dengan sifat mekanik dan durabilitas yang baik (Al-saffar et al., 2023).

Kualitas air yang digunakan sebagai bahan pencampur maupun perawatan beton memiliki pengaruh terhadap proses hidrasi semen dan perkembangan kuat tekan beton. (Haz & Prabowo, 2025) meneliti penggunaan air sungai sebagai media pencampur dan perawatan beton dengan variasi *water-cement ratio* sebesar 0,4 dan 0,5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton yang menggunakan air sungai memiliki kuat tekan lebih rendah dibandingkan beton yang menggunakan air bersih. Pada umur perawatan 7 hari dengan nilai *water-cement ratio* 0,4, kuat tekan beton yang menggunakan air sungai sebesar 13,46 MPa, sedangkan beton yang menggunakan air bersih mencapai 14,91 MPa. Penurunan tersebut disebabkan oleh kandungan mineral, zat organik, ion klorida, dan ion sulfat dalam air sungai yang dapat menghambat proses hidrasi semen, mengganggu pembentukan *calcium*

silicate hydrate (C-S-H), serta meningkatkan porositas beton. Temuan tersebut menunjukkan bahwa karakteristik kimia air merupakan salah satu faktor yang memengaruhi perkembangan kuat tekan beton. Oleh karena itu, penggunaan air dengan komposisi kimia yang berbeda, termasuk air kelapa tua (*Cocos nucifera*) yang mengandung gula dan mineral alami, berpotensi memberikan pengaruh terhadap proses hidrasi dan perkembangan kuat tekan beton sehingga perlu dikaji lebih lanjut.

Air yang digunakan sebagai bahan pencampur beton tidak hanya berfungsi sebagai media berlangsungnya reaksi hidrasi semen, tetapi juga memiliki peranan penting dalam menentukan kualitas beton yang dihasilkan. Kualitas dan karakteristik kimia air, seperti pH, kandungan garam, mineral, zat organik, serta senyawa terlarut lainnya, dapat memengaruhi waktu ikat, pembentukan produk hidrasi, perkembangan kuat tekan, dan durabilitas beton. Oleh karena itu, setiap sumber air yang digunakan sebagai bahan pencampur harus memenuhi persyaratan fisik dan kimia agar tidak memberikan dampak negatif terhadap proses hidrasi semen (Al-saffar et al., 2023). Penggunaan air dengan karakteristik kimia yang berbeda juga membuka peluang pemanfaatan sumber air alternatif sebagai bahan pencampur beton, selama karakteristik tersebut masih mampu menghasilkan sifat mekanik beton yang memenuhi persyaratan yang ditetapkan (Yousuf et al., 2023). Berdasarkan konsep tersebut, penggunaan air kelapa tua (*Cocos nucifera*) sebagai substitusi sebagian air pencampur menjadi menarik untuk dikaji karena memiliki kandungan gula dan mineral alami yang berpotensi memengaruhi proses hidrasi serta perkembangan kuat tekan beton.

2.3 Air Kelapa Tua (*Cocos Nucifera*)

2.3.1 Pengertian Air Kelapa Tua

Air kelapa merupakan cairan endosperma alami yang terdapat di dalam buah kelapa (*Cocos nucifera* L.) dan terbentuk dari jaringan endosperma nuklear yang tidak sepenuhnya mengalami proses selularisasi sehingga menghasilkan rongga endosperma yang terisi cairan. Air kelapa berfungsi sebagai media penyimpanan nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangan embrio selama

proses pembentukan buah. Selain didominasi oleh air, cairan ini mengandung berbagai senyawa organik dan anorganik yang terbentuk secara alami selama proses perkembangan buah sehingga memiliki karakteristik yang berbeda pada setiap tingkat kematangan (Yong et al., 2009).

Karakteristik air kelapa mengalami perubahan seiring bertambahnya umur buah atau proses maturasi. Selama proses tersebut terjadi perubahan komposisi penyusun air kelapa yang memengaruhi sifat fisik maupun kimianya, seperti perubahan rasa, tingkat keasaman, serta komposisi senyawa terlarut. Air kelapa tua umumnya memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan air kelapa muda karena mengalami peningkatan kandungan sukrosa dan perubahan komposisi komponen lainnya selama proses pematangan. Perubahan karakteristik tersebut menunjukkan bahwa tingkat kematangan buah merupakan salah satu faktor yang menentukan sifat air kelapa dan menjadi dasar pemanfaatannya dalam berbagai bidang penelitian (Lim et al., 2023).

2.3.2 Kandungan Kimia Air Kelapa Tua

Air kelapa tua mengandung berbagai komponen kimia yang terdiri atas air, karbohidrat, mineral, vitamin, asam amino, enzim, dan berbagai senyawa bioaktif lainnya. Karakteristik fisikokimia tersebut menunjukkan bahwa air kelapa tua merupakan cairan alami yang mengandung berbagai komponen kimia aktif yang berbeda dengan air biasa. Komponen karbohidrat didominasi oleh gula sederhana berupa sukrosa, glukosa, dan fruktosa, sedangkan komponen mineral terdiri atas kalium (K^+), natrium (Na^+), kalsium (Ca^{2+}), dan magnesium (Mg^{2+}) sebagai elektrolit alami yang paling banyak ditemukan dalam air kelapa (Yong et al., 2009). Selain gula dan mineral, air kelapa juga mengandung vitamin, protein, asam amino, enzim, dan antioksidan dalam jumlah tertentu yang berkontribusi terhadap karakteristik kimianya. Komposisi tersebut dipengaruhi oleh varietas kelapa, kondisi lingkungan, dan tingkat kematangan buah sehingga menghasilkan karakteristik kimia yang khas dibandingkan cairan alami lainnya.

Di antara berbagai komponen tersebut, kalium merupakan mineral yang memiliki konsentrasi paling tinggi, diikuti oleh natrium, kalsium, dan magnesium.

Sementara itu, komponen karbohidrat pada air kelapa tua didominasi oleh sukrosa, sedangkan glukosa dan fruktosa terdapat dalam jumlah yang lebih rendah akibat proses maturasi buah. Dominasi sukrosa dan kalium menunjukkan bahwa air kelapa tua memiliki karakteristik kimia yang berbeda dibandingkan air biasa maupun air kelapa muda. Karakteristik tersebut menjadi dasar untuk mengkaji potensi pemanfaatan air kelapa tua sebagai substitusi sebagian air pencampur beton (Halim et al., 2021).

2.3.2.1 Kandungan Gula Air Kelapa Tua

Air kelapa tua mengandung karbohidrat yang sebagian besar tersusun atas gula sederhana, yaitu glukosa, fruktosa, dan sukrosa. Ketiga jenis gula tersebut merupakan komponen utama yang berperan dalam menentukan tingkat kemanisan serta karakteristik kimia air kelapa. Kandungan gula air kelapa dipengaruhi oleh varietas dan tingkat kematangan buah. Pada air kelapa muda (umur 5–7 bulan), total gula dilaporkan berkisar antara 2,08–6,52% dengan nilai total padatan terlarut (Total Soluble Solids/TSS) sebesar 3,8–6,9 °Brix. Seiring bertambahnya umur buah, kandungan gula mengalami perubahan, yaitu meningkat pada fase awal pematangan kemudian menurun ketika buah mencapai kematangan penuh (Shi et al., 2025).

Pada air kelapa tua (mature coconut water), kandungan total gula umumnya berkisar antara 1,8–4,4 g/100 mL, bergantung pada kultivar dan kondisi geografis tempat tumbuh tanaman. Variasi kandungan gula tersebut menunjukkan bahwa komposisi kimia air kelapa dapat berbeda pada setiap sampel, sehingga pengukuran kadar gula sebelum digunakan sebagai bahan penelitian menjadi penting. Dalam penelitian ini, kadar gula air kelapa diukur menggunakan refraktometer sebagai salah satu parameter karakterisasi bahan sebelum diaplikasikan sebagai substitusi sebagian air pencampur beton (Shi et al., 2025).

Kandungan gula dalam air kelapa menjadi parameter yang penting untuk diperhatikan karena gula diketahui dapat memengaruhi proses hidrasi semen. Penelitian (Jain & Ojha, 2021) menunjukkan bahwa penambahan gula sebesar 0,5%; 0,75%; dan 1% terhadap berat semen menyebabkan waktu ikat beton semakin lama. Hal tersebut menunjukkan bahwa gula berperan sebagai retarder yang dapat

memperlambat proses hidrasi semen. Oleh karena itu, pengukuran kadar gula pada air kelapa tua dalam penelitian ini dilakukan sebagai salah satu karakterisasi bahan untuk membantu menjelaskan pengaruh substitusi air kelapa terhadap perkembangan kuat tekan beton.

2.3.2.2 Derajat Keasaman (pH) Air Kelapa Tua

Derajat keasaman (pH) merupakan parameter yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Nilai pH air kelapa dipengaruhi oleh tingkat kematangan buah, varietas, dan kondisi lingkungan tempat tumbuh. Berdasarkan Prades et al. (2012), pH air kelapa berada pada kisaran 4,7–5,9, sedangkan (Shayanthavi et al., 2024) melaporkan kisaran 4,8–5,7. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa karakteristik kimia air kelapa dapat bervariasi sesuai jenis dan tingkat kematangan buah.

Nilai pH air kelapa cenderung berubah selama proses pertumbuhan buah. Pada fase muda, kandungan asam organik relatif lebih tinggi sehingga pH lebih rendah. Seiring bertambahnya umur buah, terjadi perubahan kandungan gula, mineral, dan senyawa organik lainnya yang menyebabkan perubahan nilai pH. Perbedaan varietas, kondisi tanah, iklim, dan lokasi penanaman juga dapat menyebabkan variasi nilai pH pada air kelapa. Oleh karena itu, pengukuran pH menggunakan pH meter diperlukan untuk memperoleh data karakteristik air kelapa yang akurat sebelum digunakan sebagai bahan penelitian.

Dalam penelitian ini, pengukuran pH dilakukan terhadap air kelapa tua sebelum digunakan sebagai substitusi sebagian air pencampur beton. Pengukuran tersebut bertujuan untuk mengetahui karakteristik kimia awal air kelapa serta mendukung analisis hubungan antara sifat kimia air kelapa dengan perkembangan kuat tekan beton pada berbagai umur pengujian. Nilai pH yang diperoleh kemudian menjadi salah satu parameter dalam mengevaluasi pengaruh penggunaan air kelapa tua sebagai bahan substitusi air pencampur beton.

2.3.3 Potensi Air Kelapa Tua Sebagai Substitusi Air Pencampur Beton

Air kelapa tua memiliki potensi untuk digunakan sebagai substitusi sebagian

air pencampur beton karena mengandung berbagai senyawa aktif seperti sukrosa, glukosa, fruktosa, serta mineral berupa kalium, kalsium, magnesium, dan natrium. Kandungan tersebut membedakan air kelapa tua dari air pencampur konvensional dan berpotensi memengaruhi reaksi kimia yang terjadi selama proses pengerasan beton. Oleh karena itu, pemanfaatan air kelapa tua sebagai bahan pencampur beton perlu ditinjau dari pengaruh kandungan kimianya terhadap proses hidrasi semen (Amaliah, 2020).

Hidrasi semen merupakan proses reaksi kimia kompleks antara fase-fase klinker semen dan air yang diawali dengan pelarutan senyawa anhidrat semen, khususnya trikalsium silikat (C_3S) dan dikalsium silikat (C_2S), sehingga melepaskan ion kalsium (Ca^{2+}), hidroksida (OH^-), dan silikat ke dalam larutan pori (Hamilton et al., 2024). Seiring meningkatnya konsentrasi ion hingga kondisi jenuh dan lewat jenuh, terjadi proses nukleasi dan pertumbuhan produk hidrasi utama berupa kalsium silikat hidrat ($C-S-H$) serta produk samping berupa kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$). Proses hidrasi berlangsung melalui beberapa tahapan, yaitu periode awal dengan pelepasan panas cepat, periode dorman, periode akselerasi yang ditandai dengan pembentukan $C-S-H$ secara intensif, serta periode deselerasi saat laju reaksi menurun. Pembentukan $C-S-H$ berperan utama dalam peningkatan kekuatan dan kerapatan mikrostruktur pasta semen, sedangkan $Ca(OH)_2$ berkontribusi terhadap alkalinitas sistem. Keberlangsungan hidrasi sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air, karena hidrasi yang terhambat akan membatasi pembentukan produk hidrasi dan berdampak langsung pada perkembangan kuat tekan beton (John & Lothenbach, 2023).

Dalam sistem hidrasi semen, kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$) terbentuk sebagai salah satu produk utama hidrasi yang berperan dalam menjaga lingkungan larutan pori tetap bersifat basa. Kestabilan $Ca(OH)_2$ berkaitan erat dengan kondisi pH di sekitar beton, yang dapat dijelaskan melalui reaksi disosiasi berikut:



Perubahan pH air pencampur yang lebih rendah dibandingkan larutan pori beton berpotensi menggeser kesetimbangan reaksi tersebut ke arah peningkatan kelarutan $Ca(OH)_2$. Kondisi ini dapat memengaruhi stabilitas produk hidrasi dan lingkungan alkalin yang diperlukan untuk keberlangsungan hidrasi semen. Selama

pH air pencampur masih berada pada kisaran asam lemah hingga mendekati netral, pengaruh tersebut umumnya bersifat moderat dan tidak menghentikan proses hidrasi, namun dapat memodifikasi laju reaksi serta kestabilan pembentukan kalsium silikat hidrat (C–S–H).

Selain pengaruh pH, keberadaan senyawa organik tertentu dalam air pencampur beton juga diketahui dapat memengaruhi mekanisme hidrasi semen. Salah satu senyawa yang banyak dilaporkan berpengaruh terhadap hidrasi adalah gula. Secara kimia, molekul gula memiliki gugus hidroksil (–OH) yang mampu berinteraksi dengan ion kalsium (Ca^{2+}) di dalam larutan pori beton, yang secara konseptual dapat digambarkan melalui reaksi berikut:



Pembentukan kompleks sementara antara gula dan ion Ca^{2+} menyebabkan berkurangnya ketersediaan Ca^{2+} bebas yang diperlukan untuk proses nukleasi dan pertumbuhan C–S–H. Akibatnya, laju hidrasi semen pada fase awal dapat melambat, yang umumnya ditandai dengan retardasi waktu ikat dan penurunan kuat tekan beton pada umur dini. Namun demikian, selama ketersediaan air tetap terjaga dan konsentrasi gula berada dalam kisaran rendah hingga terkendali, proses hidrasi semen dapat kembali berlangsung pada umur lanjut dan memungkinkan perkembangan kuat tekan beton secara bertahap.

Pembentukan produk hidrasi semen yang didominasi oleh C-S-H sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan hidrasi dan ketersediaan ion-ion yang terlibat dalam reaksi hidrasi. Oleh karena itu, karakteristik kimia air pencampur, seperti pH serta keberadaan gula dan mineral terlarut, berpotensi memengaruhi laju hidrasi, pembentukan produk hidrasi, dan perkembangan struktur mikro beton. Dengan demikian, penggunaan air kelapa tua sebagai substitusi sebagian air pencampur beton berpotensi memberikan pengaruh terhadap perkembangan kuat tekan beton pada berbagai umur, sehingga perlu dikaji lebih lanjut melalui pengujian eksperimental.

2.4 Kuat Tekan Beton

2.4.1 Pengertian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan salah satu sifat mekanik utama yang digunakan untuk menilai mutu dan kinerja beton dalam menahan beban tekan. Parameter ini menunjukkan kemampuan beton untuk menerima gaya yang bekerja hingga mencapai kondisi keruntuhan dan menjadi dasar utama dalam perencanaan, pengendalian mutu, serta evaluasi keamanan struktur beton. Nilai kuat tekan beton sangat dipengaruhi oleh proses hidrasi semen yang menghasilkan produk hidrasi berupa *calcium silicate hydrate* (C-S-H) sebagai komponen utama pembentuk kekuatan beton (Mishra et al., 2025). Semakin baik proses hidrasi dan semakin padat struktur mikro yang terbentuk, maka kemampuan beton dalam menahan beban tekan akan semakin meningkat. Oleh karena itu, kuat tekan beton merupakan parameter yang paling umum digunakan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan komposisi campuran, kualitas material penyusun, maupun kondisi perawatan terhadap performa beton (Tumpu et al., 2021).

Secara umum, kuat tekan beton diperoleh melalui pengujian tekan pada benda uji berbentuk silinder atau kubus hingga mencapai beban maksimum. Nilai kuat tekan dihitung berdasarkan perbandingan antara beban maksimum yang mampu ditahan benda uji terhadap luas penampangnya (V. Johannes, Th. J. M. Sahureka, 2023). Pengujian kuat tekan digunakan secara luas karena relatif sederhana, mudah dilakukan, dan mampu memberikan gambaran mengenai kualitas beton secara keseluruhan. Selain dipengaruhi oleh kualitas material penyusun, nilai kuat tekan juga dipengaruhi oleh faktor air semen (*water-cement ratio*), umur beton, kondisi perawatan (*curing*), serta metode pelaksanaan dan pengujian yang digunakan (Al-gburi, 2024).

Untuk mengetahui nilai kuat tekan beton, dilakukan pengujian tekan pada benda uji hingga mencapai beban maksimum. Nilai kuat tekan beton ditentukan berdasarkan perbandingan antara beban maksimum yang mampu ditahan benda uji dengan luas penampang benda uji yang menerima beban. Secara matematis, kuat tekan beton dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (2.3)$$

Keterangan:

- f'_c = kuat tekan beton (MPa)
- P = beban maksimum (N)
- A = luas penampang benda uji (mm^2)

2.4.2 Faktor Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berinteraksi sejak proses pencampuran hingga beton mencapai umur rencana. Faktor-faktor tersebut meliputi faktor air semen (*water-cement ratio*), kualitas dan proporsi material penyusun, tingkat pemadatan, umur beton, serta kondisi perawatan (*curing*). Perubahan pada salah satu faktor tersebut dapat memengaruhi proses hidrasi semen, pembentukan struktur mikro, tingkat porositas, dan kualitas ikatan antara pasta semen dengan agregat. Oleh karena itu, kuat tekan beton tidak hanya ditentukan oleh jumlah semen yang digunakan, tetapi juga oleh bagaimana seluruh komponen dalam campuran beton bekerja secara bersama selama proses pengerasan dan perawatan beton. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kualitas beton yang baik diperoleh melalui kombinasi proporsi campuran yang tepat, proses pelaksanaan yang baik, dan kondisi perawatan yang memadai sehingga hidrasi semen dapat berlangsung secara optimal (Talaat et al., 2021).

Faktor air semen (*water-cement ratio*) merupakan salah satu parameter yang paling berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Air diperlukan untuk proses hidrasi semen, namun penggunaan air yang berlebihan akan meningkatkan jumlah rongga atau pori yang terbentuk setelah beton mengeras. Peningkatan porositas tersebut menyebabkan struktur beton menjadi kurang padat sehingga kuat tekan beton menurun. Sebaliknya, penggunaan air yang terlalu sedikit dapat menghambat proses hidrasi dan menurunkan kemudahan pengerjaan (*workability*) campuran beton. Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan antara kebutuhan air untuk hidrasi dan kebutuhan air untuk kemudahan pengerjaan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa peningkatan nilai *water-cement ratio* cenderung menyebabkan penurunan kuat tekan beton akibat meningkatnya porositas dan berkurangnya kerapatan struktur mikro beton (Luo et al., 2021).

Umur beton dan kondisi perawatan (*curing*) memiliki pengaruh yang

sangat penting terhadap perkembangan kuat tekan beton. Seiring bertambahnya umur beton, proses hidrasi semen terus berlangsung dan menghasilkan produk hidrasi berupa *calcium silicate hydrate* (C-S-H) yang semakin banyak sehingga struktur mikro beton menjadi lebih padat dan kuat. Selain umur beton, kondisi perawatan yang baik juga diperlukan untuk menjaga ketersediaan air yang dibutuhkan selama proses hidrasi. Beton yang kehilangan kelembapan terlalu cepat berpotensi mengalami hidrasi yang tidak sempurna sehingga perkembangan kuat tekannya menjadi lebih rendah dibandingkan beton yang dirawat dengan baik. Penelitian menunjukkan bahwa semakin lama proses perawatan dilakukan, semakin tinggi kuat tekan yang dapat dicapai karena proses hidrasi berlangsung lebih optimal dan produk hidrasi yang terbentuk semakin banyak (Al-gburi, 2024).

Selain faktor air semen, umur beton, dan perawatan, kualitas material penyusun beton juga berpengaruh terhadap kuat tekan yang dihasilkan. Karakteristik semen, agregat halus, agregat kasar, serta air pencampur menentukan kualitas pasta semen dan ikatan yang terbentuk di dalam beton. Agregat dengan kualitas yang baik, gradasi yang sesuai, dan kekuatan yang memadai dapat meningkatkan kemampuan beton dalam menahan beban tekan. Di sisi lain, karakteristik air pencampur juga memegang peranan penting karena berhubungan langsung dengan proses hidrasi semen. Kandungan mineral, zat organik, ion klorida, sulfat, maupun senyawa terlarut lainnya dapat memengaruhi pembentukan produk hidrasi dan perkembangan kuat tekan beton. Oleh karena itu, penggunaan sumber air dengan karakteristik kimia yang berbeda, termasuk air kelapa tua sebagai substitusi sebagian air pencampur, berpotensi memberikan pengaruh terhadap perkembangan kuat tekan beton dan menjadi salah satu faktor yang perlu dikaji dalam penelitian ini (Ashad, 2023).

2.4.3 Perkembangan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur

Perkembangan kuat tekan beton dipengaruhi oleh bertambahnya umur perawatan yang diikuti dengan perubahan karakteristik mekanik beton. Pada umur awal, beton masih memiliki kemampuan deformasi yang relatif tinggi karena struktur internalnya belum berkembang secara sempurna. Seiring bertambahnya umur perawatan, ikatan antarpartikel menjadi semakin kuat, porositas berkurang,

dan kohesi material meningkat sehingga kuat tekan serta kekakuan beton mengalami peningkatan. Kondisi tersebut menyebabkan kurva tegangan-regangan (*stress-strain curve*) menjadi lebih curam, menunjukkan bahwa beton memiliki ketahanan yang lebih besar terhadap deformasi sebelum mencapai beban maksimum. Pada umur 28 hari, beton umumnya telah menunjukkan karakteristik mekanik yang lebih stabil dibandingkan umur 7 dan 14 hari, sehingga umur tersebut banyak digunakan sebagai acuan dalam evaluasi mutu beton. Oleh karena itu, pengujian kuat tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari dilakukan untuk menggambarkan perkembangan sifat mekanik beton selama proses perawatan.

Perkembangan kuat tekan beton menunjukkan pola peningkatan yang berbeda pada setiap umur perawatan. Pada fase awal (1–7 hari), kuat tekan meningkat dengan cepat karena beton mengalami perkembangan struktur internal yang paling signifikan. Memasuki umur 7–14 hari, kuat tekan masih mengalami peningkatan, namun dengan laju yang lebih rendah dibandingkan fase awal. Setelah umur 14 hari, pertumbuhan kuat tekan mulai mendekati kondisi stabil sehingga perubahan kekuatan yang terjadi tidak lagi sebesar pada umur sebelumnya. Selain umur beton, karakteristik campuran juga memengaruhi perkembangan kuat tekan, dimana campuran dengan rasio air-semen yang lebih tinggi cenderung menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah pada umur yang sama. Oleh karena itu, pengujian kuat tekan pada beberapa umur perawatan diperlukan untuk menggambarkan perkembangan kekuatan beton secara menyeluruh hingga mencapai umur rencana 28 hari.

2.5 Penelitian Terdahulu

Hartini (2022) – *Pengaruh Penggunaan Air Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton*

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh substitusi air kelapa tua terhadap kuat tekan beton pada umur 3, 7, dan 28 hari. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan empat variasi campuran, yaitu beton normal tanpa air kelapa serta beton dengan substitusi air kelapa tua sebesar 5%, 10%, dan 15% dari berat air pencampur, menggunakan faktor air semen (FAS) sebesar 0,57. Benda uji berupa silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan

total 36 sampel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi air kelapa tua sebesar 5% dan 10% menyebabkan penurunan kuat tekan beton dibandingkan beton normal, sedangkan pada substitusi 15% nilai kuat tekan beton umur 28 hari (201,04 kg/cm²) mendekati kuat tekan beton normal (202,00 kg/cm²). Temuan ini menunjukkan bahwa air kelapa tua dapat memengaruhi perkembangan kuat tekan beton secara signifikan, dan pengaruh tersebut sangat bergantung pada persentase substitusi yang digunakan serta umur beton.

Siregar et al. (2023) – *Pengaruh Penggunaan Air Hujan terhadap Kuat Tekan Beton*

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan air hujan sebagai bahan pencampur beton terhadap perkembangan kuat tekan beton. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan membandingkan beton yang menggunakan air hujan dengan pH 5,8–6,0 dan beton yang menggunakan air PDAM dengan pH 7,0 sebagai beton pembanding. Benda uji yang digunakan berupa silinder berukuran 15 cm × 30 cm dengan total 30 sampel yang diuji pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton yang menggunakan air hujan memiliki kuat tekan lebih tinggi pada umur awal, yaitu 9,107 MPa pada umur 3 hari dan 13,830 MPa pada umur 7 hari, dibandingkan beton yang menggunakan air PDAM. Namun pada umur 14, 21, dan 28 hari terjadi penurunan kuat tekan dibandingkan beton pembanding. Pada umur 28 hari, kuat tekan beton menggunakan air hujan sebesar 17,982 MPa, sedangkan beton menggunakan air PDAM mencapai 21,490 MPa, sehingga terjadi penurunan kuat tekan sebesar 16,32%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik kimia air pencampur, khususnya nilai pH, dapat memengaruhi perkembangan kuat tekan beton pada berbagai umur.

Abdel-Magid et al. (2017) – *Effect of Magnetized Water on Workability and Compressive Strength of Concrete*

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan *magnetized water* sebagai air pencampur terhadap workability dan kuat tekan beton. Air termagnetisasi diperoleh dengan mengalirkan air melalui sistem perlakuan medan magnet sebelum digunakan dalam proses pencampuran beton. Penelitian dilakukan

menggunakan empat variasi campuran beton, yaitu satu campuran kontrol yang menggunakan air biasa dan tiga campuran yang menggunakan *magnetized water*. Pada dua campuran terakhir dilakukan pengurangan kadar semen masing-masing sebesar 12,5% dan 25% untuk mengevaluasi kemungkinan penghematan semen tanpa menurunkan kinerja beton. Seluruh campuran diuji menggunakan uji slump untuk mengetahui workability serta uji kuat tekan untuk mengevaluasi sifat mekanik beton setelah mengeras. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *magnetized water* meningkatkan kemudahan pengerjaan beton secara signifikan dan mampu meningkatkan kuat tekan beton hingga sekitar 10% dibandingkan beton yang menggunakan air biasa. Selain itu, beton yang menggunakan *magnetized water* tetap mampu mempertahankan kuat tekan yang baik meskipun kadar semen dikurangi hingga 25%. Peneliti menyimpulkan bahwa perubahan karakteristik fisik air pencampur dapat meningkatkan efektivitas proses hidrasi semen, menghasilkan struktur mikro yang lebih padat, serta meningkatkan perkembangan kuat tekan beton. Temuan ini menunjukkan bahwa karakteristik air pencampur merupakan salah satu faktor yang dapat memengaruhi kinerja beton, baik pada kondisi segar maupun setelah mengeras.

Olutoge et al. (2014) – *The Effect Sea Water on Compressive Strength of Concrete*
Olutoge dan Amusan (2014) melakukan penelitian eksperimental untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan air laut sebagai air pencampur dan media perawatan (*curing*) terhadap kuat tekan beton. Penelitian menggunakan campuran beton dengan perbandingan 1:2:4 dan faktor air semen (*water-cement ratio*) sebesar 0,6. Sebanyak 140 benda uji kubus berukuran $150 \times 150 \times 150$ mm dibuat dalam dua kelompok utama, yaitu beton yang dicampur menggunakan air tawar dan beton yang dicampur menggunakan air laut. Selanjutnya, masing-masing kelompok dirawat menggunakan air tawar maupun air laut sehingga diperoleh beberapa kombinasi perlakuan, yaitu beton yang dicampur dan dirawat menggunakan air tawar (FF), dicampur air tawar dan dirawat air laut (FS), dicampur air laut dan dirawat air tawar (SF), serta dicampur dan dirawat menggunakan air laut (SS). Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, 21, 28, dan 90 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan air laut sebagai air pencampur maupun

media curing cenderung meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan penggunaan air tawar. Pada umur 28 hari, beton dengan perlakuan SS (sea water mixed–sea water cured) menghasilkan kuat tekan sebesar 21,93 MPa, lebih tinggi dibandingkan beton kontrol FF (fresh water mixed–fresh water cured) yang sebesar 19,98 MPa. Peningkatan kuat tekan tersebut dikaitkan dengan keberadaan ion-ion terlarut dalam air laut, seperti klorida dan garam mineral lainnya, yang dapat mempercepat reaksi hidrasi pada umur awal sehingga menghasilkan struktur beton yang lebih padat. Penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik kimia air pencampur dapat memberikan pengaruh terhadap proses hidrasi semen dan perkembangan kuat tekan beton, sehingga kualitas dan komposisi air yang digunakan menjadi faktor penting dalam menentukan kinerja beton yang dihasilkan.

Tumur (2021) – *Effects of Treated Sewage Water on the Performance of Concrete*

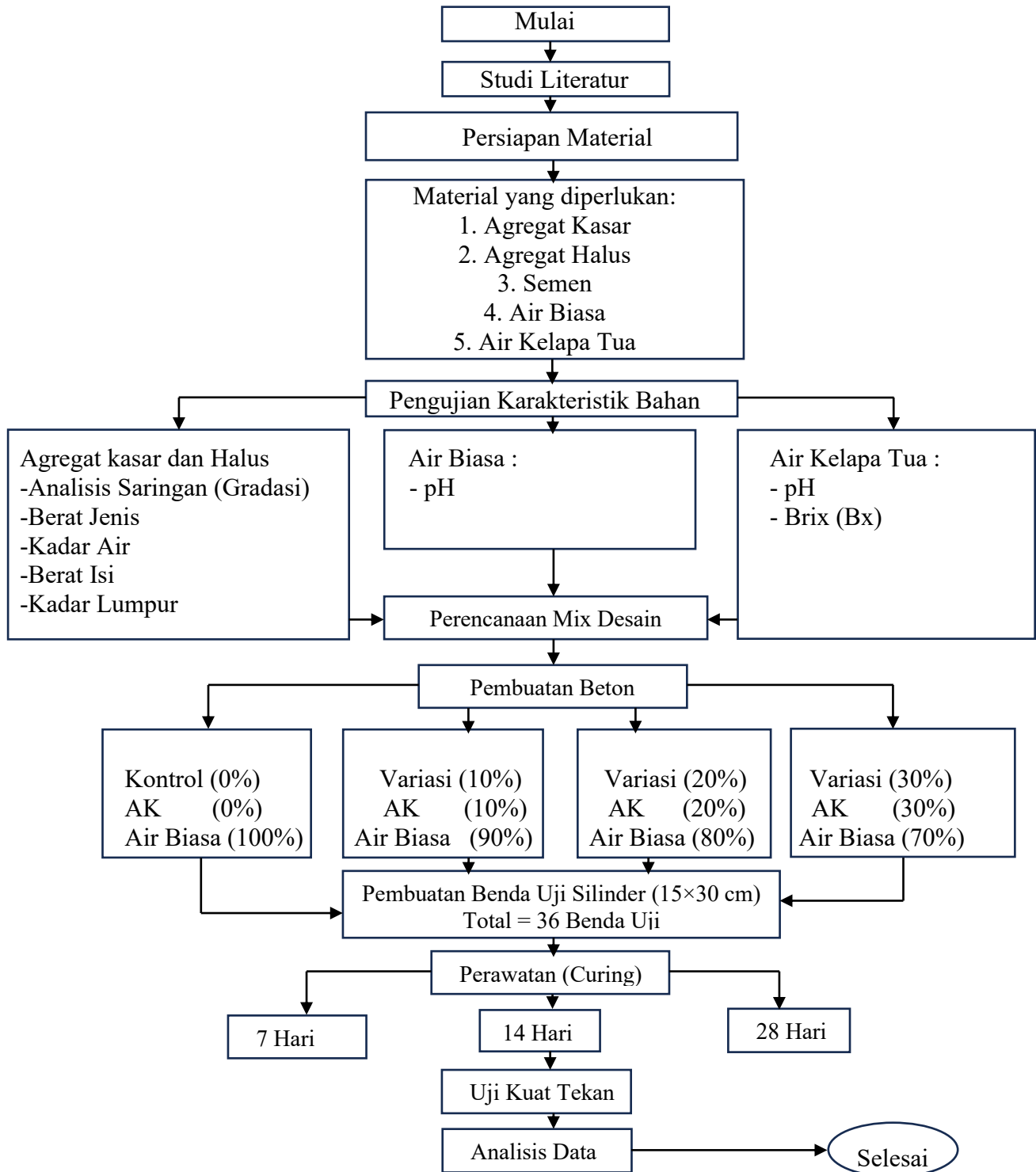
Tumur (2021) melakukan penelitian eksperimental untuk mengevaluasi kelayakan penggunaan *treated sewage water* (TSW) atau air limbah domestik terolah sebagai air pencampur dan air perawatan (*curing water*) beton. Penelitian dilakukan dengan menggunakan empat kombinasi perlakuan, yaitu beton yang dicampur dan dirawat menggunakan air minum (*CasP–CurP*), beton yang dicampur menggunakan air minum dan dirawat menggunakan TSW (*CasP–CurT*), beton yang dicampur menggunakan TSW dan dirawat menggunakan air minum (*CasT–CurP*), serta beton yang dicampur dan dirawat menggunakan TSW (*CasT–CurT*). Seluruh campuran menggunakan rasio air-semen (*water-cement ratio*) sebesar 0,47. Selain pengujian kuat tekan, penelitian ini juga mengevaluasi slump, waktu ikat, permeabilitas, kuat tarik belah, kuat lentur, ketahanan sulfat, kecepatan rambat gelombang ultrasonik, nilai pH, dan korosi tulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan TSW menyebabkan sedikit peningkatan nilai slump dan memperpanjang waktu ikat awal sekitar 30 menit dibandingkan air minum, yang menunjukkan bahwa TSW dapat memperlambat laju hidrasi pada tahap awal. Pada pengujian kuat tekan, penggunaan TSW menyebabkan penurunan kuat tekan beton sekitar 8–14% pada umur 28 hari dibandingkan beton kontrol. Namun seiring bertambahnya umur beton hingga 150 hari, selisih kuat tekan menurun menjadi sekitar 3–9%, menunjukkan bahwa beton yang menggunakan TSW tetap

mengalami perkembangan kekuatan yang baik pada umur lanjut. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa penggunaan TSW dapat menurunkan permeabilitas beton dan meningkatkan durabilitas jangka panjang tanpa mengubah sifat alkalinitas beton secara signifikan. Tümer menyimpulkan bahwa air limbah terolah berpotensi digunakan sebagai alternatif air pencampur maupun air curing beton karena tidak memberikan pengaruh negatif yang berarti terhadap perkembangan sifat mekanik dan durabilitas beton dalam jangka panjang.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian



Gambar 3.1: Bagan Alir

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU). Laboratorium tersebut digunakan sebagai tempat pelaksanaan kegiatan penelitian, meliputi persiapan dan pemeriksaan material, perencanaan campuran beton (mix design), pembuatan benda uji, perawatan (curing), dan pengujian kuat tekan beton, seperti pada tabel 3.1.

Tabel 3.1: Lokasi Penelitian

No	Lokasi Penelitian	Kegiatan
1	Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Persiapan dan pemeriksaan material, mix design, pembuatan benda uji, perawatan (curing).
2	Laboratorium Beton Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara	Uji Kuat Tekan

Penelitian dilaksanakan selama kurang lebih 6 bulan, yaitu mulai bulan Januari sampai dengan Juni 2026. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, penyusunan proposal dan bimbingan, seminar proposal, mix design, uji laboratorium, persiapan alat dan bahan, pembuatan beton, perawatan (curing), pengujian kuat tekan, pengolahan dan analisis data, pembahasan hasil, penyusunan kesimpulan, seminar hasil, serta finalisasi laporan. Adapun jadwal pelaksanaan penelitian berdasarkan tahapan dan waktu yang telah ditentukan dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2: Jadwal Pelaksanaan Penelitian

KEGIATAN	JANUAR I			FEBRUAR I				MARET				APRIL				MEI				JUNI			
MINGGU	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																							

Tabel 3.2: *Lanjutan* Jadwal Pelaksanaan Penelitian

[illegible]

3.3 Bahan dan Alat Penelitian

3.3.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- ## 1. Semen Portland

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Portland tipe I yang berfungsi sebagai bahan pengikat utama dalam campuran beton, yaitu mengikat agregat halus dan agregat kasar melalui proses hidrasi semen. Semen Portland tipe I dipilih karena merupakan jenis semen yang paling umum digunakan pada beton struktural dan penelitian laboratorium, serta memiliki karakteristik hidrasi yang relatif stabil. Semen yang digunakan

secara komersial adalah Semen Tiga Roda, yang telah memenuhi persyaratan mutu sesuai dengan SNI 2049. Semen Portland tipe I secara umum mengandung senyawa utama seperti trikalsium silikat (C_3S) dan dikalsium silikat (C_2S) yang berperan dominan dalam perkembangan kekuatan beton dan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air selama proses curing. Oleh karena itu, penggunaan semen ini memungkinkan pengaruh media curing, khususnya air kelapa tua, terhadap proses hidrasi semen dan perkembangan kuat tekan beton dapat diamati secara lebih jelas tanpa dipengaruhi oleh variasi jenis semen (Udin Safar, 2004).



Gambar 3.2: Semen Tiga Roda

2. Agregat halus

Agregat halus berfungsi sebagai pengisi rongga antar agregat kasar serta berperan dalam meningkatkan kepadatan dan kemudahan pengerjaan (workability) campuran beton. Agregat halus yang digunakan berupa pasir alami yang bersih, bebas dari bahan organik berbahaya, dan memiliki gradasi yang memenuhi persyaratan standar. Berdasarkan SNI 2461, agregat halus untuk beton harus lolos saringan No. 4 (4,75 mm) serta memiliki kadar lumpur maksimum yang diizinkan agar tidak mengganggu ikatan antara pasta semen dan agregat. Agregat halus dengan gradasi dan kebersihan yang baik memungkinkan pasta semen menyelimuti butiran pasir secara merata, sehingga proses hidrasi semen selama curing dapat berlangsung lebih efektif dan berkontribusi terhadap perkembangan kuat tekan beton. Oleh karena itu, pasir yang digunakan disaring dan diuji gradasinya menggunakan metode

analisis saringan sesuai SNI ASTM C136 untuk memastikan distribusi ukuran butiran berada dalam batas yang dipersyaratkan (Khan & Baradan, 2022).



Gambar 3.3: Agregat Halus

3. Agregat kasar

Agregat kasar berfungsi sebagai rangka utama beton yang berperan dominan dalam menahan beban tekan serta menjaga stabilitas volume beton. Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah (crushed stone) dengan ukuran maksimum nominal 20 mm, yang dipilih agar sesuai dengan standar beton normal serta dimensi cetakan benda uji silinder. Berdasarkan SNI 2461:2014, agregat kasar harus memiliki ukuran butiran lebih besar dari saringan No. 4 (4,75 mm) dan memenuhi persyaratan gradasi, kekerasan, keausan, serta penyerapan air. Oleh karena itu, agregat kasar disaring dan diuji gradasinya menggunakan analisis saringan sesuai SNI ASTM C136:2012 untuk memastikan distribusi ukuran butiran berada dalam batas yang dipersyaratkan. Agregat kasar yang memiliki gradasi baik, permukaan kasar, serta tingkat keausan rendah memungkinkan ikatan mekanis yang lebih kuat dengan pasta semen, sehingga proses hidrasi selama curing dapat berlangsung secara efektif dan mendukung perkembangan kuat tekan beton. Agregat kasar yang digunakan berasal dari stone crusher lokal yang telah memenuhi persyaratan sifat fisik agregat sesuai standar SNI, tanpa bergantung pada merek tertentu (Mukti et al., 2023)



Gambar 3.4: Agregat Kasar

4. Air bersih (air biasa) sebagai media curing beton kontrol

Air bersih digunakan sebagai media curing beton kontrol yang berfungsi menjaga kelembapan beton selama proses hidrasi semen sehingga reaksi hidrasi dapat berlangsung secara optimal dan perkembangan kuat tekan beton berjalan normal. Air yang digunakan harus memenuhi persyaratan air untuk beton, yaitu bersih, tidak mengandung minyak, asam, garam, bahan organik, atau zat lain yang dapat mengganggu proses hidrasi semen. Berdasarkan SNI 2847:2019, air yang layak digunakan untuk beton adalah air yang memenuhi mutu air bersih, seperti air laboratorium atau air PDAM. Air yang digunakan tidak memerlukan proses penyaringan khusus apabila telah memenuhi persyaratan mutu tersebut. Air dengan kualitas yang baik memungkinkan ketersediaan air yang cukup pada permukaan beton selama curing, sehingga pembentukan produk hidrasi semen berlangsung secara merata dan menghasilkan ikatan pasta semen–agregat yang optimal. Penggunaan air bersih sebagai media curing kontrol bertujuan sebagai pembandingan terhadap media curing air kelapa tua dalam penelitian ini (Badan Standardisasi Nasional, 2013).



Gambar 3.5: Air Bersih

5. Air kelapa tua (*Cocos nucifera*) sebagai media pencampur beton

Air kelapa tua digunakan sebagai media curing beton perlakuan untuk mengamati pengaruh kandungan zat terlarut aktif terhadap proses hidrasi semen dan perkembangan kuat tekan beton. Air kelapa tua yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti karakteristik air kelapa segar sebagaimana dijelaskan oleh FAO dan Codex Alimentarius, yaitu berasal dari buah kelapa tua segar, tidak difermentasi, tanpa penambahan bahan lain dan memiliki pH relatif asam hingga mendekati netral, yaitu berada pada kisaran pH 4,5–5,5, serta mengandung zat terlarut yang lebih stabil (FAO, 2011; Codex Alimentarius Commission, 2005)



Gambar 3.6: Air Kelapa Tua

3.3.2 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang bahan penyusun beton seperti semen, agregat halus, dan agregat kasar agar proporsi campuran sesuai dengan mix design yang telah ditentukan. Timbangan yang digunakan harus memiliki ketelitian minimal 0,1 gram untuk menjamin akurasi penimbangan material. Timbangan digital yang umum digunakan dalam penelitian laboratorium antara lain merek Ohaus atau AND, yang telah memenuhi ketelitian pengukuran sesuai standar pengujian material beton. Penimbangan material yang akurat sangat penting untuk menjaga konsistensi mutu beton antar benda uji (SNI 7656:2012; ASTM C192).



Gambar 3.7: Timbangan Digital

2. Concrete mixer / alat pencampur beton

Concrete mixer digunakan untuk mencampur semen, agregat halus, agregat kasar, dan air sehingga diperoleh campuran beton yang homogen. Penggunaan concrete mixer bertujuan untuk memastikan distribusi material yang merata dan mengurangi kesalahan pencampuran manual. Alat pencampur beton yang umum digunakan dalam penelitian laboratorium adalah concrete mixer tipe drum dengan kapasitas kecil–menengah, seperti merek Molen Tiger atau Krisbow, yang sesuai untuk pembuatan beton skala laboratorium. Proses pencampuran beton mengacu pada prosedur pencampuran beton normal sesuai standar (SNI 7656:2012; ASTM C192).



Gambar 3.8: Concrete Mixer

3. Cetakan benda uji beton

Cetakan benda uji beton digunakan untuk membentuk beton segar menjadi benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu. Cetakan yang digunakan berupa cetakan silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm yang merupakan ukuran standar untuk pengujian kuat tekan beton. Cetakan umumnya terbuat dari baja atau besi yang kaku dan tidak mudah berubah bentuk, seperti cetakan merek Controls atau Humboldt. Penggunaan cetakan standar bertujuan agar hasil uji kuat tekan dapat dibandingkan dengan hasil penelitian lain (SNI 1974:2011; ASTM C470).



Gambar 3.9: Cetakan Benda Uji Beton

4. Alat uji slump

Alat uji slump digunakan untuk mengukur tingkat kelecakan (*workability*) beton segar sebelum pengecoran ke dalam cetakan benda uji. Alat ini terdiri dari kerucut Abrams berbentuk frustum dengan tinggi 300 mm, diameter alas bawah 200 mm, dan diameter atas 100 mm, dilengkapi dengan batang

pemadat baja berdiameter 16 mm dan panjang 600 mm, serta alas datar yang kaku dan tidak menyerap air. Pengujian slump dilakukan untuk memastikan konsistensi beton segar sesuai dengan rancangan campuran dan kemudahan pengerjaan di lapangan. Alat uji slump yang umum digunakan dalam penelitian laboratorium antara lain merek Controls atau Matest, dengan prosedur pengujian yang mengacu pada SNI 1972:2008 dan ASTM C143, sehingga hasil pengujian dapat dibandingkan secara ilmiah (SNI 1972:2008; ASTM C143).



Gambar 3.10: Uji Slump

5. Bak/wadah curing

Bak atau wadah curing digunakan sebagai tempat perendaman benda uji beton selama proses curing untuk menjaga kelembapan beton. Wadah curing harus mampu menampung air curing dalam jumlah cukup dan menjaga seluruh permukaan benda uji tetap terendam. Bak curing yang digunakan umumnya berupa bak plastik atau fiber yang tidak bereaksi dengan media curing, sebagaimana lazim digunakan dalam penelitian beton. Proses curing beton dilakukan sesuai ketentuan standar perawatan beton.



Gambar 3.11: Bak/Wadah Curing

6. pH meter

pH meter digunakan untuk mengukur tingkat keasaman (pH) media curing, baik air bersih maupun air kelapa tua, guna memastikan karakteristik kimia media curing selama penelitian. Alat ini penting untuk mengetahui perbedaan kondisi kimia antara media curing kontrol dan perlakuan. pH meter yang umum digunakan dalam penelitian laboratorium antara lain merek Hanna Instruments atau Lutron, yang memiliki tingkat akurasi tinggi dan mudah dikalibrasi. Pengukuran pH dilakukan sesuai dengan standar pengujian larutan cair (ISO 10523; ASTM E70).



Gambar 3.12: pH meter

7. Refractometer (°Brix)

Refractometer digunakan untuk mengukur kadar gula terlarut dalam air kelapa tua yang dinyatakan dalam satuan derajat Brix (°Brix). Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi zat terlarut aktif yang berpotensi memengaruhi proses hidrasi semen. Refractometer digital atau analog yang umum digunakan dalam penelitian antara lain merek Atago atau Hanna, yang banyak digunakan pada pengujian cairan berbasis gula. Pengujian kadar gula dilakukan sesuai standar pengukuran indeks bias larutan (AOAC 932.12; ISO 2173).



Gambar 3.13: Refracnometer

8. Mesin uji kuat tekan (*Universal Testing Machine*)

Mesin uji kuat tekan digunakan untuk mengukur kuat tekan beton pada umur tertentu sesuai dengan rencana pengujian. Mesin ini bekerja dengan memberikan beban tekan secara bertahap hingga benda uji mengalami keruntuhan. Mesin uji kuat tekan yang digunakan umumnya berupa *Universal Testing Machine* atau *Compression Testing Machine* dengan kapasitas sesuai kebutuhan, seperti merek *Controls*, *Matest*, atau *Tinius Olsen*. Pengujian kuat tekan beton dilakukan sesuai dengan prosedur standar agar hasil pengujian akurat dan dapat dibandingkan secara ilmiah (SNI 1974:2011; ASTM C39).



Gambar 3.14: Mesin Uji Kuat Tekan

3.4 Pengujian Karakteristik Bahan

Sebelum pembuatan beton, dilakukan pengujian karakteristik bahan untuk memastikan kualitas material yang digunakan. Pengujian agregat meliputi uji gradasi, berat jenis, dan kadar air. Sementara itu, air kelapa tua diuji karakteristik kimianya berupa nilai pH dan kadar gula sebagai data pendukung dalam analisis pengaruh media curing terhadap kuat tekan beton.

3.4.1 Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian agregat meliputi uji gradasi, berat jenis, dan kadar air. Uji gradasi dilakukan untuk memastikan distribusi ukuran butiran agregat berada dalam batas standar sehingga menghasilkan beton yang padat dan mudah dikerjakan. Uji berat jenis digunakan untuk mengetahui karakteristik fisik agregat yang berpengaruh terhadap proporsi campuran beton. Sementara itu, uji kadar air dilakukan untuk mengetahui kondisi kelembapan agregat yang dapat memengaruhi jumlah air efektif dalam campuran beton. Seperti pada tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3: Pengujian Karakteristik Agregat

Parameter	Agregat Halus	Agregat Kasar	Acuan
Gradasi	Lolos saringan No. 4 (4,75 mm), berada dalam zona gradasi pasir beton.	Tertahan saringan No. 4 (4,75 mm), ukuran nominal maks. 19 mm.	ASTM C136:2012
Berat Jenis (SSD)	2,40-2,70	2,50-2,80	SNI 1970:2016 & SNI 1969:2016
Kadar Air Alami	1 – 5 %	0,5 – 3 %	ASTM C566; Mehta & Monteiro (2014)

3.4.2 Pengujian Karakteristik Air Kelapa Tua

Pengujian karakteristik air kelapa tua pada penelitian ini meliputi pengujian

pH dan kadar gula. Kedua parameter tersebut diuji sebelum air kelapa digunakan sebagai bahan substitusi sebagian air pencampur beton. Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik awal air kelapa yang berpotensi memengaruhi proses hidrasi semen dan perkembangan kuat tekan beton.

3.4.2.1 Penentuan Pengujian Kadar Gula Air Kelapa

Pengujian kadar gula dilakukan untuk mengetahui kandungan gula pada air kelapa tua yang digunakan sebagai bahan substitusi sebagian air pencampur beton. Pengujian menggunakan refraktometer digital. Pengambilan data dilakukan setiap 30 menit selama proses pembuatan seluruh benda uji beton. Nilai yang terbaca pada alat dinyatakan dalam satuan Brix. Selanjutnya, nilai hasil pengukuran dihitung rata-ratanya menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (3.1)$$

Keterangan :

- $\bar{X}$: nilai rata rata kadar gula (Brix)
 X_i : hasil pengukuran pada setiap interval
 n : jumlah pengukuran

Nilai rata- rata kadar gula yang diperoleh dari hasil pengukuran digunakan sebagai dasar untuk mengetahui karakteristik kandungan gula pada air kelapa tua sebelum digunakan sebagai bahan substitusi sebagian air pencampur beton. Sebagai acuan dalam penelitian ini, kisaran kadar gula air kelapa tua umum dijumpai berdasarkan literatur disajikan pada tabel 3.4.

Tabel 3.4: Penentuan Pengujian Kadar Gula Air Kelapa

Parameter	Kisaran Nilai	Keterangan	Acuan
Kadar Gula	4-6 Brix	Menunjukkan kandungan gula terlarut alami	FAO (2011); jurnal kimia pangan

3.4.2.2 Penentuan Pengujian pH Air Kelapa

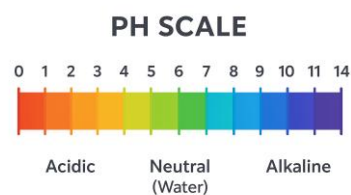
Pengujian pH dilakukan untuk mengetahui tingkat keasaman air kelapa tua

yang digunakan sebagai bahan substitusi sebagian air pencampur beton. Nilai pH merupakan salah satu parameter yang dapat memengaruhi proses hidrasi semen sehingga perlu diketahui sebelum air kelapa digunakan dalam pembuatan benda uji. Pengujian dilakukan menggunakan pH meter digital yang telah dikalibrasi sesuai petunjuk penggunaan alat. Sampel air kelapa tua ditempatkan pada wadah bersih, kemudian elektroda pH meter dicelupkan ke dalam sampel hingga pembacaan nilai stabil. Nilai pH yang ditampilkan pada alat kemudian dicatat sebagai hasil pengukuran. Nilai pH yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan kisaran pH air kelapa tua berdasarkan literatur sebagai acuan karakteristik bahan yang digunakan dalam penelitian. Kisaran nilai pH air kelapa tua berdasarkan literatur disajikan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5: Penentuan Pengujian pH Air Kelapa

Parameter	Kisaran Nilai	Keterangan	Acuan
pH	4,5-5,5	Bersifat asam ringan hingga mendekati netral	FAO (2011); jurnal kimia pangan

Skala pH memiliki rentang nilai 0-14, di mana pH 7 menunjukkan kondisi netral, pH kurang dari 7 menunjukkan larutan bersifat asam, sedangkan pH lebih dari 7 menunjukkan larutan bersifat basa (alkalis). Semakin kecil nilai pH, maka tingkat keasaman suatu larutan semakin tinggi. Sebaliknya, semakin besar nilai pH, maka larutan semakin bersifat basa. Skala pH yang digunakan sebagai acuan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15: Penentuan Skala pH

3.5 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton pada penelitian ini dilakukan untuk benda uji berbentuk silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm, sesuai dengan ketentuan pengujian kuat tekan beton berdasarkan SNI 1974:2011. Metode perencanaan campuran beton mengacu pada SNI 7656:2012 untuk beton normal. Campuran beton yang telah ditetapkan digunakan secara seragam untuk seluruh 18 benda uji, sehingga variasi hasil kuat tekan beton hanya dipengaruhi oleh perbedaan media curing.

3.5.1 Data Perencanaan Beton

Dalam hal ini, penulis melaksanakan pengujian dasar terhadap agregat halus dan agregat kasar, guna memperoleh nilai yang diperlukan untuk perencanaan campuran beton. Setelah pengujian dasar dilakukan, data yang diperoleh akan dimanfaatkan untuk menyusun perencanaan campuran beton (*mix design*) yang dibutuhkan. Proses perencanaan campuran beton ini mengacu pada pedoman SNI 7656:2012. Berikut tabel 3.6.

Tabel 3.6: Data Perencanaan Beton

Keterangan	Nilai	Satuan
Mutu Beton	20	Mpa
Slump	75-100	mm
Ukuran Agregat Maksimum	19	mm
Berat Kering Oven Agregat Kasar	1657,83	gr
Berat Jenis Semen Tanpa Tambahan Udara	3,15	gr/cm ³
Modulus Kehalusan Agregat Halus	2,61	mm
Berat Jenis Agregat Kasar	2,57	gr/cm ³
Berat Jenis Agregat Halus	2,47	gr/cm ³
Penyerapan Air Agregat Kasar	1,01	%
Penyerapan Air Agregat Halus	2,52	%

3.5.2 Langkah Perhitungan Campuran Beton

Berikut ini merupakan tahapan-tahapan perhitungan yang dilakukan untuk menentukan kebutuhan material per 1 m³ beton yang akan dibuat:

1. Kebutuhan Air Pencampur

Tabel 3.7: Perkiraan Kebutuhan Air Pencampur dan Kadar Udara Berbagai Slump dan Ukuran Nominal Agregat Maksimum Batu Pecah SNI-7656, 2012 (Badan Standarisasi Nasional, 2012).

Air (kg/m ³) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
Slump (mm)	9,5 mm	12,7 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Beton tanpa tambahan udara								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
Beton tanpa tambahan udara								
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
>175	-	-	-	-	-	-	-	-
Banyaknya udara dalam beton (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Beton dengan tambahan udara								
25-50	181	175	168	160	150	142	122	107
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
150-175	216	205	197	184	174	166	154	-
>175	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah kadar udara yang disarankan untuk tingkat pemaparan sebagai berikut								
Ringan (%)	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Sedang (%)	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Berat (%)	7.5	7.0	6.0	6.0	6.0	5.0	4.5	4.0

Berdasarkan tabel di atas, untuk ukuran maksimum agregat kasar 19 mm dengan jumlah rentang nilai slump 75-100 mm dan jenis beton tanpa tambahan udara maka Banyaknya air pencampuran adalah 205 kg/m³.

2. Rasio Air Semen

Berdasarkan SNI 7656:2012, apabila dilakukan pembuatan campuran uji untuk membuktikan hubungan kekuatan atau mengevaluasi kembali kekuatan suatu campuran beton, maka harus digunakan air pencampur dalam jumlah minimal dan kadar udara yang paling rendah. Nilai maksimum kadar udara yang diperbolehkan tetap harus diperhatikan dan pengujian beton yang dilakukan dengan target slump setinggi mungkin sesuai batas yang ditetapkan. Apabila kadar air atau kadar udara pada beton lebih rendah dari ketentuan, maka proporsi material penyusunan beton perlu disesuaikan agar campuran beton yang dihasilkan memenuhi karakteristik yang diinginkan seperti tabel 3.8.

Tabel 3.8: Hubungan antara rasio air-semen (w/c) atau rasio air- bahan bersifat semen $\{w/(c+p)\}$ dan kekuatan beton (SNI-7656, 2012).

Kekuatan Beton umur 28 hari (Mpa)	Rasio air-semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0.42	-
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Mengacu pada tabel di atas, rasio air terhadap semen yang digunakan adalah sebesar 0.69% yang disesuaikan dengan target kuat tekan beton sebesar 20 Mpa.

3. Kadar Semen

Untuk mendapatkan kebutuhan semen, perkiraan kebutuhan air pencampur (Tabel 3.5) dibagi dengan rasio air semen (Tabel 3.6). Maka kebutuhan semen didapat sebagai berikut:

$$\text{Kadar Semen} = \frac{\text{Kadar Air Pencampur}}{\text{Rasio Air Semen}} = \frac{205}{0.69} = 297,10 \text{ kg}$$

4. Berat Kering Agregat Kasar

Jika agregat tertentu dalam kondisi kering oven digunakan pada setiap satuan volume beton, maka agregat dengan ukuran nominal maksimum dan gradasi yang serupa akan menghasilkan beton dengan mutu dan tingkat kelecakan (*workability*) yang baik. Informasi mengenai volume agregat kasar per satuan volume beton dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9: Volume agregat kasar per satuan volume beton (SNI-7656, 2012).

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven persatuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Berdasarkan tabel di atas maka nilai yang diambil adalah 0.64 sebagai volume agregat kasar kering oven. Sehingga diperoleh berat kering agregat kasar sebagai berikut:

Berat Kering Agregat Kasar = (Volume agregat kasar kering oven × Berat kering oven agregat kasar)

Berat Kering Agregat Kasar = (0.64 × 1657,83)

Berat Kering Agregat Kasar = 1061,01 kg

5. Perkiraan Awal Berat Beton Segar

Apabila berat beton segar per satuan volume dapat diperkirakan berdasarkan data empiris atau pengalaman dari penelitian terdahulu maupun acuan teknis, maka perhitungan kebutuhan agregat halus dapat ditentukan secara tidak langsung. Metode ini dilakukan dengan cara menghitung selisih antara berat total beton segar per satuan volume dengan jumlah berat dari seluruh material penyusun lainnya, seperti semen, air, serta agregat kasar. Kebutuhan agregat halus dapat dihitung sebagai selisih antara berat beton segar dengan jumlah berat seluruh bahan lainnya (SNI 7656:2012). Estimasi awal berat beton segar dapat dilihat pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10: Perkiraan awal beton segar (SNI-7656, 2012).

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/m ³	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9.5	2280	2200
12.5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37.5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Dari tabel diatas, maka perkiraan awal beton yaitu 2345 kg/m³. Sehingga untuk memperoleh berat agregat halus dapat dihitung sebagai berikut:

Air = 205,00 kg
Semen = 297,10 kg
Agregat Kasar = 1061,01 kg

+

$$\begin{aligned}
\text{Jumlah} &= 1563,11 \text{ kg} \\
\text{Sehingga berat agregat halus} & \\
\text{Agregat Halus} &= 2345-1563,11 \\
\text{Agregat Halus} &= 781,89 \text{ kg}
\end{aligned}$$

6. Volume Absolut

Perhitungan kebutuhan agregat halus harus dilakukan berdasarkan volume absolut dengan mempertimbangkan proporsi dari agregat kasar, air, udara, dan semen. Adapun rumus untuk menentukan isi agregat halus adalah sebagai berikut :

- $$\begin{aligned}
\bullet \text{ Volume air} &= \frac{205}{1000} \\
&= 0,205 \text{ m}^3
\end{aligned}$$
- $$\begin{aligned}
\bullet \text{ Volume padat semen} &= \frac{297,101}{3,15 \times 1000} \\
&= 0,094 \text{ m}^3
\end{aligned}$$
- $$\begin{aligned}
\bullet \text{ Volume agregat kasar} &= \frac{1061,01}{2,57 \times 1000} \\
&= 0,412 \text{ m}^3
\end{aligned}$$
- $$\begin{aligned}
\bullet \text{ Volume udara terperangkap} &= 1\% \times 1 \\
&= 0,01 \text{ m}^3
\end{aligned}$$
- $$\begin{aligned}
\bullet \text{ Volume padat selain agregat halus} &= (0,205+0,094+0,412+0,01) \\
&= 0,722 \text{ m}^3
\end{aligned}$$
- $$\begin{aligned}
\bullet \text{ Volume agregat halus yang dibutuhkan} &= 1-0,722 \\
&= 0,277 \text{ m}^3
\end{aligned}$$
- $$\begin{aligned}
\bullet \text{ Berat agregat halus yang dibutuhkan} &= 0,277 \times 2,47 \times 1000 \\
&= 686,258 \text{ kg}
\end{aligned}$$

7. Perbandingan Berat

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 7656:2012, diperoleh perbandingan massa antara air, semen, agregat halus dalam kondisi kering, serta agregat kasar dalam kondisi sering sebagaimana disajikan pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11: Perbandingan berat bahan.

Keterangan	Berdasarkan perkiraan massa beton (kg)	Berdasarkan volume absolut (kg)
Air (berat bersih)	205	205
Semen	297,10	297,10
Agregat Kasar (Kering)	1061,01	1061,01
Agregat Halus (Kering)	781,88	686,258

8. Koreksi Terhadap Kandungan Air

Hasil pengujian kadar air menunjukkan besarnya kandungan air yang terdapat dalam agregat sebagaimana tercantum di bawah ini. Apabila proporsi campuran percobaan didasarkan pada asumsi berat (massa), maka massa agregat perlu disesuaikan menjadi:

Kadar Air Agregat yang didapat:

Agregat Kasar	: 1,63%
Agregat Halus	: 5.36 %
Agregat Kasar (Basah)	: $1061,01 \times (1 + 0,0163) = 1078,30 \text{ kg}$
Agregat Halus (Basah)	: $781,88 \times (1+ 0.0536) = 823,80 \text{ kg}$

Air yang diserap tidak menjadi bagian dari air pencampur dan harus dikeluarkan dari penyesuaian dalam air yang ditambahkan, sehingga :

Air yang diberikan agregat kasar	: $1,63\% - 1,01 \% = 0,62 \%$
Air yang diberikan agregat halus	: $5,36\% - 2.52\% = 2,84\%$

Dengan demikian kebutuhan air untuk proporsi campuran beton adalah sebagai berikut:

$$205 - (1061,01 \times 0.62\%) - (781,88 \times 2,84\%) = 177,33 \text{ kg}$$

Maka perkiraan 1 m³ beton memerlukan bahan sebagai berikut :

Air (yang ditambahkan)	: 176,24 kg
Semen	: 297,10 kg
Agregat Kasar	: 1078,26 kg
Agregat Halus	: 823,80 kg

3.5.3 Mix Design Beton per Benda Uji Silinder ($\varnothing 15 \times 30$ cm)

Pada penelitian ini digunakan beton normal dengan mutu rencana $f_c' = 20$ MPa sebagai beton kontrol. Pemilihan mutu tersebut didasarkan pada tujuan penelitian yang berfokus pada pengaruh substitusi air kelapa tua terhadap kuat tekan beton. Oleh karena itu, diperlukan campuran beton normal yang memiliki proporsi material sesuai standar. Perancangan campuran beton mengacu pada SNI 7656:2012 mutu FC-20 yang digunakan sebagai dasar penentuan kebutuhan material penyusun beton dan telah ditentukan berdasarkan tabel 3.12.

Tabel 3.12: Mix Desain Beton per 1 m^3

Material	Kebutuhan per benda uji Per 1 m^3 (kg)	Kebutuhan per benda uji (kg)	Kebutuhan Benda Uji (gram)
Air	176,24	0,9339	933,90
Semen	297,10	1,5746	1574,60
Agregat Halus	823,80	4,3661	4366,14
Agregat Kasar	1078,26	5,7147	5714,70

3.5.4 Kebutuhan Material

Kebutuhan material penyusun campuran beton ini didapatkan melalui hasil perhitungan mix design di atas yang dirincikan sebagai berikut:

Benda uji pada penelitian ini berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Volume benda uji silinder dihitung menggunakan persamaan:

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \quad (3.2)$$

Keterangan :

V : volume Benda Uji (m^3)

d : diameter benda uji (cm)

t : tinggi benda uji (cm)

Π : 3,14

Diameter : 15 cm

Tinggi : 30 cm

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= \frac{1}{4} \times \Pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 15^2 \times 30 \\ &= 5298,75 \text{ cm}^3 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3\end{aligned}$$

1. Benda uji pada penelitian ini berbentuk silinder dengan data berikut:

n = 36 buah

Volume = $0,0053 \text{ m}^3$

2. Jumlah bahan material yang dibutuhkan untuk membuat 1 benda uji normal dengan bentuk silinder berukuran 15 cm $\times$ 30 cm adalah sebagai berikut:

Air = 933,9 gr

Semen = 1574,6 gr

Agregat Halus = 4366,14 gr

Agregat Kasar = 5714,7 gr

Berikut penjelasan perhitungannya :

$$\begin{aligned}1. \text{ Air} &= 176,24 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3 \\ &= 0,9339 \text{ kg} \\ &= 933,9 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}2. \text{ Semen} &= 297,10 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3 \\ &= 1,5746 \text{ kg} \\ &= 1574,6 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}3. \text{ Agregat Halus} &= 823,80 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3 \\ &= 4,36614 \text{ kg} \\ &= 4366,14 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
4. \text{ Agregat Kasar} &= 1078,26 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3 \\
&= 5,71477 \text{ kg} \\
&= 5714,7 \text{ gram}
\end{aligned}$$

3.5.5 Proporsi Campuran Air Kelapa

Pada penelitian ini, air kelapa tua digunakan sebagai substitusi sebagian air pencampur dengan variasi sebesar 10%, 20%, dan 30% dari total kebutuhan air campuran beton. Jumlah total air pada setiap variasi dibuat tetap, yaitu 933 gram untuk setiap benda uji. Perbedaannya hanya terletak pada perbandingan antara air biasa dan air kelapa yang digunakan sebagai air pencampur dan dapat dilihat pada tabel 3.13.

Tabel 3.13: Campuran air Kelapa

Variasi	Air Biasa	Air Kelapa	Total Air
Normal	933,9	0	933,9
AK 10%	840,51	93,39	933,9
AK 20%	747,12	186,78	933,9
AK 30%	653,73	280,17	933,9

Selanjutnya, perhitungan kebutuhan air untuk masing-masing variasi dijelaskan sebagai berikut.

1. Perhitungan Variasi 10%

Total Kebutuhan air untuk satu benda uji = 934,00 gram

Persentase Air Kelapa = 10%

Air Kelapa = $10\% \times 933,90 = 93,39 \text{ gram}$

Air Biasa = $933,90 - 93,39 = 840,51 \text{ gram}$

2. Perhitungan Variasi 20%

Total Kebutuhan air untuk satu benda uji = 933,90 gram

Persentase Air Kelapa = 20%

Air Kelapa = $20\% \times 933,90 = 186,78 \text{ gram}$

Air Biasa = $933,90 - 186,78 = 747,12 \text{ gram}$

3. Perhitungan Variasi 30%

Total Kebutuhan air untuk satu benda uji = 933,90 gram

Persentase Air Kelapa = 30%

Air Kelapa = $30\% \times 933,90 = 280,17$ gram

Air Biasa = $933,90 - 280,17 = 653,73$ gram

3.6 Pembuatan Beton dan Benda Uji

Pembuatan beton dilakukan dengan menimbang seluruh bahan sesuai hasil mix design. Proses pencampuran dilakukan hingga beton mencapai kondisi homogen, kemudian dilakukan uji slump untuk mengetahui tingkat kelecakan beton segar. Beton segar selanjutnya dituangkan ke dalam cetakan benda uji, dipadatkan, dan dibiarkan selama ± 24 jam sebelum dilepas dari cetakan. Seluruh benda uji beton dibuat dengan komposisi campuran dan faktor air semen (FAS) sama. Perbedaan perlakuan hanya terletak pada variasi air kelapa yang terdapat 10%, 20%, 30%, sehingga variasi kuat tekan beton yang diperoleh secara langsung mencerminkan pengaruh media substitusi ai terhadap kinerja beton. Berikut jumlah pembuatan beton dalam berbagai umur pada tabel 3.14.

Tabel 3.14: Pembuatan Beton dan Benda Uji

Nama Beton	7 Hari	14 Hari	28 Hari	Total
Kontrol	3	3	3	9
AK 10%	3	3	3	9
AK 20%	3	3	3	9
AK 30%	3	3	3	9
Total	12	12	12	36

3.7 Penentuan nilai *slump test*

Pengujian Slump dilakukan dengan cara memasukkan beton segar kedalam kerucut Abrams (setiap pengambilan bahan harus mewakili adukan tersebut) sebanyak 3 lapis. Tiap lapis berkisar $1/3$ bagian dari tinggi kerucut, dan tiap lapis

dilakukan penusukan/rojokan sebanyak 25 kali. Tongkat penusukan atau tongkat rojok harus masuk sampai bawah tiap-tiap lapisan. Setelah pengisian beton segar kedalam kerucut Abrams selesai, ratakan permukaan kerucut lalu diamkan selama 10 detik. Setelah itu angkat kerucut Abrams dengan cara tegak lurus sampai beton segar terlepas dari kerucut, ukur selisih tinggi kerucut Abrams dengan tinggi adukan sesuai dengan (SNI-1972, 2008).

3.8 Perawatan Beton (Curing)

Setelah beton dilepas dari cetakan pada umur ± 24 jam, seluruh benda uji dirawat menggunakan metode perendaman penuh (*immersed curing*) dalam air bersih hingga mencapai umur pengujian. Perawatan dilakukan untuk menjaga ketersediaan air selama proses hidrasi semen berlangsung. Seluruh variasi beton, baik beton normal maupun beton dengan substitusi air kelapa tua, menggunakan metode curing yang sama sehingga perbedaan kuat tekan yang diperoleh berasal dari variasi kadar air kelapa tua sebagai air pencampur.

3.9 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan beban tekan pada umur tertentu. Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji tekan (Universal Testing Machine/UTM) terhadap benda uji beton berbentuk silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm pada umur 7, 14, dan 28 hari. Seluruh prosedur pengujian dalam penelitian ini mengacu pada SNI 1974:2011 – Cara uji kuat tekan beton, yang merupakan standar nasional Indonesia untuk pengujian kuat tekan beton di laboratorium dan sejalan dengan standar internasional ASTM C39.

Mesin uji tekan yang digunakan berfungsi memberikan beban tekan secara bertahap dan terkontrol hingga benda uji beton mengalami keruntuhan. Penggunaan mesin uji tekan yang memenuhi standar sangat penting karena ketidakterkendalian laju pembebanan, ketidakrataan plat tekan, atau ketidaksentrisan posisi benda uji dapat menyebabkan distribusi tegangan yang tidak merata dan menghasilkan nilai kuat

tekan yang tidak representatif. Oleh karena itu, mesin uji tekan yang digunakan telah memenuhi persyaratan pengujian beton sesuai dengan SNI 1974:2011.

Sebelum pengujian, benda uji beton dikeluarkan dari media curing dan permukaan atas serta bawah benda uji dibersihkan. Benda uji kemudian diletakkan secara sentris di antara plat tekan mesin uji. Beban tekan diberikan secara kontinu hingga benda uji mengalami keruntuhan, dan beban maksimum yang tercatat pada saat keruntuhan dicatat sebagai beban runtuh (P). Pemberian beban secara bertahap sesuai standar bertujuan untuk menghindari efek kejutan (*shock loading*) yang dapat memengaruhi hasil pengujian.

Nilai kuat tekan beton dihitung berdasarkan perbandingan antara beban maksimum yang diterima benda uji dengan luas penampang beton, sesuai dengan persamaan:

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (3.3)$$

di mana f_c adalah kuat tekan beton (MPa), P adalah beban maksimum (N), dan A adalah luas penampang benda uji (mm^2). Untuk benda uji silinder berdiameter 150 mm, luas penampang beton adalah sebesar 17.671 mm^2 . Penggunaan rumus dan prosedur yang sama untuk seluruh benda uji memastikan bahwa perbedaan nilai kuat tekan beton yang diperoleh benar-benar mencerminkan pengaruh media curing, bukan akibat perbedaan metode atau alat pengujian.

Contoh perhitungan yang diambil melalui data penelitian berikut ini perhitungan Kuat Tekan Beton Normal

Hasil dari pengujian kuat tekan pada beton normal sebagai berikut :

Beton Umur 7 Hari

Benda Uji 1 (BN 7 H)

- Beban (P) = 150 kN
- Luas Silinder (A) = $17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$
 $= \frac{150}{17671,5} = 8,48 \text{ Mpa}$

3.10 Kesimpulan Metode Penelitian

Berdasarkan tahapan metode penelitian yang telah disusun, diharapkan penelitian ini mampu memberikan gambaran yang jelas mengenai pengaruh penggunaan air kelapa tua sebagai media air pencampur dan mempengaruhi terhadap kuat tekan beton.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Setelah seluruh data penelitian didapatkan, selanjutnya adalah melakukan analisis dan pembahasan untuk mengetahui hasil serta mendapatkan tujuan penelitian. Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, dimulai dengan pemeriksaan material penyusunan beton, proses perancangan campuran beton, pencampuran bahan, hingga pelaksanaan uji terhadap beton yang telah dibuat.

4.2. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Pada penelitian ini, jenis agregat halus yang digunakan adalah pasir alami yang berasal dari daerah Medan Timur, Sumatera Utara. Secara umum, pasir Medan Timur memiliki mutu yang layak untuk digunakan sebagai material bangunan. Beberapa pengujian yang dilakukan terhadap pasir meliputi analisa saringan, pengujian kadar air, pengukuran berat jenis dan penyerapan, berat isi, serta kadar lumpur.

4.2.1 Hasil Analisa Saringan Agregat Halus

Pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat halus ini mengikuti panduan dari SNI ASTM C136-2012. Dari hasil penelitian diperoleh nilai gradasi analisa saringan agregat halus sebagai berikut pada tabel 4.1.

Tabel 4.1: Pengujian analisa saringan agregat halus.

Saringan	Massa Tertahan			Kumulatif		
	Sampel 1	Sampel 2	Total	Berat Tertahan	Berat Tertahan K	Berat Lolos (%)

Tabel 4.1: *Lanjutan* Pengujian analisa saringan agregat halus

mm	gr	gr	gr	(%)	(%)	(%)
9.5(3/8 inch)	0	0	0	0	0	100
4.75 mm (No.4)	3	3	6	0,27	0,27	99,73
2.36 mm (No. 8)	128	135	263	11,85	12,12	87,88
1.18 mm (No.16)	215	220	435	19,59	31,71	68,29
0.6 mm (No.30)	248	252	500	22,52	54,23	45,77
0.3 mm (No.50)	230	235	465	20,95	75,18	24,82
0.15 mm (No.100)	135	142	277	12,48	87,66	12,34
0.075 (No 200)	72	74	146	6,58	94,23	5,77
Pan	69	59	128	5,77	100,00	0,00
Jumlah	1100	1120	2220	100,00	261,17	444,59
FM (Modulus Kehalusan)					2,61	

Untuk mendapatkan nilai Modulus Kehalusan, jumlah % kumulatif tertahan sampai saringan No 100 dibagi dengan nilai 100. Atau dengan persamaan berikut:

4.2.2 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Pelaksanaan pengujian kadar air agregat halus ini mengikuti panduan dari (SNI 1971:2011). Dari hasil penelitian ini didapat nilai kadar air agregat halus yang ada pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Kadar Air Agregat Halus

Keterangan	Notasi	Persamaan	Satuan	Benda Uji	
				I	II
Massa Wadah + Benda Uji	a		gr	2490	2500
Massa Wadah	b		gr	490	470
Massa Benda Uji	W1	a-b	gr	2000	2030
Massa Wadah + Benda Uji Kering Oven	c		gr	2394	2410
Massa Benda Uji Kering Oven	W2	c-b	gr	1904	1940
Kadar Air Total	P		%	5,04	4,64
Rata-Rata			%	4,84	

Pengujian kadar air pada agregat halus dilakukan sebanyak dua kali percobaan. Percobaan pertama mendapatkan nilai kadar air sebesar 5,04% dan percobaan kedua mendapatkan nilai kadar air sebesar 4,64%. Sehingga rerata nilai kadar air agregat halus adalah 4,84%.

4.2.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pada pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus mengacu pada SNI 1970-2016 dengan hasil pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3: Pengujian berat jenis agregat halus.

Agregat Halus Passing No.4 (Lolos Ayakan No.4)	Satuan	Persamaan	Benda Uji		Rata-rata
<i>Wt of SSD sample in air</i> (Berat contoh SSD kering permukaan jenuh)	gr	B	500	500	500
<i>Wt of oven dry sample</i> (Berat contoh SSD kering oven)	gr	E	486	489	487

Tabel 4.3: *Lanjutan* Pengujian berat jenis agregat halus.

<i>Wt of flask + water</i> (Berat Piknometer penuh air)	gr	D	668	668	668
<i>Wt of flask + water + sample</i> (Berat cth SSD dalam piknometer penuh air)		C	966	975	970
<i>Bulk sp. Grafity dry</i> (Berat jenis contoh kering)	gr/cm3	$\frac{E}{(B + D - C)}$	2,41	2,53	2,47
<i>Bulk sp. Grafity SSD</i> (Berat jenis contoh SSD)	gr/cm3	$\frac{B}{(B + D - C)}$	2,48	2,59	2,53
<i>Apparent sp. Grafity dry</i> (Berat jenis contoh semu)	gr/cm3	$\frac{E}{(E + D - C)}$	2,59	2,69	2,64
<i>Absorption</i> (Penyerapan)	(%)	$\frac{B - E}{E} \times 100$	2,80	2,25	2,52

Dari hasil pengujian diatas, diperoleh berat jenis agregat halus dalam keadaan SSD (*Saturated Surface Dry*) dengan nilai rata-rata sebesar 2,53 gr/cm3 dan dapat dikategorikan sebagai agregat normal sebab nilai yang diperoleh termasuk ke dalam nilai yang diizinkan yaitu antara 2,2 s/d 2,9. Sedangkan nilai rata-rata penyerapan (*Absorption*) dari hasil pengujian agregat halus adalah 2,52%.

4.2.4 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus

Pengujian terhadap berat isi agregat halus dilakukan berdasarkan pedoman SNI 1973:2008, serta merujuk pada modul laporan praktikum beton yang dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, dengan hasil pada tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4: Pengujian berat isi agregat halus.

No	Keterangan	Persamaan	Satuan	Cara Lepas	Cara Rojok	Cara Goyang
----	------------	-----------	--------	------------	------------	-------------

Tabel 4.4: *Lanjutan* Pengujian berat isi agregat halus

1	Berat contoh & Wadah (<i>WT of sample & Mold</i>)		gr	16990	17920	17910
2	Berat Wadah (<i>WT of Mold</i>)		gr	5455	5455	5455
3	Berat Contoh (<i>WT of S.</i>)	1-2	gr	11535	12465	12455
4	Volume Wadah (<i>Volume of Mold</i>)		cm^3	10851	10851	10851
5	Berat isi (<i>Unit Weight</i>)	$3 \div 4$	gr/cm^3	1,06	1,15	1,15
6	Rata-Rata (<i>Average</i>)		gr/cm^3	1,12		
	Konversi		kg/m^3	1119,78		

Pengujian dilakukan dengan tiga cara yaitu cara lepas didapat berat isi sebesar 1,06 gr/cm³, cara rojok sebesar 1,15 gr/cm³, dan cara goyang sebesar 1,15 gr/cm³. Maka dari ketiga metode yang dilakukan untuk analisis berat ini agregat halus ini, rata-rata berat isi agregat halus sebesar 1,12 gr/cm³.

4.2.5 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian kadar lumpur agregat halus mengacu pada SNI 03 4142 –1996. Dengan hasil pengujian terdapat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5: Pengujian kadar lumpur agregat halus.

Keterangan	Notasi	Persamaan	Benda Uji		Satuan
			I	II	
Berat Wadah + isi	W1		1621	1747	gr
Berat Wadah	W2		510	505	gr
Berat Wadah + Contoh Kering	W3		1570	1699	gr

Tabel 4.5: *Lanjutan* Pengujian kadar lumpur agregat halus.

Berat Kering Contoh Awal	W4	W1-W2	1111	1242	gr
Berat Kering Contoh Akhir	W5	W3-W2	1060	1194	gr
Berat Kotoran Agregat Lolos Saringan No. 200	W6	W4-W5	51	48	gr
Persentase Kotoran Agregat Lolos Saringan No.200	W7	$\left(\frac{W6}{W4}\right) \times 100$	4,59	3,86	%
Rata-Rata			6,52		%

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai kadar lumpur pada sampel 1 sebesar 4,59% dan pada sampel 2 sebesar 3,86%. Maka rata-rata nilai kadar lumpur pada kedua sampel adalah sebesar 6,52%.

4.3. Agregat Kasar

Pengujian dasar yang dilakukan terhadap agregat kasar tersebut meliputi analisa saringan, kadar air, pengujian berat jenis dan penyerapan, berat isi, serta kadar lumpur.

4.3.1 Hasil Analisis Saringan Agregat Kasar

Pemeriksaan analisa saringan dilakukan dengan mengacu pada standar SNI ASTM C136:2012 sebagai pedoman pelaksanaan, serta didasarkan pada referensi dari buku teknologi beton. Hasil dari analisa saringan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6: Pengujian analisa saringan agregat kasar.

Saringan	Massa Tertahan			Kumulatif		
	Sampel 1	Sampel 2	Total	Berat Tertahan	Berat Tertahan K	Berat Lolos (%)
mm	Gr	Gr	Gr	(%)	(%)	(%)

Tabel 4.6: *Lanjutan* Pengujian analisa saringan agregat kasar.

25.4 mm (1 in)	0	0	0	0	0	100
19.1 mm (3/4 inci)	24	18	42	1,81	1,81	98,19
12.7 mm (1/2 inci)	610	628	1238	53,36	55,17	44,83
9.52 mm (3/8 inci)	422	404	826	35,60	90,78	9,22
4.75 mm (No.4)	124	90	214	9,22	100,00	0,00
2.36 mm (No.8)					100,00	
1.18 mm (No.16)					100,00	
0.6 mm (No.30)					100,00	
0.30 mm (No.50)					100,00	
0.15 mm (No.100)					100,00	
0.075 mm (No.200)					100,00	
Pan					100	
Jumlah	1180	1140	2320	100,00	747,76	252,24
FM (Modulus Kehalusan)					7,48	

Untuk mendapatkan nilai modulus kehalusan, jumlah % kumulatif tertahan sampai saringan No. 100 dibagi dengan nilai 100. Atau dengan persamaan berikut:

4.3.2. Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Pengujian kadar air dilaksanakan berdasarkan acuan SNI 1971:2011. Berdasarkan

hasil penelitian, diperoleh nilai kadar air agregat kasar yang disajikan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7: Pengujian kadar air agregat kasar.

Keterangan	Notasi	Persamaan	Satuan	Benda Uji	
				I	II
Massa Wadah + Benda Uji	a		Gr	2045	2055
Massa Wadah	b		Gr	495	490
Massa Benda Uji	W1	a-b	Gr	1550	1565
Massa Wadah + Benda Uji Kering Oven	c		Gr	2020	2040
Massa Benda Uji Kering Oven	W2	C-b	Gr	1525	1550
Kadar Air Total	P	$\left(\frac{W_1 - W_2}{W_2}\right) \times 100$	%	1,64	0,97
Rata-Rata			%	1,30	

Pengujian kadar air pada agregat kasar dilakukan melalui dua kali percobaan. Hasil pada percobaan pertama menunjukkan kadar air sebesar 1,64%, sedangkan pada percobaan kedua sebesar 0,97%. Dengan demikian, rata-rata kadar air agregat kasar diperoleh sebesar 1,30%.

4.3.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dilakukan dengan acuan SNI 1969:2016. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh nilai berat jenis dan penyerapan agregat kasar yang tercantum pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8: Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Keterangan	Satuan	Persamaan	Benda Uji	Rata-rata
------------	--------	-----------	-----------	-----------

Tabel 4.8: *Lanjutan* Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar

<i>Wt of SSD sample in air</i> (Berat contoh SSD kering permukaan jenuh)	gr	A	2000	2100	2050
<i>Wt of oven dry sample</i> (Berat contoh SSD kering oven)	gr	B	1950	2054	2002
<i>Wt of sample in water</i> (Berat contoh dalam air)	gr	C	1220	1240	1230
<i>Bulk sp. Grafity dry</i> (Berat jenis contoh kering)	gr/cm ³	$\frac{B}{(A - C)}$	2,50	2,39	2,44
<i>Bulk sp. Grafity SSD</i> (Berat jenis contoh SSD)	gr/cm ³	$\frac{A}{(A - C)}$	2,56	2,44	2,50
<i>Apparent sp. Grafity dry</i> (Berat jenis contoh semu)	gr/cm ³	$\frac{B}{(B - C)}$	2,67	2,52	2,60
<i>Absorption</i> (Penyerapan)	%	$\frac{(A - B)}{B} \times 100$	2,56	2,24	2,40

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis diperoleh Berat jenis SSD (Saturated Surface Dry) pada benda uji pertama 2,56 gr/cm³ dan pada benda uji kedua 2,44 gr/cm³. Maka nilai rata-ratanya adalah 2,50 gr/cm³. Kemudian, nilai penyerapan (Absorption) agregat kasar pengujian ini adalah 2,40%.

4.3.4 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar

Pengujian dilakukan berdasarkan pedoman SNI 1973:2008 serta mengacu pada laporan praktikum beton dari Program Studi Teknik Sipil UMSU mengenai berat isi agregat kasar. Adapun hasil pengujiannya ada pada tabel 4.9.

Tabel 4.9: Pengujian berat isi agregat kasar

No	Keterangan	Persamaan	Satuan	Cara Lepas	Cara Rojok	Cara Goyang
----	------------	-----------	--------	------------	------------	-------------

Tabel 4.9: *Lanjutan* Pengujian berat isi agregat kasar

1	Berat contoh & Wadah (<i>WT of sample & Mold</i>)		gr	22970	24020	23270
2	Berat Wadah (<i>WT of Mold</i>)		gr	5430	5430	5430
3	Berat Contoh (<i>WT of Sample</i>)	1-2	gr	17540	18590	17840
4	Volume Wadah (<i>Volume of Mold</i>)		cm ³	10851	10851	10851
5	Berat Isi (<i>Unit Weight</i>)	$3 \div 4$	gr/cm ³	1,62	1,71	1,64
6	Rata-Rata (<i>Average</i>)		gr/cm ³	1,66		
			kg/m ³	1657		

Pengujian dilakukan dengan tiga cara yaitu cara lepas dengan berat isi sebesar 1,62 gr/cm³, cara rojok sebesar 1,71 gr/cm³, dan cara goyang sebesar 1,64 gr/cm³. Maka rata-rata berat isi agregat kasar sebesar 1,66 gr/cm³.

4.3.5 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pelaksanaan pengujian kadar lumpur agregat kasar berpedoman pada (SNI 03 4141-1996). Dari hasil penelitian ini didapat nilai kadar lumpur agregat kasar yang ada pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10: Pengujian kadar lumpur agregat kasar.

Keterangan	Notasi	Persamaan	Benda Uji		Satuan
			I	II	
Berat Wadah + isi	W1		1580	1560	gr
Berat Wadah	W2		580	560	gr
Berat Wadah + Contoh Kering	W3		1559	1542	gr
Berat Kering Contoh Awal	W4	W1-W2	1000	1000	gr
Berat Kering Contoh Akhir	W5	W3-W2	979	982	gr
Berat Kotoran Agregat Lolos Saringan No. 200	W6	W4-W5	21	18	gr

Tabel 4.10: *Lanjutan* Pengujian kadar lumpur agregat kasar.

Persentase Kotoran Agregat Lolos Saringan No.200	W7	$(W6/W4)*100$	2,1	1,8	%
Rata-Rata			1,95		

Pengujian dilakukan dua kali, dengan hasil sebesar 2,1% pada pengujian pertama dan 1,8% pada pengujian kedua. Oleh karena itu, rata-rata kadar lumpur yang diperoleh adalah 1,95%.

4.4. Hasil pH Air Kelapa

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan pH meter, diperoleh nilai pH air kelapa tua sebesar 5,77. Seperti pada tabel 4.4 yang telah dibuat mencantumkan nilai pH beton normal dan beton campuran air kelapa. Sedangkan yang normal hampir mendekati 7 seperti pada tabel 4.11.

Tabel 4.11: Hasil pH Air Kelapa

Variasi Campuran	Nilai pH	Keterangan
Beton Normal	6,83	Netral
AK 10%	5,77	Sedikit Asam
AK 10%	5,77	Sedikit Asam
AK 10%	5,77	Sedikit Asam

Berdasarkan hasil pengujian, air kelapa tua memiliki nilai pH sebesar 5,77, sedangkan air kontrol sebesar 6,83, yang menunjukkan bahwa air kelapa bersifat sedikit lebih asam. Nilai tersebut masih sesuai dengan karakteristik alami air kelapa yang dilaporkan oleh (Shayanthavi et al., 2024), yaitu berada pada kisaran 4,68–5,27, serta dipengaruhi oleh varietas dan tingkat kematangan buah. Hasil penelitian ini juga didukung oleh (Aliwarga et al., 2023) yang melaporkan pH air kelapa segar sekitar 5 dan menunjukkan bahwa pH air kelapa relatif stabil. Dengan demikian, hasil pengujian pH pada penelitian ini masih sesuai dengan karakteristik pH alami

air kelapa yang telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya.

4.5. Hasil Pengujian Kadar Gula Air Kelapa

Pengujian Kadar Gula ini menggunakan Refracnometer sesuai dengan FAO (jurnal kimia) hasil yang di dapat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12: Hasil Pengujian Kadar Gula Air Kelapa menggunakan Refraknometer

No	Waktu Pengujian	Nilai Refraknometer (Brix)	Kandungan Gula (gram/100 gram air kelapa)	Persentase (%)
1	0 menit	0,4	0,4	0,4%
2	30 menit	0,4	0,4	0,4%
3	60 menit	0,5	0,5	0,5%
4	90 menit	0,5	0,5	0,5%
5	120 menit	0,5	0,5	0,5%
6	150 menit	0,6	0,6	0,6%
Rata-Rata		0,5%		

Berdasarkan hasil pengujian, air kelapa tua pada penelitian ini memiliki kadar gula sebesar 0,5%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa air kelapa mengandung gula alami yang berpotensi memengaruhi karakteristik beton. Hasil ini dapat dibandingkan dengan penelitian (Jain & Ojha, 2021), yang menggunakan penambahan gula sebesar 0,5%, 0,75%, dan 1% dari berat semen pada campuran beton. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan gula 0,5% masih menghasilkan beton dengan kuat tekan rata-rata 20,80 MPa, sedikit lebih tinggi dibanding beton normal sebesar 20,69 MPa, serta gula berfungsi sebagai retarder yang memperlambat waktu ikat awal semen tanpa menurunkan kuat tekan secara signifikan.

4.6 Hasil Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Berdasarkan hasil perencanaan campuran beton (*mix desain*) menggunakan metode SNI 7656:2012, diperoleh komposisi material penyusun beton seperti pada tabel 4.13 berikut ini.

Tabel 4.13: Hasil Perencanaan Campuran Beton

Material	Kebutuhan per benda uji (gram)
Air	933,90
Semen	1574,60
Agregat Halus	4366,14
Agregat Kasar	5714,70

Berdasarkan Tabel 4.13, hasil perencanaan campuran beton menunjukkan bahwa komposisi semen, agregat halus, dan agregat kasar pada setiap variasi tetap, sedangkan variasi hanya dilakukan pada proporsi air biasa dan air kelapa. Jumlah total air pada variasi dipertahankan tetap sesuai hasil *mix design*.

4.7 Hasil Pengujian Slump (*Slump Test*)

Nilai yang didapat merupakan nilai Slump. Pada tabel 4.14 berikut merupakan nilai Slump pada masing-masing campuran beton dengan berbagai variasi.

Tabel 4.14: Nilai *Slump test*.

No	Kode Variasi Beton	Nilai Slump (mm)
1	BN	100
2	AK 10%	100
3	AK 20%	95
4	AK 30%	80

Berdasarkan Tabel 4.14, nilai *slump* beton normal (BN) sebesar 100 mm, sedangkan pada variasi air kelapa tua 10% (AK 10%) diperoleh nilai slump sebesar

100 mm. Pada variasi air kelapa tua 20% (AK 20%), nilai slump mengalami penurunan menjadi 95 mm, sedangkan pada variasi air kelapa tua 30% (AK 30%), nilai slump kembali mengalami penurunan menjadi 80 mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin besar persentase substitusi air kelapa tua, nilai slump cenderung semakin menurun. Penurunan nilai slump menunjukkan bahwa penggunaan air kelapa tua dalam jumlah yang lebih besar menyebabkan campuran beton menjadi lebih rendah tingkat kelecakannya dibandingkan dengan beton normal. Meskipun demikian, seluruh variasi campuran masih berada dalam rentang nilai slump yang direncanakan, yaitu 75–100 mm.

4.8 Hasil Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat beton berumur 7,14, 28 hari dengan menggunakan *Compression Testing Machine* dengan jumlah benda uji sebanyak 36 benda uji yang berbentuk silinder dengan ukuran tinggi 30 cm dan diameter 15 cm. Berikut nilai kuat tekan pada 36 sampel yang telah diteliti pada tabel 4.15.

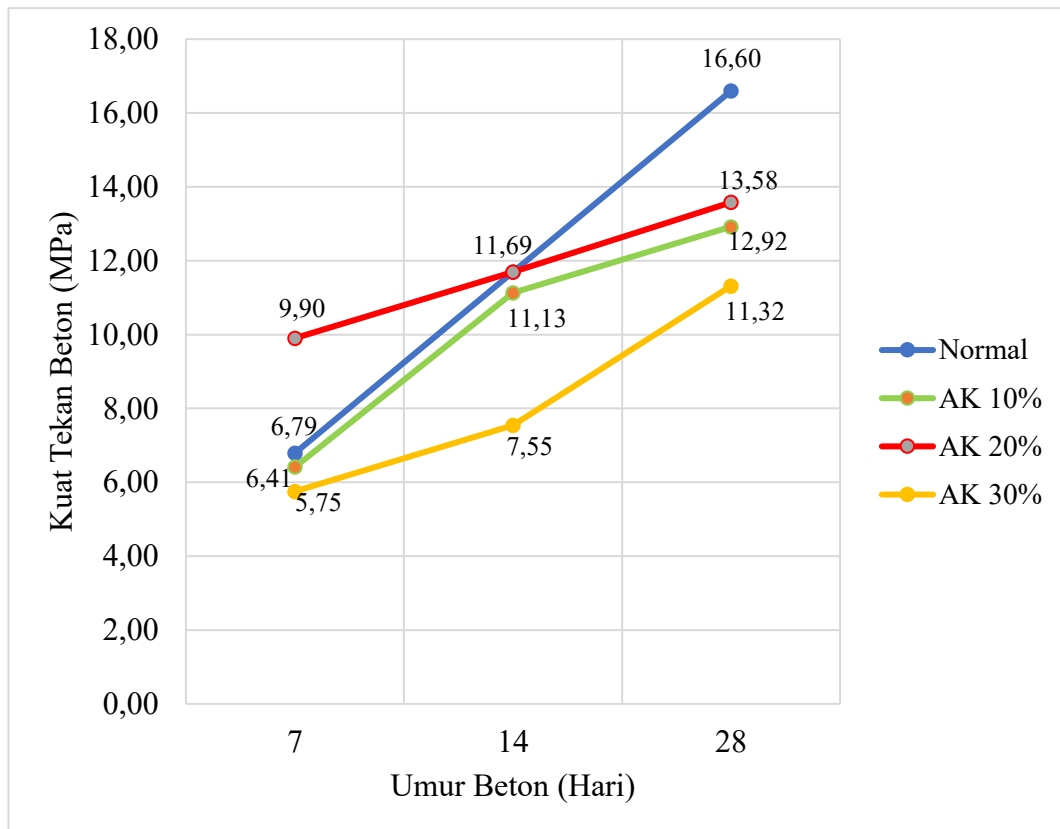
Tabel 4.15: Hasil pengujian kuat tekan.

Variasi	Benda Uji	Luas (mm)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
BN 7H	1	17671,5	150	8,48	6,79
	2	17671,5	100	5,65	
	3	17671,5	110	6,22	
BN 14H	1	17671,5	240	13,58	11,69
	2	17671,5	180	10,18	
	3	17671,5	200	11,31	
BN 28 H	1	17671,5	300	16,97	16,59
	2	17671,5	290	16,41	
	3	17671,5	290	16,41	
AK 10% 7H	1	17671,5	120	6,79	6,41
	2	17671,5	130	7,35	
	3	17671,5	90	5,09	
AK 20% 7H	1	17671,5	180	10,18	9,90
	2	17671,5	165	9,33	

Tabel 4.15: *Lanjutan* Hasil Pengujian Kuat Tekan

	3	17671,5	180	10,18	
AK 30% 7H	1	17671,5	70	3,96	5,75
	2	17671,5	115	6,50	
	3	17671,5	120	6,79	
AK 10% 14H	1	17671,5	200	11,31	11,12
	2	17671,5	200	11,31	
	3	17671,5	190	10,75	
AK 20% 14H	1	17671,5	180	10,18	11,69
	2	17671,5	240	13,58	
	3	17671,5	200	11,31	
AK 30% 14H	1	17671,5	160	9,05	7,54
	2	17671,5	90	5,09	
	3	17671,5	150	8,48	
AK 10% 28H	1	17671,5	250	14,14	12,92
	2	17671,5	200	11,31	
	3	17671,5	235	13,29	
AK 20% 28H	1	17671,5	260	14,71	13,58
	2	17671,5	210	11,88	
	3	17671,5	250	14,14	
AK 30% 28H	1	17671,5	210	11,88	11,31
	2	17671,5	190	10,75	
	3	17671,5	200	11,31	

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton normal dan kuat tekan beton campuran air kelapa pada umur 7, 14, 28 hari, diperoleh nilai kuat tekan yang menunjukkan adanya perkembangan kekuatan beton seiring bertambahnya umur. Perkembangan nilai kuat tekan beton normal dan kuat tekan beton campuran air kelapa tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.1



Gambar 4.1: Grafik Perkembangan Kuat Tekan Beton normal pada Berbagai Umur

Berdasarkan Gambar 4.1, kuat tekan beton normal mengalami peningkatan secara konsisten seiring bertambahnya umur beton. Pada umur 7 hari, beton normal memiliki kuat tekan sebesar 6,79 MPa, kemudian meningkat sebesar 4,90 MPa menjadi 11,69 MPa pada umur 14 hari, dan kembali naik sebesar 4,91 MPa hingga mencapai 16,60 MPa pada umur 28 hari. Secara keseluruhan, terjadi peningkatan akumulatif sebesar 9,81 MPa dari umur 7 hingga 28 hari. Kenaikan ini

mengindikasikan bahwa proses hidrasi semen terus berlangsung secara berkelanjutan, yang berdampak pada semakin padat dan kuatnya struktur pasta semen.

Sementara itu, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.1 mengenai perkembangan kuat tekan beton campuran air kelapa, variasi substitusi air kelapa tua sebesar 20% mencatatkan kuat tekan tertinggi di antara seluruh variasi air kelapa, meskipun nilainya masih lebih rendah dibandingkan beton normal. Temuan ini sejalan dengan penelitian Hartini (2022) yang melaporkan bahwa penggunaan air kelapa memengaruhi perkembangan kuat tekan beton secara signifikan tergantung pada persentase substitusinya. Perbedaan terletak pada kadar optimum yang diperoleh, di mana penelitian Hartini mencatatkan kadar optimum pada 15%, sedangkan pada penelitian ini berada pada kadar 20%. Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh variasi komposisi campuran beton, karakteristik air kelapa yang digunakan, maupun kondisi pengujian. Tingginya kuat tekan pada substitusi 20% ini diduga berasal dari peranan kandungan gula, mineral, dan senyawa organik dalam air kelapa tua yang memberikan pengaruh paling sesuai terhadap kinetika hidrasi semen jika dibandingkan dengan kadar 10% dan 30%.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi kadar air kelapa tua (*Cocos nucifera*) sebagai substitusi air pencampur terhadap kuat tekan beton, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perkembangan kuat tekan beton pada setiap variasi kadar air kelapa tua menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya umur beton, yaitu pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa proses hidrasi semen tetap berlangsung pada seluruh variasi campuran. Namun demikian, penggunaan air kelapa tua sebagai substitusi sebagian air pencampur memberikan pengaruh terhadap nilai kuat tekan beton. Beton normal (0%) menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 6,79 MPa pada umur 7 hari, 11,69 MPa pada umur 14 hari, dan 16,59 MPa pada umur 28 hari. Sementara itu, pada umur 28 hari, variasi substitusi air kelapa tua 10%, 20%, dan 30% masing-masing menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 12,92 MPa, 13,58 MPa, dan 11,31 MPa. Seluruh variasi substitusi menunjukkan kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan beton normal.
2. Variasi kadar air kelapa tua sebesar 20% merupakan variasi substitusi yang menghasilkan kuat tekan optimum pada umur 28 hari, dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 13,58 MPa. Meskipun nilai tersebut belum mampu melampaui kuat tekan beton normal, variasi 20% memberikan hasil yang lebih tinggi dibandingkan variasi substitusi 10% dan 30%. Dengan demikian, kadar substitusi air kelapa tua sebesar 20% dapat dinyatakan sebagai kadar optimum pada penelitian ini.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian berikutnya sebaiknya tidak hanya menguji kuat tekan, tetapi juga melakukan pengujian sifat beton lainnya, seperti kuat tarik belah, kuat lentur, modulus elastisitas, daya serap air, porositas, serta durabilitas beton, sehingga pengaruh penggunaan air kelapa dapat diketahui secara lebih komprehensif.
2. Untuk memperoleh hasil yang lebih akurat, jumlah benda uji pada setiap variasi sebaiknya diperbanyak sehingga tingkat kepercayaan data penelitian menjadi lebih tinggi.
3. Mengingat kuat tekan beton normal maupun seluruh variasi belum mencapai mutu rencana 20 MPa, maka pada penelitian selanjutnya disarankan melakukan evaluasi kembali terhadap proses mix design, faktor air semen (fas), kualitas material, proses pencampuran, pemadatan, curing, serta pelaksanaan pengujian, agar mutu beton yang direncanakan dapat tercapai.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-gburi, M. (2024). Evaluating Concrete Strength Under Various Curing Conditions Using Artificial Neural Networks. 2, 1–23.
<https://doi.org/10.2478/ncr-2024-0007>
- Al-saffar, F. Y., Wong, L. S., & Paul, S. C. (2023). An Elucidative Review of the Nanomaterial Effect on the.
- Aliwarga, L., Joenputri, F., Chandra, L., & Julian, H. (2023). Cold sterilization of coconut water by membrane technology and UV-C. 17(2), 218–224.
<https://doi.org/10.22146/jrekpros.82774>
- Amaliah, S. (2020). KARATERISTIK MINUMAN BERKARBONASI AIR KELAPA TUA (COCOS NUCIFERA L.) DENGAN VARIASI JENIS PEMANIS DAN KONSENTRASI ASAM. 9–22.
- Amer, W., Farhan, H., Rashid, L., & Dulaimi, A. (2024). A bibliometric analysis and comprehensive review of magnetized water effects on concrete properties. 5017–5032.
- Ashad, H. (2023). Minimizing the impact of microorganism intrusion on the concrete physical and mechanical properties with nickel waste as a partial substitution for cement. *Heliyon*, 9(2), e13303.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13303>
- BPS Provinsi Sumatera Utara. (2025). INDIKATOR PERTANIAN PROVINSI SUMATERA UTARA dari Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Utara. *Frontiers in Veterinary Science*, 13(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26846-z>
<http://dx.doi.org/10.1038/s41467-021-22308-8>
<https://doi.org/10.1007/s00253-025-13460-y>
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14088>
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.10.019>
<https://doi.org/10.1016/j>
- Halim, H. H., Dee, E. W., Dek, M. S. P., Hamid, A. A., Ngalim, A., Saari, N., & Jaafar, A. H. (2021). Ergogenic attributes of young and mature coconut (Cocos nucifera l.) water based on physical properties, sugars and electrolytes contents. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 2378–2389. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1522329>

- Hamilton, P. D., Charles, K. T., Bih Loh, A. M., Aristide Loïc, N. N., Germain, K., & Elie, F. (2024). Physicochemical, nutritional, antioxidant properties and stability monitoring of coconut (*Cocos nucifera* L.) water from two localities in Cameroon. *Heliyon*, 10(23), e40712. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40712>
- Hartini. (2022). Pengaruh Penggunaan Air Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton. *XI*(1), 32–39.
- Haz, M. H., & Prabowo, Y. S. (2025). The Effect of Concrete Compressive Strength on Mixture and Curing Using River Water. 10(5), 5407–5414.
- Jain, A., & Ojha, D. (2021). Mixing of Sugar in Concrete of M20 Grade. 01(005), 1–12.
- John, E., & Lothenbach, B. (2023). Cement hydration mechanisms through time – a review. *Journal of Materials Science*, 58(24), 9805–9833. <https://doi.org/10.1007/s10853-023-08651-9>
- Khan, B., & Baradan, B. (2022). the Effect of Sugar on Setting-Time of Various Types of Cements. *Quarterly SCIENCE VISION*, 8(1), 1–8.
- Lim, J., Hong, E. J., Kim, S. B., Lee, M. A., & Ryu, S. (2023). Bactericidal Effect of Underwater Plasma Treatment on Waste Brine from Kimchi Production Process and the Evaluation of Reusability of Plasma-Treated Waste Brine in Salting Kimchi Cabbage. *Foods*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/foods12040728>
- Luo, T., Hua, C., Sun, Q., Tang, L., Yi, Y., & Pan, X. (2021). Early-age hydration reaction and strength formation mechanism of solid waste silica fume modified concrete. *Molecules*, 26(18). <https://doi.org/10.3390/molecules26185663>
- Mishra, R. K., Jamshaid, H., Muller, M., & Urban, J. (2025). Comprehensive Review on Mechanical Performance of Concrete Reinforced with Fibers and Waste Materials. 1–31.
- Mukti, H. B., Abdulloh, S., Wicaksono, A., Paddy, S., Humam, N., Bagus, S., Studi, P., Sipil, T., Teknik, F., Bangsa, U. P., & Pusat, C. (2023). *Jurnal*

teknik sipil. 4, 24–28.

Muncan, J., Tamura, S., Nakamura, Y., Takigawa, M., & Tsunokake, H. (2022). Aquaphotomic Study of Effects of Different Mixing Waters on. 3.

Pan, T., Guo, R., Yan, Y., Fu, C., & Lin, R. (2025). Texture Feature Analysis of the Microstructure of Cement-Based Materials During Hydration. 1–23.

Putra, H. (2021). Beton sebagai Bahan Konstruksi. 1–129.

Shayanthavi, S., Kapilan, R., & Wickramasinghe, I. (2024). Comprehensive analysis of physicochemical , nutritional , and antioxidant properties of various forms and varieties of tender coconut (*Cocos nucifera* L .) water in Northern Sri Lanka. *Food Chemistry Advances*, 4(June 2023), 100645. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100645>

Shi, S., Wang, W., Wang, F., Yang, P., Yang, H., He, X., & Liao, X. (2025). Research Progress in Coconut Water: A Review of Nutritional Composition, Biological Activities, and Novel Processing Technologies. *Foods*, 14(9), 1–30. <https://doi.org/10.3390/foods14091503>

Talaat, A., Emad, A., Tarek, A., Masbouba, M., Essam, A., & Kohail, M. (2021). Factors affecting the results of concrete compression testing: A review. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 205–221. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.07.015>

Tumpu, M., Irianto, & Parung, H. (2021). The Effect of Curing Methods on Compressive Strength of Concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 921(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/921/1/012007>

Udin Safar. (2004). Semen Portland. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 10(1), 1–128.

V. Johannes¹, Th. J. M. Sahureka², S. I. (2023). Pengaruh Penambahan Sikament-Nn Dan Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Beton SCC (Self Compacting Concrete). *JURNAL MANUMATA*, 9(1), 57–63. <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/245180/245180.pdf%0Ahttps://hdl.handle.net/20.500.12380/245180%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jsa>

mes.2011.03.003%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.gr.2017.08.001%0Ahttp://dx.
doi.org/10.1016/j.precamres.2014.12

Yong, J. W. H., Ge, L., Ng, Y. F., & Tan, S. N. (2009). The chemical composition and biological properties of coconut (*Cocos Nucifera* L.) water. *Molecules*, 14(12), 5144–5164. <https://doi.org/10.3390/molecules14125144>

Yousuf, S., Shafigh, P., Muda, Z. C., Yati, H., & Katman, B. (2023). Alternatives for Fresh Water in Cement-Based Materials : A Review.

Mulyati, O. :, & Alluhri, S. B. (2016). PENGARUH AGREGAT KASAR BATU PECAH BERGRADASI SERAGAM TERHADAP KUAT TEKAN BETON NORMAL. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 3(1).

LAMPIRAN



Gambar L-1: Persiapan Agregat Halus dan Agregat Kasar



Gambar L-2: Persiapan Air Kelapa (Cocos Nucifera)



Gambar L-3: Proses Pembuatan Benda Uji



Gambar L-4: Memasukkan beton ke dalam uji slump



Gambar L-5: Mengukur nilai Slump



Gambar L-6: Curing Beton



Gambar L-7: Melepas Curing dari perendaman sesuai umur



Gambar L-8: Kuat Tekan Beton



Gambar L-9: Beton di dalam silinder



Gambar L-9: Mengukur Nilai Kadar Gula



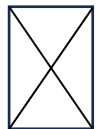
Gambar L-10: Mengecek nilai pH

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN
SNI 1974-2011

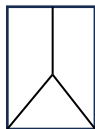
Penguji : AHMAD FAUZI FERBIAN
 Jenis Benda Uji : Silinder (D=15;t=30)
 Mutu Benda Uji : F`c 20 MPa
 Jumlah Benda Uji : 36
 Umur : 7 Hari

No	Identitas Benda Uji	L (mm)	D (mm)	L/D	Luas Penampang (mm)	Berat Benda Uji (kg)	Tanggal		Umur Beton (Hari)	Beban Tekan (Kn)	Kuat Tekan (Mpa)	Ket
							Cetak	Uji				
1	BN 7 H	300	150	2	17671,46	12,18	24-06-26	02-07-26	7	150	8,48	1
2	BN 7 H	300	150	2	17671,46	12,28	24-06-26	02-07-26	7	100	5,65	1
3	BN 7 H	300	150	2	17671,46	12,32	24-06-26	02-07-26	7	110	6,22	1
1	AK 10%	300	150	2	17671,46	12,41	24-06-26	02-07-26	7	120	6,79	1
2	AK 10%	300	150	2	17671,46	12,35	24-06-26	02-07-26	7	90	7,35	1
3	AK 10%	300	150	2	17671,46	12,30	24-06-26	02-07-26	7	130	5,09	1
1	AK 20%	300	150	2	17671,46	12,23	24-06-26	02-07-26	7	180	10,18	1
2	AK 20%	300	150	2	17671,46	12,07	24-06-26	02-07-26	7	165	9,33	1
3	AK 20%	300	150	2	17671,46	12,17	24-06-26	02-07-26	7	180	10,18	1

Bentuk Kehancuran (pilih diantara satu)



1



2



3



4



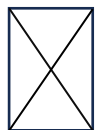
5

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN
SNI 1974-2011

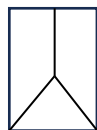
Penguji : AHMAD FAUZI FERBIAN
 Jenis Benda Uji : Silinder (D=15;t=30)
 Mutu Benda Uji : F`c 20 MPa
 Jumlah Benda Uji : 36
 Umur : 7 Hari

No	Identitas Benda Uji	L (mm)	D (mm)	L/D	Luas Penampang (mm)	Berat Benda Uji (kg)	Tanggal		Umur Beton (Hari)	Beban Tekan (Kn)	Kuat Tekan (Mpa)	Ket
							Cetak	Uji				
1	AK 30%	300	150	2	17671,46	12,23	24-06-26	02-07-26	7	115	6,50	1
2	AK 30%	300	150	2	17671,46	12,07	24-06-26	02-07-26	7	70	3,96	1
3	AK 30%	300	150	2	17671,46	12,17	24-06-26	02-07-26	7	120	6,79	1

Bentuk Kehancuran (pilih diantara satu)



1



2



3



4



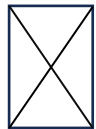
5

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN
SNI 1974-2011

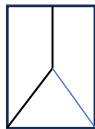
Penguji : AHMAD FAUZI FERBIAN
 Jenis Benda Uji : Silinder (D=15;t=30)
 Mutu Benda Uji : F`c 20 MPa
 Jumlah Benda Uji : 36
 Umur : 14 Hari

No	Identitas Benda Uji	L (mm)	D (mm)	L/D	Luas Penampang (mm)	Berat Benda Uji (kg)	Tanggal		Umur Beton (Hari)	Beban Tekan (Kn)	Kuat Tekan (Mpa)	Ket
							Cetak	Uji				
1	BN 14 H	300	150	2	17671,46	12,21	24-6-26	9-7-26	14	240	13,58	1
2	BN 14 H	300	150	2	17671,46	12,25	24-6-26	9-7-26	14	180	10,18	1
3	BN 14 H	300	150	2	17671,46	12,50	24-6-26	9-7-26	14	200	11,31	1
1	AK 10%	300	150	2	17671,46	11,56	24-6-26	9-7-26	14	200	11,31	1
2	AK 10%	300	150	2	17671,46	11,57	24-6-26	9-7-26	14	200	11,31	1
3	AK 10%	300	150	2	17671,46	11,57	24-6-26	9-7-26	14	190	10,75	1
1	AK 20%	300	150	2	17671,46	11,45	24-6-26	9-7-26	14	180	10,18	1
2	AK 20%	300	150	2	17671,46	11,42	24-6-26	9-7-26	14	240	13,58	1
3	AK 20%	300	150	2	17671,46	11,50	24-6-26	9-7-26	14	200	11,31	1

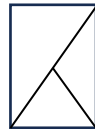
BentukKehancuran (pilih diantara satu)



1



2



3



4



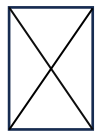
5

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN
SNI 1974-2011

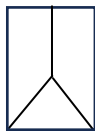
Penguji : AHMAD FAUZI FERBIAN
 Jenis Benda Uji : Silinder (D=15;t=30)
 Mutu Benda Uji : F`c 20 MPa
 Jumlah Benda Uji : 36

No	Identitas Benda Uji	L (mm)	D (mm)	L/D	Luas Penampang (mm)	Berat Benda Uji (kg)	Tanggal		Umur Beton (Hari)	Beban Tekan (Kn)	Kuat Tekan (Mpa)	Ket
							Cetak	Uji				
1	AK 30%	300	150	2	17671,46	11,55	24-6-26	9-7-26	14	160	9,05	1
2	AK 30%	300	150	2	17671,46	11,40	24-6-26	9-7-26	14	90	5,09	1
3	AK 30%	300	150	2	17671,46	11,55	24-6-26	9-7-26	14	150	8,48	1

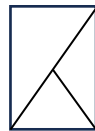
BentukKehancuran (pilih diantara satu)



1



2



3



4



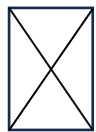
5

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN
SNI 1974-2011

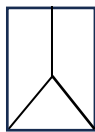
Penguji : AHMAD FAUZI FERBIAN
 Jenis Benda Uji : Silinder (D=15;t=30)
 Mutu Benda Uji : F`c 20 MPa
 Jumlah Benda Uji : 36
 Umur : 28 Hari

No	Identitas Benda Uji	L (mm)	D (mm)	L/D	Luas Penampang (mm)	Berat Benda Uji (kg)	Tanggal		Umur Beton (Hari)	Beban Tekan (Kn)	Kuat Tekan (Mpa)	Ket
							Cetak	Uji				
1	BN 28 H	300	150	2	17671,46	12,30	24-6-26	23-7-26	28	300	16,97	1
2	BN 28 H	300	150	2	17671,46	12,30	24-6-26	23-7-26	28	290	16,41	1
3	BN 28 H	300	150	2	17671,46	12,35	24-6-26	23-7-26	28	290	16,41	1
1	AK 10%	300	150	2	17671,46	11,64	24-6-26	23-7-26	28	250	14,14	1
2	AK 10%	300	150	2	17671,46	11,60	24-6-26	23-7-26	28	200	11,31	1
3	AK 10%	300	150	2	17671,46	11,60	24-6-26	23-7-26	28	235	13,29	1
1	AK 20%	300	150	2	17671,46	11,82	24-6-26	23-7-26	28	260	14,71	1
2	AK 20%	300	150	2	17671,46	11,75	24-6-26	23-7-26	28	210	11,88	1
3	AK 20%	300	150	2	17671,46	11,74	24-6-26	23-7-26	28	250	14,14	1

Bentuk Kehancuran (pilih diantara satu)



1



2



3



4



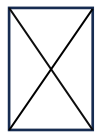
5

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN
SNI 1974-2011

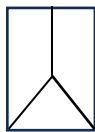
Penguji : AHMAD FAUZI FERBIAN
 Jenis Benda Uji : Silinder (D=15;t=30)
 Mutu Benda Uji : F`c 20 MPa
 Jumlah Benda Uji : 36

No	Identitas Benda Uji	L (mm)	D (mm)	L/D	Luas Penampang (mm)	Berat Benda Uji (kg)	Tanggal		Umur Beton (Hari)	Beban Tekan (Kn)	Kuat Tekan (Mpa)	Ket
							Cetak	Uji				
1	AK 30%	300	150	2	17671,46	11,80	24-6-26	23-7-26	28	210	11,88	1
2	AK 30%	300	150	2	17671,46	11,75	24-6-26	23-7-26	28	190	10,75	1
3	AK 30%	300	150	2	17671,46	11,75	24-6-26	23-7-26	28	200	11,31	1

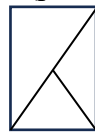
Bentuk Kehancuran (pilih diantara satu)



1



2



3



4



5

a. Perhitungan Kuat Tekan Beton Normal

Hasil dari pengujian kuat tekan pada beton normal sebagai berikut :

Beton Umur 7 Hari

Benda Uji 1 (BN 7 H)

- Beban (P) = 150 kN
- Luas Silinder (A) = $17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$
 $= \frac{150}{17671,5} = 8,48 \text{ Mpa}$

Benda Uji 2 (BN 7 H)

- Beban (P) = 100 kN
- Luas Silinder (A) = $17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$
 $= \frac{100}{17671,5} = 5,65 \text{ Mpa}$

Benda Uji 3 (BN 7 H)

- Beban (P) = 110 kN
- Luas Silinder (A) = $17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$
 $= \frac{110}{17671,5} = 6,22 \text{ Mpa}$

Beton Umur 14 Hari

Benda Uji 1 (BN 14 H)

- Beban (P) = 240 kN
- Luas Silinder (A) = $17671,5 \text{ mm}^2$

- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{240}{17671,5} = 13,58 \text{ MPa}$

Benda Uji 2 (BN 14 H)

- Beban (P) $= 180 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{180}{17671,5} = 10,18 \text{ MPa}$

Benda Uji 3 (BN 14 H)

- Beban (P) $= 200 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{200}{17671,5} = 11,31 \text{ MPa}$

Beton Umur 28 Hari

Benda Uji 1 (BN 28 H)

Benda Uji 1 (BN 28 H)

- Beban (P) $= 300 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{300}{17671,5} = 16,97 \text{ MPa}$

Benda Uji 2 (BN 28 H)

- Beban (P) $= 290 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$

- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{290}{17671,5} = 16,41 \text{ MPa}$

Benda Uji 3 (BN 28 H)

- Beban (P) $= 290 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{290}{17671,5} = 16,41 \text{ MPa}$

Beton Variasi Air Kelapa 10%

Umur 7 Hari

Benda Uji 1 (AK 10% 7H)

- Beban (P) $= 120 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{120}{17671,5} = 6,79 \text{ MPa}$

Benda Uji 2 (AK 10% 7H)

- Beban (P) $= 130 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{130}{17671,5} = 7,35 \text{ MPa}$

Benda Uji 3 (AK 10% 7H)

- Beban (P) $= 90 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$

- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{90}{17671,5} = 5,09 \text{ MPa}$

Umur 14 Hari

Benda Uji 1 (AK 10% 14H)

- Beban (P) $= 200 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{200}{17671,5} = 11,31 \text{ MPa}$

Benda Uji 2 (AK 10% 14H)

- Beban (P) $= 200 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{200}{17671,5} = 11,31 \text{ MPa}$

Benda Uji 3 (AK 10% 14H)

- Beban (P) $= 190 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{190}{17671,5} = 10,75 \text{ MPa}$

Umur 28 Hari

Benda Uji 1 (AK 10% 28H)

- Beban (P) $= 250 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$

- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{250}{17671,5} = 14,14 \text{ MPa}$

Benda Uji 2 (AK 10% 28H)

- Beban (P) $= 200 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{200}{17671,5} = 11,31 \text{ MPa}$

Benda Uji 3 (AK 10% 28H)

- Beban (P) $= 235 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{235}{17671,5} = 13,29 \text{ MPa}$

Beton Variasi Air Kelapa 20%

Umur 7 Hari

Benda Uji 1 (AK 20% 7H)

- Beban (P) $= 180 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{180}{17671,5} = 10,18 \text{ MPa}$

Benda Uji 2 (AK 20% 7H)

- Beban (P) $= 165 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$

- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{165}{17671,5} = 9,33 \text{ MPa}$

Benda Uji 3 (AK 20% 7H)

- Beban (P) $= 180 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{180}{17671,5} = 10,18 \text{ MPa}$

Umur 14 Hari

Benda Uji 1 (AK 20% 14H)

- Beban (P) $= 180 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{180}{17671,5} = 10,18 \text{ MPa}$

Benda Uji 2 (AK 20% 14H)

- Beban (P) $= 240 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{240}{17671,5} = 13,58 \text{ MPa}$

Benda Uji 3 (AK 20% 14H)

- Beban (P) $= 200 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$

$$= \frac{200}{17671,5} = 11,31 \text{ MPa}$$

Umur 28 Hari

Benda Uji 1 (AK 20% 28H)

- Beban (P) = 260 kN
- Luas Silinder (A) = $17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{260}{17671,5} = 14,71 \text{ MPa}$$

Benda Uji 2 (AK 20% 28H)

- Beban (P) = 210 kN
- Luas Silinder (A) = $17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{210}{17671,5} = 11,88 \text{ MPa}$$

Benda Uji 3 (AK 20% 28H)

- Beban (P) = 250 kN
- Luas Silinder (A) = $17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{250}{17671,5} = 14,14 \text{ MPa}$$

Beton Variasi Air Kelapa 30%

Umur 7 Hari

Benda Uji 1 (AK 30% 7H)

- Beban (P) = 70 kN

- Luas Silinder (A) = $17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$
 $= \frac{70}{17671,5} = 3,96 \text{ MPa}$

Benda Uji 2 (AK 30% 7H)

- Beban (P) = 115 kN
- Luas Silinder (A) = $17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$
 $= \frac{115}{17671,5} = 6,50 \text{ MPa}$

Benda Uji 3 (AK 30% 7H)

- Beban (P) = 120 kN
- Luas Silinder (A) = $17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$
 $= \frac{120}{17671,5} = 6,79 \text{ MPa}$

Umur 14 Hari

Benda Uji 1 (AK 30% 14H)

- Beban (P) = 160 kN
- Luas Silinder (A) = $17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$
 $= \frac{160}{17671,5} = 9,05 \text{ MPa}$

Benda Uji 2 (AK 30% 14H)

- Beban (P) = 150 kN
- Luas Silinder (A) = $17671,5 \text{ mm}^2$

- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{150}{17671,5} = 8,48 \text{ MPa}$

Benda Uji 3 (AK 30% 14H)

- Beban (P) $= 90 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{90}{17671,5} = 5,09 \text{ MPa}$

Umur 28 Hari

Benda Uji 1 (AK 30% 28H)

- Beban (P) $= 210 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{210}{17671,5} = 11,88 \text{ MPa}$

Benda Uji 2 (AK 30% 28H)

- Beban (P) $= 190 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$
 $= \frac{190}{17671,5} = 10,75 \text{ MPa}$

Benda Uji 3 (AK 30% 28H)

- Beban (P) $= 200 \text{ kN}$
- Luas Silinder (A) $= 17671,5 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$

$$= \frac{200}{17671,5} = 11,31 \text{ MPa}$$

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DAFTAR DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Ahmad Fauzi Febrian
Panggilan : Fauzi
Tempat, Tanggal Lahir : Marlintung, 15 Februari 2004
Jenis Kelamin : Laki Laki
Alamat : Jalan Perniagaan Stabat No. 31, Stabat
Agama : Islam
Nama Orang tua
Ayah : Sutardi
Ibu : Ningsih
No. Hp : 083184337219
E-mail : ahmadfauzifbr15@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 2207210143
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SDN 056008 Marlintung	2016
2	SMP	MTSN 3 Langkat	2019
3	SMA	MAN 3 Langkat	2022
4	Kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara 2022		