

TUGAS AKHIR

Pemeriksaan Modulus Elastisitas Pada Beton Silinder Dengan Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Dan *Sikament-NN* Sebagai Bahan Tambah Campuran Beton (*Studi Penelitian*)

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

Disusun Oleh:

RAFIKA AUDRIANI PUTRI LUBIS
1907210055



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2023**

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Rafika Audriani Putri Lubis

NPM : 1907210055

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pemeriksaan Modulus Elastisitas Pada Beton Silinder Dengan Tempurung Kelapa Sebagai Pengganti Agregat Kasar Dan *Sikament-NN* Sebagai Bahan Tambah Campuran Beton

Bidang Ilmu : Struktur

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

Disetujui Untuk Disampaikan

Kepada Panitia Ujian

Dosen Pembimbing



Assoc.Prof.Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Rafika Audriani Putri Lubis

NPM : 1907210055

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pemeriksaan Modulus Elastisitas Pada Beton Silinder Dengan Tempurung Kelapa Sebagai Pengganti Agregat Kasar Dan Sikament-NN Sebagai Bahan Tambah Campuran Beton

Bidang Ilmu : Struktur

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

Medan, 13 September 2023

Mengetahui dan Menyetujui:
Dosen Pembimbing



Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



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



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

Ketua Prodi Teknik Sipil



Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Rafika Audriani Putri Lubis
Tempat /Tanggal Lahir : Medan, 25 April 2002
NPM : 1907210055
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Pemeriksaan Modulus Elastisitas Pada Beton Silinder Dengan Tempurung Kelapa Sebagai Pengganti Agregat Kasar Dan *Sikament-NN* Sebagai Bahan Tambah Campuran Beton.”

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

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

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

Medan, 13 September 2023

Saya yang menyatakan,



Rafika Audriani Putri Lubis

ABSTRAK

Pemeriksaan Modulus Elastisitas Pada Beton Silinder Dengan Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Dan *Sikament-NN* Sebagai Bahan Tambah Campuran Beton

Rafika Audriani Putri Lubis

1907210055

Assoc.Prof.Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc

Penggunaan beton sebagai material konstruksi banyak digunakan karena beton memiliki sifat yang mudah dibentuk. Beton sangat diminati karena bahan ini merupakan bahan konstruksi yang mempunyai banyak kelebihan antara lain, mudah dikerjakan dengan cara mencampur semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambahan lain bila diperlukan dengan perbandingan tertentu. Untuk itu bahan konstruksi ini dianggap sangat penting untuk terus dikembangkan, salah satu inovasi adalah penggantian agregat kasar sebagai salah satu bahan penyusun beton, yakni menggunakan limbah pecahan tempurung kelapa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat tekan dan modulus elastisitas campuran beton dengan tempurung kelapa dengan persentase variasi campuran tempurung kelapa yang digunakan adalah 1,5%, 1,7% dan 1,9% serta 2,3% *Sikament-NN* sebagai bahan tambah dengan umur rencana 28 hari. Jumlah benda uji yang dibuat sebanyak 21 buah benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Hasil pengujian kuat tekan beton nilai tertinggi didapatkan pada campuran beton variasi beton tempurung kelapa 1,5% + *Sikament-NN* 2,3% sebesar 27,05 MPa dan dari hasil pengujian modulus elastisitas beton nilai tertinggi didapatkan pada campuran beton variasi beton tempurung kelapa 1,5% + *Sikament-NN* 2,3% sebesar 66768,535 MPa. Pada variasi BTK 1,5%, 1,7%, dan 1,9% terjadi penurunan sebesar 3,5%, 6,0%, dan 9,7% atau selisih 2172,14 MPa, 3776,56 MPa dan 6072,11 MPa dari beton normal. Sedangkan pada variasi BTKS 1,5%, 1,7% dan 1,9% terjadi peningkatan sebesar 6,8%, 6,0% dan 3,4% atau selisih 4270,22 MPa, 3776,56 MPa dan 2122,77 MPa dari beton normal dikarenakan penambahan *Sikament-NN*.

Kata kunci : Tempurung kelapa, *Sikament-NN*, Kuat tekan, Modulus elastisitas

ABSTRACT

Investigation of the Modulus of Elasticity in Cylindrical Concrete with Coconut Shell as a Substitute for Coarse Aggregate and Sikament-NN as Additive to Concrete Mixture

Rafika Audriani Putri Lubis

1907210055

Assoc.Prof.Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc

The use of concrete as a construction material is widely used because concrete has properties that are easily formed. Concrete is in great demand because this material is a construction material that has many advantages among others, it is easy to work with by mixing cement, fine aggregate, coarse aggregate, water and other additives if needed in a certain ratio. For this reason, this construction material is considered very important to continue to be developed, one of the innovations is the replacement of coarse aggregate as one of the building blocks of concrete, namely using waste coconut shell fragments. The purpose of this study was to determine the compressive strength and elastic modulus of concrete mix with coconut shells with the percentage of variations of the coconut shell mixture used were 1,5%, 1,7% and 1,9% and also 2,3% Sikament-NN as an ingredient add to the planned age of 28 days. The number of test objects made was 21 pieces of cylindrical test objects with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm. The results of the concrete compressive strength test results showed that the highest value was found in the concrete mixture with coconut shell concrete variation of 1,5% + Sikament-NN 2,3% of 27,05 MPa and from the results of the concrete modulus of elasticity the highest value was obtained in the concrete mixture with coconut shell concrete variation 1,5% + Sikament-NN 2,3% of 66768,535 MPa. For the BTK variations of 1,5%, 1,7% and 1,9%, there was a decrease of 3,5%, 6,0% and 9,7% or a difference of 2172,14 MPa, 3776,56 MPa and 6072,11 MPa than normal concrete. Whereas in the BTKS variations of 1,5%, 1,7% and 1,9% there was an increase of 6,8%, 6,0% and 3,4% or a difference of 4270,22 MPa, 3776,56 MPa and 2122,77 MPa of normal concrete due to the addition of Sikament-NN.

Keywords : *Coconut shell, Sikament-NN, Compressive strength, Modulus of elasticity*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmutullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur bagi Allah SWT yang telah menganugerahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul "Pemeriksaan Modulus Elastisitas Beton Silinder Dengan Tempurung Kelapa Sebagai Pengganti Agregat Kasar Dan *Sikament-NN* Sebagai Bahan Tambah Campuran Beton" sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU). Shalawat dan salam tak lupa pula penulis haturkan kepada junjungan alam Nabi Muhammad SAW selaku suri tauladan umat manusia di dunia.

Dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini penulis memperoleh bantuan dari banyak pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Assoc.Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, dan juga sebagai Ketua Prodi Teknik Sipil.
2. Ibu Rizki Efrida, ST.,MT. selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, dan juga sebagai Sekretaris Jurusan Prodi Teknik Sipil yang ikut andil dalam proses administrasi penelitian.
3. Bapak Dr. Josef Hadipramana S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Dr. Ade Faisal, ST, M.Sc, Ph.D. selaku selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik sipil kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. PT. Sika Berkah Mandiri yang telah bersedia memberikan bantuan berupa *Sikament-NN* dalam penelitian ini.
9. Teristimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Alfian Lubis, SH., MH. dan Ibunda tercinta Ika Sundari yang telah bersusah payah membesarkan dan memberikan kasih sayangnya yang tidak ternilai kepada penulis.
10. Sahabat dan rekan seperjuangan penulis yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu, yang telah membantu dan menyemangati penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Semoga segala kebaikan semua pihak mendapat balasan yang terbaik dan berlipat dari Allah SWT.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa hasil penulisan laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, maka dengan demikian penulis mengharapkan adanya saran dan kritikan yang bersifat konstruktif dan membangun dari para pembaca, sehingga menjadi bahan pembelajaran pada masa yang akan datang untuk mencapai hasil yang maksimal. Semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca atau bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, 13 September 2023

Rafika Audriani Putri Lubis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton	5
2.2 Material Penyusun Beton	5
2.2.1 Agregat	6
2.2.2 Agregat Halus	6
2.2.3 Agregat Kasar	9
2.2.4 Semen	11
2.2.5 Air	12
2.3 Tempurung Kelapa	13
2.4 Bahan Tambah	14
2.4.1 <i>Sikament-NN</i>	14
2.5 Kuat Tekan Beton	16

2.6 Modulus Elastisitas Beton	16
2.7 Penelitian Terdahulu	18
BAB 3 METODE PENELITIAN	23
3.1 Metode Penelitian Umum	23
3.2 Sumber Data dan Teknik Pengambilan Data	23
3.2.1 Data Primer	23
3.2.2 Data Sekunder	23
3.3 Pelaksanaan Penelitian	26
3.3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	26
3.3.2 Rancangan Penelitian	26
3.4 Bahan dan Peralatan	27
3.4.1 Bahan	27
3.4.2 Peralatan	27
3.5 Persiapan Penelitian	29
3.6 Pemeriksaan Agregat	29
3.6.1 Analisa Saringan	29
3.6.2 Kadar Air	30
3.6.3 Berat Jenis Agregat Halus dan Penyerapannya	31
3.6.4 Berat Jenis Agregat Kasar dan Penyerapannya	33
3.6.5 Berat Isi	35
3.6.6 Kadar Lumpur	37
3.7 Tempurung Kelapa	37
3.8 <i>Sikament-NN</i>	38
3.9 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	39
3.10 Pembuatan Benda Uji	39
3.11 <i>Slump Test</i>	40
3.12 Perawatan Beton	42
3.13 Pembuatan Kaping (<i>Capping</i>)	42
3.14 Pengujian Kuat Tekan Beton	43
3.15 Pengujian Modulus Elastisitas Beton	44
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Pemeriksaan Agregat Kasar	46

4.1.1 Analisa Saringan	46
4.1.2 Kadar Air	47
4.1.3 Berat Jenis Agregat Kasar dan Penyerapannya	47
4.1.4 Kadar Lumpur	48
4.1.5 Berat Isi	49
4.2 Pemeriksaan Agregat Halus	49
4.2.1 Analisa Saringan	49
4.2.2 Kadar Air	50
4.2.3 Berat Jenis Agregat Halus dan Penyerapannya	51
4.2.4 Kadar Lumpur	52
4.2.5 Berat Isi	53
4.3 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	53
4.4 Perkiraan Bahan	60
4.5 Pembuatan Benda Uji	60
4.6 Pengujian <i>Slump Test</i>	61
4.7 Kuat Tekan Beton	62
4.8 Modulus Elastisitas Beton	63
4.9 Estimasi Harga Beton	70
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	74
5.1 Kesimpulan	74
5.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	79
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	97

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Batas gradasi agregat halus	7
Tabel 2.2	Batas gradasi agregat kasar	10
Tabel 2.3	Tipe semen dan fungsinya	12
Tabel 2.4	Komposisi kimia tempurung kelapa	14
Tabel 2.5	Karakteristik <i>Sikament-NN</i>	15
Tabel 3.1	Variasi campuran beton	26
Tabel 3.2	Rumus perhitungan pengujian berat jenis agregat halus	32
Tabel 3.3	Rumus perhitungan pengujian berat jenis agregat kasar	33
Tabel 4.1	Data hasil penelitian analisa saringan agregat kasar	46
Tabel 4.2	Data hasil penelitian kadar air agregat kasar	47
Tabel 4.3	Data hasil penelitian berat jenis dan penyerapan agregat kasar	47
Tabel 4.4	Data hasil penelitian kadar lumpur agregat kasar	48
Tabel 4.5	Data hasil penelitian berat isi agregat kasar	49
Tabel 4.6	Data hasil penelitian analisa saringan agregat halus	50
Tabel 4.7	Data hasil penelitian kadar air agregat halus	51
Tabel 4.8	Data hasil penelitian berat jenis dan penyerapan agregat halus	51
Tabel 4.9	Data hasil penelitian kadar lumpur agregat halus	52
Tabel 4.10	Data hasil penelitian berat isi agregat halus	53
Tabel 4.11	Perkiraan kebutuhan air pencampur dan kadar udara untuk berbagai <i>slump</i> dan ukuran nominal agregat maksimum batu pecah.	54
Tabel 4.12	Hubungan antara rasio air semen dan kekuatan beton	55
Tabel 4.13	Volume agregat kasar persatuan volume beton	56
Tabel 4.14	Perkiraan awal berat beton segar	57
Tabel 4.15	Perbandingan berat bahan	58
Tabel 4.16	Hasil perbandingan bahan campuran beton	59
Tabel 4.17	Kebutuhan bahan penyusun beton untuk setiap variasi campuran	60
Tabel 4.18	Hasil pengujian modulus elastisitas metode ASTM C 469-02	64

Tabel 4.19	Estimasi harga satuan beton	70
Tabel 4.20	Estimasi harga satuan beton normal	71
Tabel 4.21	Estimasi harga satuan beton tempurung kelapa variasi 1,5%	71
Tabel 4.22	Estimasi harga satuan beton tempurung kelapa variasi 1,7%	71
Tabel 4.23	Estimasi harga satuan beton tempurung kelapa variasi 1,9%	71
Tabel 4.24	Estimasi harga satuan beton tempurung kelapa variasi 1,5% + <i>Sikament-NN</i>	72
Tabel 4.25	Estimasi harga satuan beton tempurung kelapa variasi 1,7% + <i>Sikament-NN</i>	72
Tabel 4.26	Estimasi harga satuan beton tempurung kelapa variasi 1,9% + <i>Sikament-NN</i>	72
Tabel 4.27	Estimasi harga satuan beton setiap variasi	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Batas gradasi pasir no I (Pasir Kasar)	8
Gambar 2.2	Batas gradasi pasir no II (Pasir Agak Kasar)	8
Gambar 2.3	Batas gradasi pasir no III (Pasir Agak Halus)	9
Gambar 2.4	Batas gradasi pasir no IV (Pasir Halus)	9
Gambar 2.5	Batas gradasi agregat kasar	11
Gambar 2.6	Kurva tegangan-regangan beton yang diberi tekanan	17
Gambar 3.1	Bagan alir metode penelitian	25
Gambar 3.2	Pengujian analisa saringan	30
Gambar 3.3	Pengujian kadar air	31
Gambar 3.4	Pengujian berat jenis agregat halus	33
Gambar 3.5	Pengujian berat jenis agregat kasar	34
Gambar 3.6	Pengujian berat isi dengan cara lepas	35
Gambar 3.7	Pengujian berat isi dengan cara rojok	36
Gambar 3.8	Pengujian berat isi dengan cara goyang	36
Gambar 3.9	Pengujian kadar lumpur	37
Gambar 3.10	Tempurung kelapa	38
Gambar 3.11	<i>Sikament-NN</i>	38
Gambar 3.12	Pembuatan benda uji	39
Gambar 3.13	Benda uji beton silinder	40
Gambar 3.14	<i>Slump test</i>	41
Gambar 3.15	Perendaman beton	42
Gambar 3.16	Pembuatan <i>capping</i>	43
Gambar 3.17	<i>Digital Compression Machine Test</i>	44
Gambar 3.18	<i>Extensometer</i>	45
Gambar 4.1	Grafik nilai <i>slump test</i>	61
Gambar 4.2	Grafik hasil pengujian kuat tekan	62
Gambar 4.3	Grafik hasil pengujian kuat tekan rata-rata	63
Gambar 4.4	Grafik hasil pengujian nilai modulus elastisitas	65
Gambar 4.5	Grafik hasil pengujian nilai modulus elastisitas rata-rata	65

Gambar 4.6	Grafik hasil pengujian modulus elastisitas metode SNI 2847-2019	66
Gambar 4.7	Grafik perbandingan nilai modulus elastisitas beton antara metode ASTM C 469-02 dengan metode SNI 2847-2019	67
Gambar 4.8	Hubungan tegangan dan regangan variasi BTN	68
Gambar 4.9	Hubungan tegangan dan regangan variasi BTK 1,5%	68
Gambar 4.10	Hubungan tegangan dan regangan variasi BTK 1,7%	69
Gambar 4.11	Hubungan tegangan dan regangan variasi BTK 1,9%	69
Gambar 4.12	Hubungan tegangan dan regangan variasi BTKS 1,5%	69
Gambar 4.13	Hubungan tegangan dan regangan variasi BTKS 1,7%	69
Gambar 4.14	Hubungan tegangan dan regangan variasi BTKS 1,9%	70
Gambar 4.15	Grafik estimasi harga setiap variasi beton	73

DAFTAR NOTASI

A	= Luas Penampang Benda Uji	(mm ²)
A	= Berat benda uji kering oven	(gram)
B	= Berat piknometer berisi air	(gram)
C	= Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan	(gram)
E _c	= Modulus Elastisitas	(MPa)
f'_c	= Kuat Tekan	(N/mm ²)
P	= Gaya Tekan Maksimum	(N)
P	= Kadar air benda uji	(%)
S	= Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan	(gram)
V	= Volume wadah	(m ³)
W	= Berat agegat	(Kg)
W _c	= Berat isi beton antara 1440 – 2560	(Kg/m ³)
W ₁	= Massa benda uji	(gr)
W ₂	= Massa benda uji kering oven	(gr)
γ	= Berat isi agregat	(Kg/m ³)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur dan kebutuhan akan tempat tinggal memicu inovasi dalam bidang rekayasa struktur, khususnya bidang teknologi bahan konstruksi. Inovasi-inovasi yang dilakukan di antaranya bertujuan untuk menghasilkan material struktur yang memiliki sifat-sifat yang baik dengan metode dan biaya yang ekonomis (Septiadi et al., 2022).

Salah satu bahan konstruksi yang digunakan adalah beton. Material beton merupakan material yang umum digunakan pada konstruksi bangunan karena material penyusun beton sangat terjangkau yang dapat memungkinkan siapa saja dapat membuat campuran beton (Hunggurami et al., 2017).

Beton yang dihasilkan diharapkan mempunyai kualitas tinggi meliputi kekuatan dan daya tahan tanpa mengabaikan nilai ekonomis. Pada umumnya bahan pengisi (*filler*) beton terbuat dari bahan-bahan yang mudah diolah (*workability*) dan mempunyai keawetan (*durability*) serta kekakuan (*strength*) yang sangat diperlukan dalam suatu konstruksi. Banyaknya penelitian dan percobaan di bidang beton dilakukan sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas beton (Elisabeth et al., 2020).

Jumlah penggunaan beton dalam konstruksi terus berkembang mengakibatkan peningkatan kebutuhan material beton sehingga memicu penambangan batuan sebagai salah satu bahan pembentuk beton secara besar-besaran. Oleh karena itu, diperlukan suatu bahan tambah atau bahan pengganti yang sesuai spesifikasi untuk mengimbangi penggunaan sumber daya alam sebagai agregat campuran beton (Nawati, Tumingan, et al., 2019).

Kekayaan alam Indonesia dipenuhi dengan berbagai jenis tumbuhan, salah satunya kelapa. Dimana buahnya biasa digunakan untuk bahan makanan dan tempurungnya untuk pembakaran. Berdasarkan data dari Kementerian Pertanian Indonesia, produktivitas kelapa di Indonesia sebanyak 2.920.665 pada tahun 2015. Produktivitas yang tinggi menempatkan Indonesia sebagai negara penghasil kelapa terbanyak di dunia. Kebutuhan kelapa yang terus meningkat akan menghasilkan

sisa tempurung kelapa yang semakin banyak dan akhirnya menjadi limbah sampah (Jacky et al., 2018).

Berat tempurung sekitar 15-19% dari berat keseluruhan buah kelapa. Tempurung kelapa diperoleh setelah melakukan pemisahan buah daging kelapa yang menempel pada tempurung (Lumbangaol & Panjaitan, 2021).

Dengan penggunaan material batok kelapa sebagai bahan pengganti agregat kasar dalam campuran beton, diharapkan dapat memperbaiki sifat-sifat mekanik beton yang terdiri dari kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, kuat geser beton, dan modulus elastisitas beton. Maka berdasarkan ulasan diatas, melatar belakangi penulis untuk melakukan penelitian yang berjudul “Pemeriksaan Modulus Elastisitas Pada Beton Silinder Dengan Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Dan *Sikament-NN* Sebagai Bahan Tambah Campuran Beton”

1.2 Rumusan Masalah

Adapun masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh tempurung kelapa dan *Sikament-NN* terhadap nilai modulus elastisitas beton pada benda uji silinder?
2. Pada persentase berapa tempurung kelapa dan *Sikament-NN* yang memiliki pengaruh paling besar terhadap nilai modulus elastisitas beton?
3. Bagaimana perbandingan antara nilai modulus elastisitas beton tempurung kelapa dan *Sikament-NN* dengan nilai modulus elastisitas beton normal?

1.3 Ruang Lingkup

Mengingat luasnya ruang lingkup permasalahan yang ada pada penelitian ini, maka penulis membatasi permasalahan sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
2. Metode untuk perencanaan campuran beton menggunakan standar nasional indonesia (SNI 7656:2012) dan tidak membahas kandungan kimia yang terdapat dalam tempurung kelapa.
3. Semen yang digunakan adalah semen *portland* tipe 1 dengan merk Padang.

4. Agregat kasar, agregat halus, dan air yang digunakan berasal dari Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Persentase tempurung kelapa yang digunakan pada penelitian ini adalah 1,5%, 1,7%, dan 1,9% dari berat agregat kasar yang digunakan dan benda uji masing-masing variasi sebanyak 3 (tiga) buah.
6. Ukuran tempurung kelapa yang digunakan ialah lolos saringan No.3/8 dan tertahan pada saringan No.4
7. Persentase *Sikament-NN* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 2,3% dari berat semen sebagai bahan tambah kimia pada campuran beton.
8. Jumlah seluruh benda uji 21 buah.
9. Benda uji berupa silinder beton dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
10. Umur beton yang diuji adalah 28 hari.
11. Kuat tekan yang diisyaratkan adalah sebesar 25 MPa.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh tempurung kelapa dan *Sikament-NN* terhadap nilai modulus elastisitas beton pada benda uji silinder.
2. Untuk mengetahui pada persentase berapa tempurung kelapa dan *Sikament-NN* yang memiliki pengaruh paling besar terhadap nilai modulus elastisitas beton.
3. Untuk mengetahui perbandingan nilai modulus elastisitas beton tempurung kelapa dan *Sikament-NN* dengan nilai modulus elastisitas beton normal.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk memenuhi persyaratan tugas akhir dan memberikan pengetahuan dan pemahaman yang lebih mendalam tentang pemanfaatan limbah tempurung kelapa sebagai pengganti agregat kasar pada campuran beton, sehingga mampu memberikan kontribusi yang besar dalam perkembangan teknologi beton di dunia Teknik Sipil.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan tugas akhir ini diuraikan menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Dalam bab ini diuraikan mengenai latar belakang, perumusan masalah, batasan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penelitian.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini berusaha menguraikan dan membahas bahan bacaan yang relevan dengan pokok bahasan studi, sebagai dasar untuk mengkaji permasalahan yang ada dan menyiapkan landasan teori.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini menguraikan tentang tahapan penelitian, pelaksanaan penelitian, teknik pengumpulan data, peralatan penelitian, jenis data yang diperlukan, pengambilan data, dan analisa data.

BAB IV : ANALISA DATA

Bab ini membahas tentang proses pengolahan data yang berhubungan dengan hasil penelitian, langkah kerja yang digunakan dalam analisa data.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran yang berdasarkan atas hasil pengolahandata yang dilakukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton merupakan salah satu komponen terpenting dalam suatu bangunan karena beton merupakan salah satu elemen penyusun struktur, hal ini dikarenakan sistem struktur beton mempunyai banyak keunggulan, salah satunya adalah tahan terhadap tegangan tekan dan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Pada dasarnya beton dibuat dengan mencampurkan semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat kasar, agregat halus (pasir) dan air menjadi satu kesatuan, kemudian mengeras dalam jangka waktu tertentu. Sifat beton yang umum diamati adalah kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur. Kinerjanya sangat bergantung pada beberapa faktor, antara lain kualitas bahan dasar yang digunakan untuk membuat beton, komposisi campuran, umur dan kondisi cuaca atau faktor lingkungan (Lumbangaol & Panjaitan, 2021).

Proses awal terjadinya beton adalah pasta semen yaitu proses hidrasi antara air dengan semen, selanjutnya jika ditambahkan dengan agregat halus menjadi mortar dan jika ditambahkan dengan agregat kasar menjadi beton. Penambahan material lain akan membedakan jenis beton, misalnya yang ditambahkan adalah tulangan baja akan terbentuk beton bertulang (Andini et al., 2019).

2.2 Material Penyusun Beton

Beton merupakan campuran antara bahan agregat halus dan kasar dengan pasta semen (kadang-kadang juga ditambahkan admixtures), campuran tersebut apabila dituangkan ke dalam cetakan kemudian didiamkan akan menjadi keras seperti batuan. Proses pengerasan terjadi karena adanya reaksi kimiawi antara air dengan semen yang terus berlangsung dari waktu ke waktu, hal ini menyebabkan kekerasan beton terus bertambah sejalan dengan waktu. Beton dapat juga dipandang sebagai batuan buatan di mana adanya rongga pada partikel yang besar (agregat kasar) diisi oleh agregat halus dan rongga yang ada di antara agregat halus akan diisi oleh pasta (campuran air dengan semen) yang juga berfungsi sebagai bahan perekat sehingga

semua bahan penyusun dapat menyatu menjadi massa yang padat (Eransyah et al., 2022).

Bahan penyusun beton meliputi air, semen portland, agregat kasar dan halus serta bahan tambah, di mana setiap bahan penyusun mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda. Sifat yang penting pada beton adalah kuat tekan, bila kuat tekan tinggi maka sifat-sifat yang lain pada umumnya juga baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton terdiri dari kualitas bahan penyusun, nilai faktor airsemen, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat, cara pengerjaan (pencampuran, pengangkutan, pemadatan dan perawatan) serta umur beton (Rahmawati et al., 2021).

2.2.1 Agregat

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya. Agregat untuk beton adalah butiran mineral keras yang bentuknya mendekati bulat dengan ukuran butiran antara 0,063 mm — 150 mm. Agregat menurut asalnya dapat dibagi dua yaitu agregat alami yang diperoleh dari sungai dan agregat buatan yang diperoleh dari batu pecah. Dalam hal ini, agregat yang digunakan adalah agregat alami yang berupa coarse agregat (kerikil), coarse sand (pasir kasar), dan fine sand (pasir halus). Dalam campuran beton, agregat merupakan bahan penguat (*strengter*) dan pengisi (*filler*), dan menempati 60% — 75% dari volume total beton (Rahmawati et al., 2021).

Keutamaan agregat dalam peranannya di dalam beton :

1. Menghemat penggunaan semen Portland
2. Menghasilkan kekuatan besar pada beton
3. Mengurangi penyusutan pada pengerasan beton
4. Dengan gradasi agregat yang baik dapat tercapai beton yang padat

2.2.2 Agregat Halus

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton 70% dari berat campuran beton. Agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar yang tertahan pada saringan no.4 atau ukuran 4,75 mm, dan agregat halus yang lolos saringan no.4 atau

ukuran 4,75 mm (Hudori et al., 2022). Agregat Halus merupakan bahan pengisi diantara agregat kasar sehingga menjadikan ikatan lebih kuat sebagai pengisi pori dari agregat kasar yang mempunyai B_j 1400 kg/m. Agregat halus yang baik tidak mengandung lumpur lebih besar 5 % dari berat, tidak mengandung bahan organis lebih banyak benar benar murni agregat halus, terdiri dari butiran yang tajam dan keras, dan bervariasi. Berdasarkan SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah agregat besar butir maksimum 4,76 mm berasal dari alam atau hasil alam, sedangkan agregat halus olahan adalah agregat halus yang dihasilkan dari pecahan dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan atau cara lainnya dari batuan atau terak tanur tinggi.

Persyaratan agregat halus secara umum menurut SNI 03-6821-2002 adalah sebagai berikut:

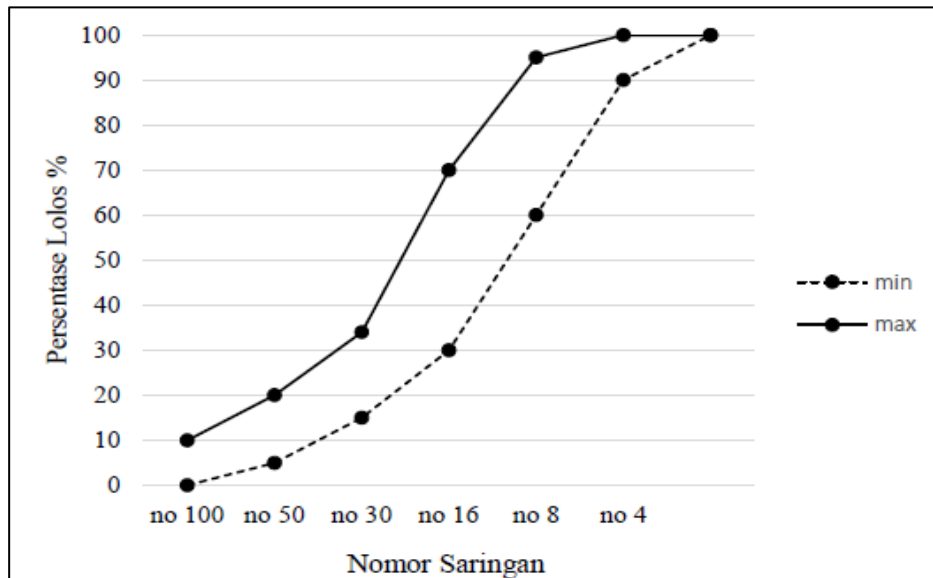
1. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
2. Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat di uji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10% berat. Sedangkan jika dipakai magnesium sulfat
3. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpur melampaui 5% maka pasir harus di cuci.

Agregat halus dikelompokkan dalam empat zona (daerah) seperti dalam Tabel 2.1.

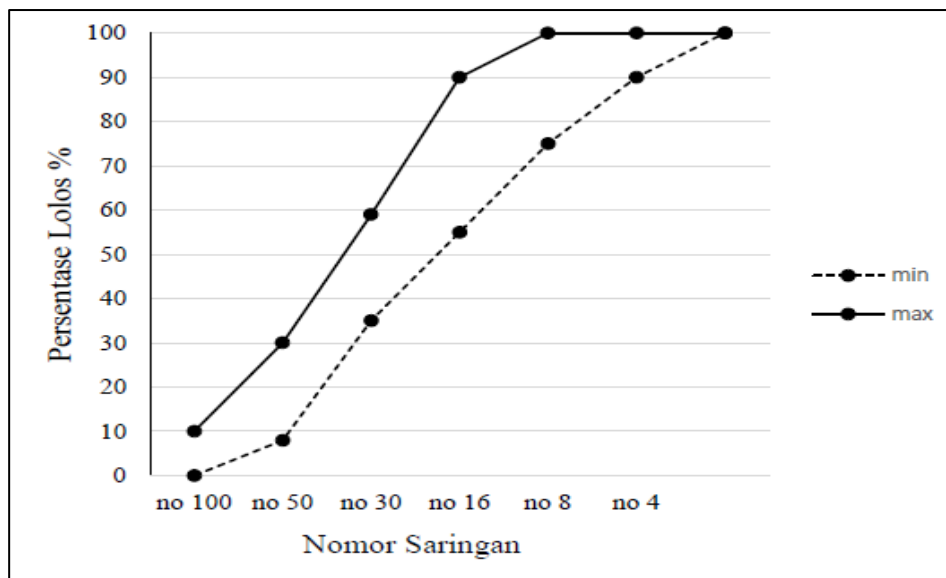
Tabel 2.1: Batas gradasi agregat halus (SNI 03-2834, 2000).

Lubang Ayakan (mm)	No	Persen berat butir yang lewat ayakan			
		I	II	III	IV
10	3/8 in	100	100	100	100
4,8	No.4	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	No.8	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	No.16	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	No.30	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	No.50	5-20	8-30	12-40	15-40
0,25	No.100	0-10	0-10	0-10	0-15

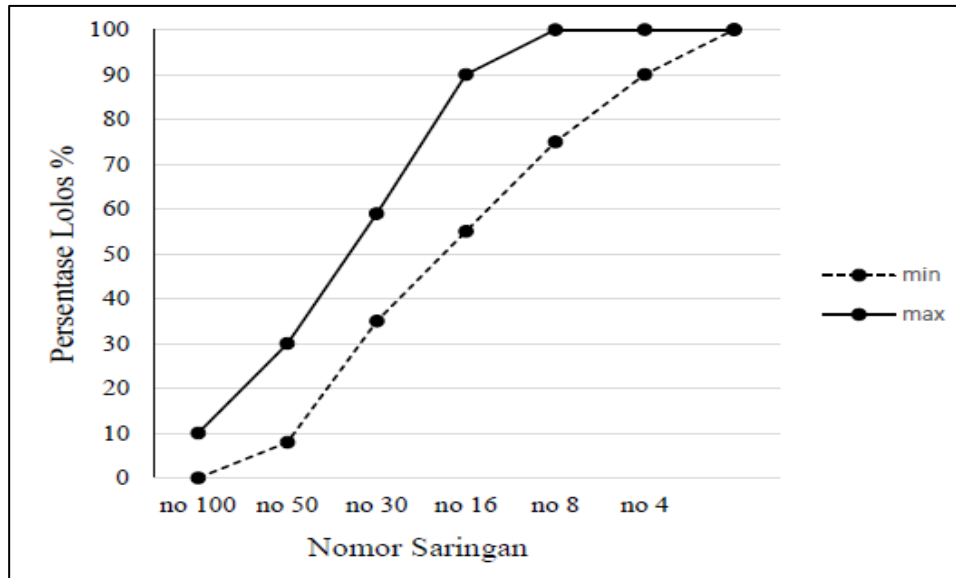
- Keterangan :
- Daerah Gradasi I = Pasir Kasar
 - Daerah Gradasi II = Pasir Agak Kasar
 - Daerah Gradasi III = Pasir Agak Halus
 - Daerah Gradasi IV = Pasir Halus



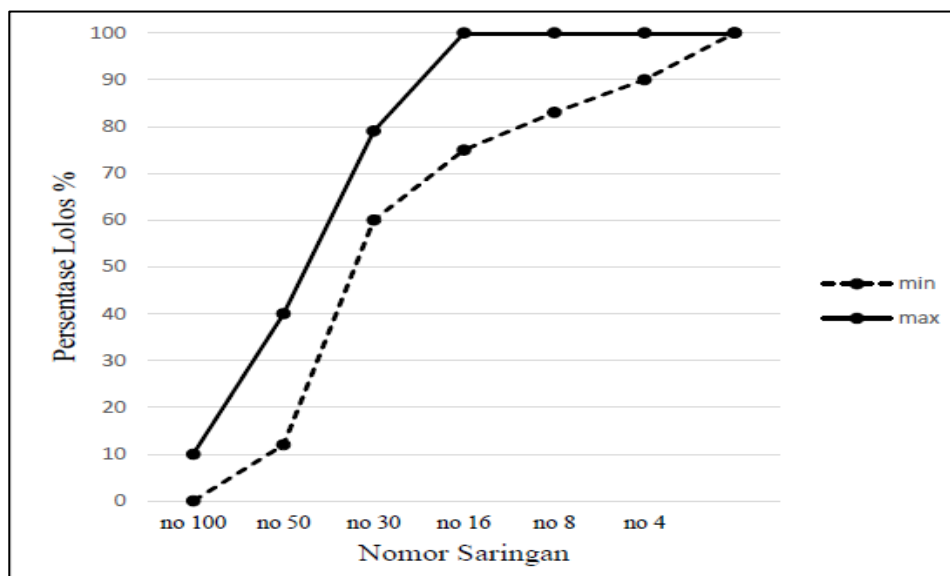
Gambar 2.1: Batas gradasi pasir no I (Pasir Kasar) (SNI 03-2834, 2000)



Gambar 2.2: Batas gradasi pasir no II (Pasir Agak Kasar) (SNI 03-2834, 2000)



Gambar 2.3: Batas gradasi no III (Pasir Agak Halus) (SNI 03-2834, 2000)



Gambar 2.4: Batas gradasi no IV (Pasir Halus) (SNI 03-2834, 2000)

2.2.3 Agregat Kasar

Agregat kasar (Coarse Aggregate) biasa juga disebut kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu, dengan butirannya berukuran antara 4,76 mm — 150 mm (Firdiansyah & Sulton, 2017). Agregat kasar ini dipakai secara bersama-sama dengan media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidraulik atau adukan. Agregat kasar ini menjadi komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya.

Sama seperti halnya agregat halus, agregat kasar berdasarkan asalnya juga dibagi menjadi dua yaitu agregat alami yang diperoleh dari sumber alam dan agregat buatan yang diperoleh dari hasil industri pemecah batu (Irawan & Khatulistiani, 2021).

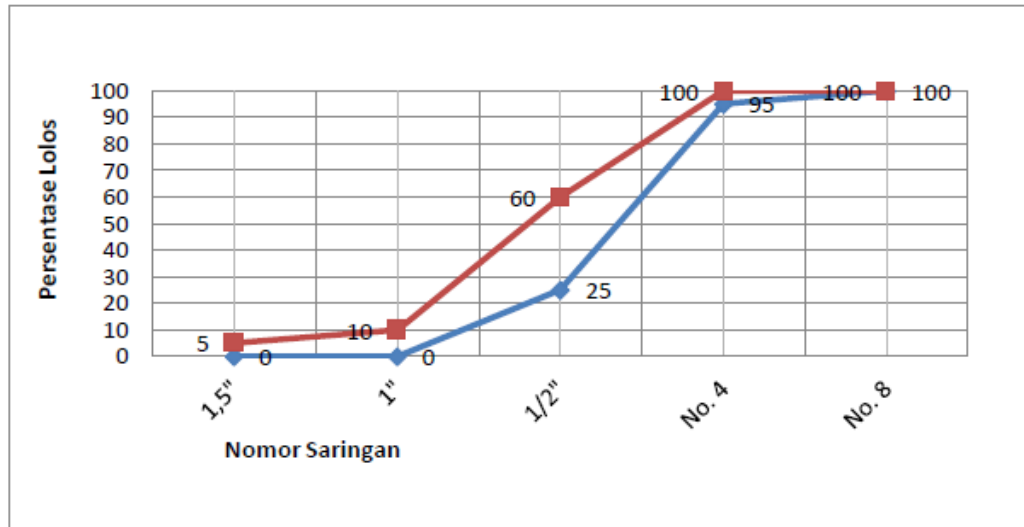
Menurut (SNI 03-2834 2000) agregat kasar untuk beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% terhadap berat kering. Apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.
2. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat reaktif alkali.
3. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan ayakan harus memenuhi syarat-syarat:
 - a. Sisa diatas ayakan 31,5 mm lebih kurang 0% berat total
 - b. Sisa diatas ayakan 4 mm lebih kurang 90% - 98% berat total
 - c. Selisih antara sisa-sisa komulatif diatas dua ayakan yang berurutan adalah maksimum 60% berat total, minimum 10% berat total.
4. Berat butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari 1/5 jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, 1/3 dari tebal plat atau 3/4 dari jarak besi minimum antara tulang-tulangan.

Menurut (SNI 03-2834 2000) batas gradasi agregat kasar dengan diameter agregat maksimum 37,5 mm dapat dilihat dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Batas gradasi agregat kasar (SNI 03-2834, 2000).

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Lewat Ayakan, Diameter Terbesar 37,5	
	Minimum	Maksimum
37,5 (1,5 in)	0	5
25 (1 in)	0	10
12,5 (1/2 in)	25	60
4,75 (No. 4)	95	100
2,36 (No. 8)	100	100



Gambar 2.5: Batas gradasi agregat kasar (SNI 03-2834, 2000).

2.2.4 Semen

Semen portland merupakan komponen utama dalam teknologi beton yang berfungsi sebagai perekat hidrolis untuk mengikat dan menyatukan agregat menjadi masa padat. Berbagai jenis semen portland, melalui pengaturan rancangan bahan dasar, telah dikembangkan sesuai dengan jenis bangunan dan persyaratan lingkungan dimana beton akan digunakan. Yang umum digunakan untuk membuat beton adalah semen Portland tipe I (PPI). Semen jenis ini dipakai untuk bangunan-bangunan yang tidak memerlukan persyaratan khusus, seperti panas dan atau waktu hidrasi serta kondisi lingkungan agresif (SNI 15-2049-2004). Dengan perkembangan teknologi dan juga usaha yang dilakukan untuk menghemat biaya dan energi produksi serta mengatasi permasalahan lingkungan, dewasa ini telah diproduksi semen portland pozzolan (PPC) yang merupakan campuran dari klinker semen portland dengan bahan yang mempunyai sifat pozzolan (Salain, 2007).

Fungsi semen adalah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak atau padat, selain itu juga untuk mengisi rongga di antara butiran-butiran agregat. Menurut Standar Industri Indonesia (SII 0013-81) di Indonesia semen *Portland* dibedakan menjadi lima jenis, yaitu jenis I, II, III, IV, dan V (Andini et al., 2019).

Tabel 2.3: Tipe semen dan fungsinya (SII 0013-81)

Tipe Semen	Deskripsi
I	Semen <i>Portland</i> Jenis Umum (<i>Normal PC</i>) yaitu jenis semen untuk penggunaan dalam konstruksi beton secara umum yang tidak memerlukan sifat- sifat khusus, misalnya untuk trotoar, pasangan bata, dll
II	Semen Portland Jenis Umum dengan perubahan- perubahan (<i>Modified Portland Cement</i>). Semen ini memiliki panas hidrasi yang lebih rendah dari Jenis I. Semen ini digunakan untuk bangunan- bangunan tebal seperti pilar, kolom, dll
III	Semen Portland dengan kekuatan awal tinggi (<i>High Early Strength PC</i>). Jenis ini akan menghasilkan beton dengan kekuatan yang besar pada waktu singkat, biasanya digunakan untuk struktur yang mendesak digunakan, misalnya perbaikan jalan beton
IV	Semen <i>Portland</i> dengan panas hidrasi rendah (<i>Low Heat PC</i>). Jenis ini merupakan jenis khusus dengan panas hidrasi yang serendah-rendahnya. Digunakan untuk bangunan beton massa besar, seperti bendungan, dll
V	Semen Portland tahan sulfat (<i>Sulfat Resistant PC</i>). Jenis PC yang khusus dimaksudkan untuk penggunaan pada bangunan- bangunan yang kena sulfat seperti Industri Kimia dan lain-lain.

2.2.5 Air

Air merupakan material yang sangat penting dalam campuran beton dan harganya yang paling murah. Dalam pembuatan beton, air yang digunakan harus bersih dan bebas dari campuran bahan yang berbahaya seperti minyak, tumbuhan, dan kandungan lain (Umar et al., 2019). Air mempunyai pengaruh penting terhadap kekuatan dan kemudahan dalam pelaksanaan beton karena kelebihan air dapat menurunkan kekuatan beton dan dapat mengakibatkan beton menjadi *bleeding*. Yang mana air bersama semen akan bergerak keatas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituangkan. Kemudahan pelaksanaan pembuatan beton sangat bergantung pada air untuk mendapatkan beton yang mudah dilaksanakan tetapi dengan kekuatan yang tetap, harus dipertahankan jumlah air dengan semennya atau bisa disebut faktor air semen (*water cemen ratio*). Air yang digunakan dalam pembuatan beton adalah air yang bebas dari bahan-bahan yang merugikan (Hudori et al., 2022).

Proses pengikatan, pengerasan semen atau hidrasi pada beton akan berjalan dengan baik jika menggunakan air yang memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Air harus bersih, tidak berbau, tidak mempunyai rasa, dan dapat dikonsumsi sebagai air minum.
2. Tidak mengandung lumpur, minyak, benda-benda terapung yang dapat dilihat secara visual
3. Tidak mengandung alkali atau garam-garam yang terlarut dan dapat merusak beton
4. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2gr/lit.
5. Kandungan klorida tidak lebih dari 500 ppm dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 ppm sebagai SO_4 , dimana ppm adalah singkatan dari *part per million* yaitu kandungan zat kimia yang masih diperbolehkan.
6. Dianalisa secara kimia dan mutunya dievaluasi menurut pemakaian.
7. Bila dibandingkan kekuatan tekannya dengan yang mengandung air suling sebagai pencampuran maka persentase kekuatan tekan yang terjadi tidak boleh lebih dari 10% pemakaian air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya beton yang akan dihasilkan akan berkurang kekuatannya.

2.3 Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa merupakan lapisan keras yang terdiri dari *lignin*, *selulosa*, *metoksil* dan berbagai mineral. Kandungan bahan-bahan tersebut beragam sesuai dengan jenis kelapanya. Struktur yang keras disebabkan oleh silikat (*Sio*) yang cukup tinggi kadarnya pada tempurung. Berat tempurung sekitar 15-19 % dari berat keseluruhan buah kelapa. Tempurung kelapa diperoleh setelah melakukan pemisahan buah daging kelapa yang menempel pada tempurung. Tempurung kelapa termasuk golongan kayu keras, secara kimiawi memiliki komposisi kimiawi yang hampir mirip dengan kayu yaitu tersusun dari lignin 36,51%, selulosa 33,61%, semiselulosa 29,27% (Irawan & Khatulistiani, 2021).

Buah kelapa terdiri dari kulit luar, sabut, batok kelapa, kulit daging (testa), daging buah, air kelapa dan lembaga. Buah kelapa yang sudah tua memiliki bobot

sabut 35%, tempurung 12%, endosperm 28% dan air 25%. Komposisi kimia tempurung kelapa seperti dibawah ini (Novitasari et al, 2022).

Tabel 2.4: Komposisi kimia tempurung kelapa (Novitasari et al., 2022).

Parameter	Kadar (%)
Selulosa	26,60
Lignin	29,40
Pentosan	27,70
Solvent ekstraktif	4,20
Uronat unhidrid	3,50
Abu	0,62
Nitrogen	0,11
Air	8,01

2.4 Bahan Tambah

Penambahan bahan tambah dalam sebuah campuran beton atau mortar tidak mengubah komposisi yang besar dari bahan lainnya, karena penggunaan bahan tambah ini cenderung merupakan pengganti atau substitusi dari dalam campuran beton itu sendiri. Karena tujuannya memperbaiki atau mengubah sifat dan karakteristik tertentu dari beton atau mortar yang dihasilkan, maka kecenderungan perubahan komposisi dalam berat volume tidak terasa langsung dibandingkan dengan komposisi awal beton tanpa bahan tambah (Megasari, 2017).

Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*).

2.4.1 Sikament-NN

Sikament-NN digunakan sebagai superplasticizer dalam produksi beton yang mengalir dan sebagai bahan pengurang air untuk beton dengan kekuatan awal yang tinggi untuk :

- a. Beton pra-cetak
- b. Beton pra-tekan

- c. Jembatan dan struktur penyangga
- d. Area dimana cetakan atau bekisting harus cepat dipindahkan atau segera dibebani

Sikament-NN memberikan keuntungan sebagai berikut :

- a. Sebagai superplasticizer
 - 1. Keleccakan (workability) meningkat tajam, memudahkan pengecoran untuk struktur ramping dengan penulangan yang rapat
 - 2. Mengurangi jumlah getaran yang dibutuhkan, waktu pengerasan normal tanpa perlambatan (retardation)
 - 3. Mengurangi resiko pemisahan (segregation) secara signifikan
- b. Sebagai bahan pengurang air
 - 1. Pengurangan air hingga 20% akan memberikan peningkatan 40% kuat tekan dalam 28 hari
 - 2. Kekuatan tinggi selama 12 jam

Sikament-NN dapat ditambahkan ke air adukan sebelum air tersebut dicampurkan dengan agregat atau dalam sebagian kasus ditambahkan langsung ke dalam beton yang baru di aduk. Ketika ditambahkan ke beton yang baru saja diaduk, efek plastizing-nya lebih terlihat. Untuk beton ready mix, *Sikament-NN* ditambahkan ke beton segera sebelum dituang (discharge) dan setelah pengadukan lebih lanjut selama tiga sampai lima menit (Megasari, 2017). Karakteristik dari *Sikament-NN* dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5: Karakteristik *Sikament-NN* (PT. Sika Indonesia, 2011)

Data Teknis	
Bentuk	Modifikasi <i>Naphtalene Formaldehyde Sulphonate</i>
Warna	Coklat Tua
Berat Jenis	$\pm 1,18 - 1,20$ kg/ltr
Umur dan Penyimpanan	Minimal 1 tahun apabila disimpan dalam kemasannya yang belum dibuka pada tempat yang kering, sejuk dan teduh
Kemasan	Drum 240 kg, Bulk 1000 kg

2.5 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton keras untuk menahan gaya tekan persatuan luas, pemberian gaya ini tegak lurus terhadap sumbunya. Penentuan kekuatannya ini dilakukan dengan menggunakan alat uji kuat tekan. Kuat tekan beton tersebut dapat dihitung berdasarkan SNI 03-1974-2011 (Nawati, Tuminang, et al., 2019)

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Dimana:

f_c' = Kuat Tekan (MPa)

P = Gaya Tekan Maksimum (N)

A = Luas Penampang Benda Uji (mm²)

2.6 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas dapat diperoleh dengan membandingkan besarnya tegangan terhadap regangan material pada kondisi elastis. Pada material beton, tegangan elastis beton diasumsikan setara dengan 30% beban puncak. Pada kondisi ini, beton dianggap masih berperilaku linier dan belum mengalami retak yang menyebabkan penurunan kekakuan material. Besarnya modulus elastisitas material berkaitan erat dengan kekakuan struktur yang dihasilkan (Pratama, 2018).

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 19.2.2.1 tentang persyaratan beton struktural pada gedung dijelaskan bahwa nilai modulus elastisitas untuk nilai w_c antara 1440 dan 2560 kg/m³ untuk beton diizinkan diambil nilai sebesar :

$$E_c = W_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f_c'} \quad (2.2)$$

Atau untuk beton normal :

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} \quad (2.3)$$

Keterangan:

E_c = Modulus Elastisitas (MPa)

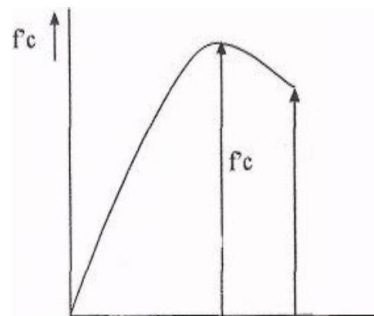
W_c = Berat isi beton antara 1440 – 2560 (kg/m³)

f_c' = Kuat tekan beton rencana (MPa)

Rumus empiris tersebut hanya berlaku untuk beton dengan berat isi berkisar

antara 1440 dan 2560 kg/m³.

Nilai modulus elastisitas beton sangat beragam tergantung pada nilai kuat tekan betonnya, sesuai dengan teori elastisitas, secara umum kemiringan kurva pada tahap awal menggambarkan nilai modulus elastisitas suatu bahan (Pramuja, 2018). Karena kurva pada beton berbentuk lengkung maka nilai regangan tidak berbanding lurus dengan nilai tegangannya berarti bahan beton tidak sepenuhnya bersifat elastis, sedangkan nilai modulus elastisitasnya berubahubah sesuai dengan kekuatannya dan tidak dapat ditetapkan melalui kemiringan kurva. Bahan beton bersifat elastoplastis dimana akibat dari beban yang sangat kecil sekalipun, disamping memperlihatkan kemampuan elastis, bahan beton juga menunjukkan deformasi permanen (Fujianti, 2022)



Gambar 2.6: Kurva tegangan-regangan beton yang diberi tekanan (Nawy,1990:44)

Bagian kurva ini (sampai sekitar 40% f_c') pada umumnya untuk tujuan praktis dapat dianggap linier. Setelah mendekati 70% tegangan hancur, material banyak kehilangan kekakuannya sehingga kurva tidak linier lagi.

Pengujian modulus elastisitas beton menggunakan rumus berdasarkan rekomendasi ASTM C 469-02, yaitu *Modulus Chord*. Adapun rumus berdasarkan modulus elastisitas chord (E_c) dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris dari ASTM C 469-02 yaitu:

$$E_c = \frac{(s_2 - s_1)}{(\epsilon_2 - 0,00005)} \quad (2.4)$$

Dimana:

E = Modulus Elastisitas (MPa)

S_2 = Tegangan pada 40% tegangan runtuh (kg/cm²)

S_1 = Tegangan pada saat nilai kurva regangan ϵ_1 sebesar 0,00005 MPa

ϵ_2 = Nilai Kurva Regangan yang terjadi pada saat S_2

Modulus elastisitas pada beton bervariasi, ada beberapa hal yang mempengaruhi modulus elastisitas beton antara lain :

1. Kelembapan

Beton dengan kandungan air yang lebih tinggi memiliki modulus elastisitas yang juga lebih tinggi dari pada beton dengan spesifikasi yang sama.

2. Agregat

Nilai modulus elastisitas dan proporsi volume agregat dalam campuran mempengaruhi modulus elastisitas beton, semakin tinggi modulus agregat dan semakin besar proporsi agregat dalam beton, semakin tinggi pula modulus elastisitas beton tersebut.

3. Umur beton

Modulus elastisitas beton meningkat seiring pertambahan umur beton seperti halnya kuat tekannya, namun modulus elastisitas meningkat lebih cepat dari pada kekuatannya.

4. *Mix design*

Jenis beton memberikan nilai E (modulus elastisitas) yang berbeda-beda pada umur dan kekuatan yang sama.

2.7 Penelitian Terdahulu

Partalahi Dkk, menyimpulkan bahwa dari hasil pengujian Kuat Tekan Beton Normal dengan variasi campuran tempurung kelapa yang digunakan adalah 0%, 2,5%, 5% dan 7,5% didapat nilai kuat tekan beton normal sebesar 27,689 MPa pada umur 28 hari dan masing-masing beton variasi tempurung kelapa 2,5%, 5%, dan 7,5% sebesar 26,514 MPa, 24,693 MPa dan 22,283 MPa pada umur 28 hari didapat hasil semakin besar variasi tempurung kelapa pada beton maka kuat tekan beton akan semakin menurun. Dari pengujian kuat tekan beton ditemukan bahwa beton normal lebih efisien dibandingkan dengan beton campuran limbah tempurung kelapa. Hal ini ditunjukkan dengan seiring bertambahnya jumlah limbah dalam campuran, kuat tekan beton yang dihasilkan juga semakin rendah diakibatkan karena keausan tempurung kelapa lebih tinggi daripada keausan agregat kasar (batu pecah) (Lumbangaol & Panjaitan, 2021).

Aldian Dkk, menyimpulkan dari hasil Pengujian Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Penggunaan Limbah Botol Kaca Dan Tambahan *Sikacim Concrtete Additive* menunjukkan bahwa, pada uji kuat tekan beton normal tanpa tumbukan botol kaca (BN1) dengan umur 28 hari yaitu sebesar 25,28 MPa, untuk kuat tekan beton tumbukan botol kaca serta *sikacim concrete additive* yang tertinggi terdapat benda uji (2Bk3) yaitu sebesar 32,67 MPa dan kuat desak beton yang terendah terdapat pada benda uji (1BK2) yaitu sebesar 24,08 MPa. Hasil pengujian nilai modulus elastisitas beton mengalami kenaikan dari beton normal seperti pada uji tekan karena nilai tertinggi berada pada benda uji variasi 3% tumbukan botol kaca dari berat pasir serta penambahan 1% *sikacim concrete additive* dari berat semen (2BK3) yaitu 27892,74MPa atau meningkat sebesar 17,58% dari modulus elastisitas beton normal (BN1) sebesar 23722,67MPa, namun pada benda uji dengan variasi 2% tumbukan botol kaca dari berat pasir dan tambahan 0,5% *sikacim concrete additive* dari berat semen mengalami penurunan yaitu 23421,25MPa atau turun sebesar 1,27% dari beton normal, hal ini terjadi karena pada proses pemadatan kurang baik yang menimbulkan kropos antara agregat sehingga daya ikat antar agregat menjadi lemah (Septiadi et al., 2022).

Samuel Dkk, menyimpulkan dalam Penelitian Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton Normal Yang Menggunakan Agregat Kasar Gabungan. Hasil pengujian menunjukkan kuat tekan dan modulus elastisitas terbesar dihasilkan oleh campuran beton yang semua agregat kasarnya menggunakan batu pecah dengan nilai kuat tekan sebesar 10,12 MPa dan modulus elastisitas sebesar 16413,57 MPa. Untuk campuran beton yang menggunakan kombinasi agregat kasar batu pecah dan batu tak pecah, kuat tekan dan modulus elastisitas terbesar dihasilkan dari campuran 80% batu pecah dan 20% batu tak pecah (Layang & Perkasa, 2022).

Shanti menyimpulkan dalam penelitian Analisis Pengaruh Penambahan *Sikament-NN* Terhadap Karakteristik Beton dengan persentase penambahan *Sikament-NN* sebanyak 0%, 0,3%, 0,8%, 1,3%, 1,8%, 2,3%. Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan pada umur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kecenderungan (trend) grafik kuat tekan rata-rata mengalami peningkatan dengan penambahan persentase *Sikament-NN* sebesar 1,3% dan 1,8%. Nilai kuat tekan rata-rata tertinggi diperoleh pada penambahan 1,8% *Sikament-NN* yaitu sebesar 38,65

MPa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *Sikament-NN* berpengaruh terhadap peningkatan karakteristik kuat tekan beton (Megasari, 2017).

Deni Dkk, menyimpulkan dalam penelitian Substitusi Agregat Kasar Menggunakan Pecahan Tempurung Kelapa Pada Campuran Beton Normal dengan variasi tempurung kelapa pada campuran digunakan sebesar 0%, 10%, 20% dan 30% dari berat agregat kasar. Pengujian beton yang dilakukan adalah uji kuat tekan dan uji kuat tarik belah pada usia 7, 14 dan 28 hari. Dari hasil uji yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa campuran beton dengan pecahan tempurung kelapa sebesar 10% dari berat agregat kasar menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 22,038 MPa, lebih tinggi 1,06% dibanding kuat tekan beton normal yang menghasilkan sebesar 20,764 MPa. Kuat tarik belah beton dengan pecahan tempurung kelapa sebesar 10% dari berat agregat kasar menghasilkan nilai kuat tarik belah sebesar 4,53 MPa, lebih tinggi 1,06% dibanding kuat tarik belah beton normal sebesar 4,26 MPa. Substitusi pecahan tempurung kelapa ke dalam campuran beton sebesar 10% dari berat agregat kasar dapat meningkatkan nilai kuat tekan dan kuat tarik belah dari beton kondisi normal dan merupakan campuran yang menghasilkan kekuatan optimal pada beton (Irawan & Khatulistiani, 2021).

Mirza menyimpulkan dalam penelitian Analisis Numerik Modulus Elastisitas Beton Gradasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa beton gradasi dapat meningkatkan modulus elastisitas beton. Nilai modulus elastisitas tersebut dapat ditingkatkan lebih lanjut dengan menggabungkan dua mutu beton dengan selisih kuat tekan yang drastis. Pengaplikasian beton gradasi ini dapat meningkatkan tingkat layan elemen struktur bangunan karena semakin tinggi modulus elastisitas beton maka semakin rendah nilai defleksi yang dihasilkan (Pratama, 2018).

Nur Fatah menyimpulkan dalam penelitian Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas. Penggunaan proporsi agregat limbah dalam penelitian ini adalah 25%, 50%, 75% dan 100 % dari berat total agregat alami dengan umur pengujian 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar penggunaan limbah beton, semakin besar penurunan yang terjadi pada nilai kuat tekan dan modulus elastisitas. Berdasarkan hasil pengujian, penggunaan limbah pada beton dengan proporsi 25% menunjukkan penurunan rata-

rata nilai kuat tekan dan modulus elastisitas yang cukup signifikan yaitu 45,39% dan 77,35%. Berlanjut proporsi berikutnya yaitu 50% menunjukkan penurunan 56,99% dan 77,45%. Proporsi 75% menunjukkan penurunan 61,65% dan 79,26%. Proporsi 100% menunjukkan penurunan 66,62% dan 79,12%. Proporsi paling optimum dari penelitian ini adalah proporsi limbah 25%. Variabilitas kualitas limbah mengakibatkan perbedaan sifat-sifat material beton yang dihasilkan dan cenderung menurunkan kuat tekan dan modulus elastisitas (Fatah Sidik Nur, 2016).

Nawati Dkk, menyimpulkan dalam penelitian Pengaruh Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Terhadap Agregat Kasar Dalam Campuran Beton Normal, Penambahan tempurung kelapa pada campuran beton normal dapat mempengaruhi nilai kuat tekan beton, dimana semakin banyak jumlah tempurung kelapa yang digunakan semakin menurun nilai kuat tekannya, dengan hasil kuat tekan sesuai komposisi 2.5% = 19.854 MPa, 5% = 18.738 MPa, 7,5% = 17.049 MPa, 10% = 16.137 MPa terhadap beton normal dengan kuat tekan sebesar 18.443 MPa. Sedangkan penambahan tempurung kelapa tidak memberikan pengaruh pada nilai kuat tarik belah beton, hal ini di buktikan dengan nilai pengujian kuat tarik belah pada umur 14, 21 dan 28 hari terbesar berada pada kadar 0% tempurung kelapa. Namun, pada umur pengujian 56 hari nilai kuat tarik belah dengan kadar 2,5% tempurung kelapa meningkat sebesar 0,08 MPa dari beton normal. Hasil pengujian menyatakan bahwa variasi optimum penambahan tempurung kelapa adalah 2,5% dengan nilai kuat tekan karakteristik (f'_{ck}) sebesar 22,196 MPa atau terjadi peningkatan sebesar 13.2% dari beton normal (Nawati, Tuminang, et al., 2019).

Agus dan Sulton menyimpulkan dalam penelitian Pengaruh Penambahan Tempurung Kelapa Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Nilai Kuat Tekan Dan Tarik Beton dengan presentase substitusi penambahan bahan tambah tempurung kelapa 30%, 40% dan 50%. Hasil pengujian kuat tekan beton yang dicampur dengan menggunakan Substitusi penambahan tempurung kelapa 30% ,40% dan 50 % kuat tekannya tidak mampu melebihi kuat tekan beton normal atau mengalami penurunan kuat tekan beton. Pada umur 3,7 dan 28 hari terjadi penurunan kuat tekan terhadap Beton Normal. Kuat tekan sampel beton penambahan tempurung kelapa terhadap kerikil 0 %, 30 %, 40 %, 50% dengan FAS 0,54 pada umur 3 hari sebesar 183,1 Kg/Cm², 135,9 Kg/Cm², 102,9 Kg/Cm², 72,7 Kg/Cm², umur 7 hari sebesar

190,6 Kg/Cm², 140,6 Kg/Cm², 118,0 Kg/Cm², 83,0 Kg/Cm² dan umur 28 hari sebesar 243,5 Kg/Cm², 159,9 Kg/Cm², 138,7 Kg/Cm², 107,6 Kg/Cm². Sedangkan hasil pengujian kuat tarik belah beton pada umur 28 hari tidak terjadi peningkatan kuat tarik terhadap Beton Normal . Kuat tekan sampel beton penambahan tempurung kelapa terhadap kerikil 0 %, 30 %,40 %,50% pada umur 28 hari sebesar 31,7 Kg/Cm², 17,6 Kg/Cm², 13,9 Kg/Cm², 12,9 Kg/Cm² (Firdiansyah & Sulton, 2017).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian Umum

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu metode yang melakukan suatu proses atau percobaan untuk mendapatkan data dan menganalisa data yang diperoleh. Dalam penelitian ini metodologi berfungsi sebagai panduan kegiatan dalam pengumpulan data.

3.2 Sumber Data dan Teknik Pengambilan Data

3.2.1 Data Primer

Data ini adalah data yang telah berhasil diperoleh dari data Laboratorium seperti:

- a. Analisa saringan agregat (SNI ASTM C136:2012)
- b. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar (SNI 1969:2016)
- c. Berat jenis dan penyerapan agregat halus (SNI 1970:2016)
- d. Pemeriksaan kadar air agregat (SNI 1971:2011)
- e. Pemeriksaan kadar lumpur agregat (SNI 03-4141, 1996)
- f. Pemeriksaan berat isi agregat (SNI 1973:2008)
- g. Perencanaan campuran beton (*Mix Design*) (SNI 7656:2012)
- h. Kekentalan adukan beton segar (*slump*) (SNI 1972:2008)
- i. Pembuatan dan perawatan benda uji beton (SNI 2493:2011)
- j. Spesifikasi bahan tambah untuk beton (SNI 03-2495, 1991)
- k. Uji kuat tekan beton (SNI 1974:2011)
- l. Uji modulus elastisitas beton (SNI 2847:2019)

3.2.2 Data Sekunder

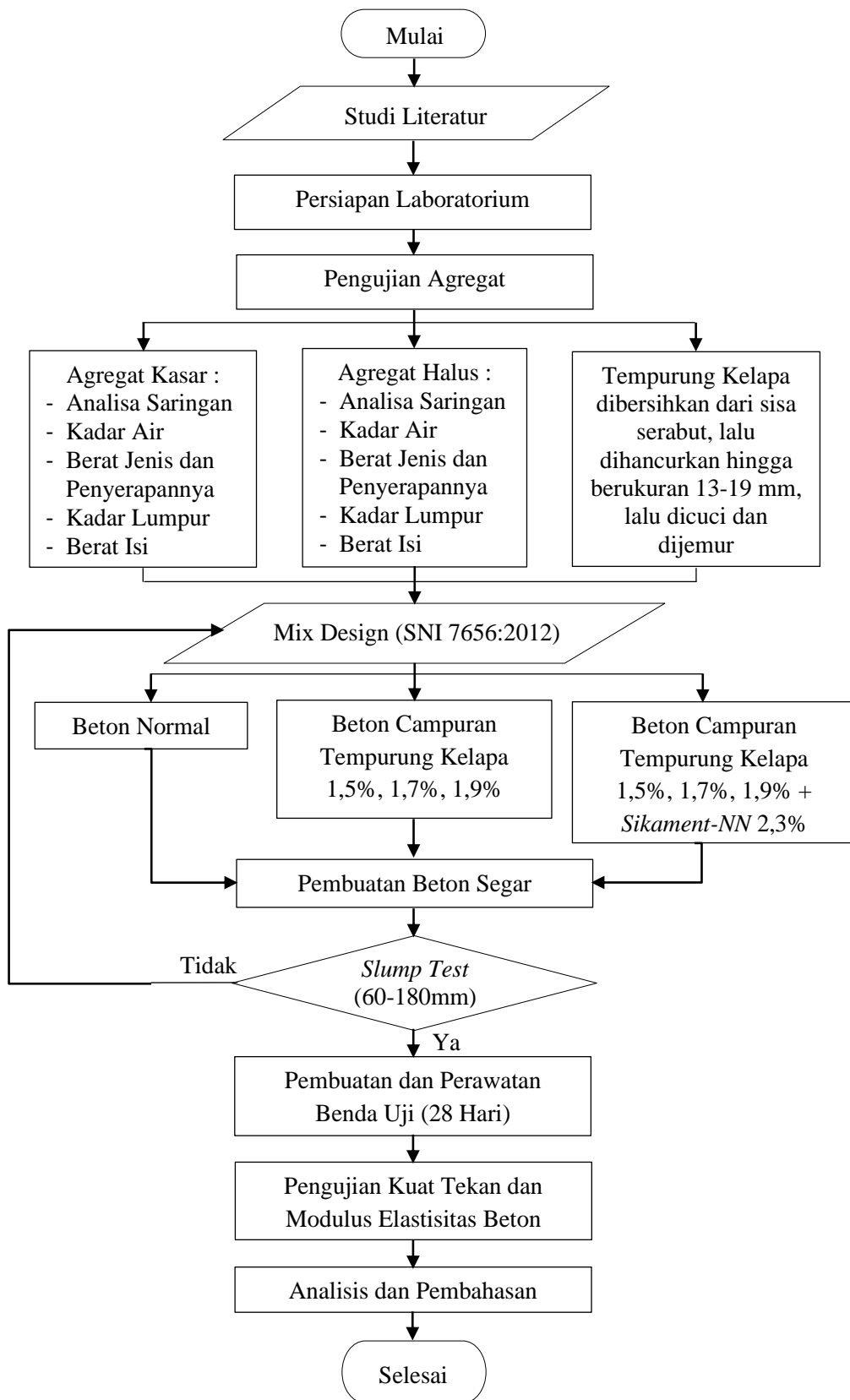
Data sekunder ini adalah data yang diperoleh dari beberapa buku yang berhubungan dengan teknik beton, panduan pembuatan beton dan data-data teknis SNI 7656:2012 serta buku-buku SNI lainnya yang berhubungan dengan beton, buku literature ASTM (*American Society for Testing and Materials*), konsultasi

dengan dosen pembimbing secara langsung serta tim pengawas laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara sebagai penunjang guna untuk memperkuat suatu penelitian yang dilakukan. Metodologi penelitian dilakukan dengan cara membuat benda uji (sampel) di Laboratorium Beton Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Benda uji dalam penelitian ini adalah beton normal yang menggunakan tempurung kelapa sebagai bahan pengganti agregat kasar dengan variasi 1,5%, 1,7%, dan 1,9% dari berat agregat kasar yang digunakan dan penambahan *Sikament-NN* sebagai bahan tambah pada campuran beton dengan persentasi 2,3% dari berat semen. Sedangkan waktu pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari.

Persiapan material merupakan langkah awal dalam melaksanakan penelitian ini, setelah semua persiapan dilakukan baru dapat melakukan pengujian material, pengujian material mencakup keseluruhan bahan dalam pembuatan beton yaitu pengujian material agregat halus, pengujian material agregat kasar, pengujian material semen, pengujian air dan tempurung kelapa sebagai bahan pengganti agregat kasar dalam penelitian pembuatan campuran untuk memperkuat nilai modulus elastisitas dalam beton.

Setelah tahap diatas telah selesai dilaksanakan, langkah selanjutnya adalah tahapan *mix design*, dalam tahapan ini, semua bahan yang telah diuji akan dicampur menjadi satu berdasarkan data yang telah didapat sebelumnya, dalam penelitian ini, *mix design* dibuat dalam dua variasi yaitu campuran beton normal dan beton campuran tempurung kelapa, dan dibuat pada cetakan berbentuk silinder sebanyak 21 buah yang akan diuji pada umur beton yaitu 28 hari.

Selanjutnya pengujian benda uji yang meliputi pengujian kuat tekan beton dan pengujian modulus elastisitas beton, data-data yang diperoleh dari hasil pengujian di lampirkan didalam pembahasan yang akan dihitung analisa datanya. Analisa data tersebut nantinya akan menjadi kesimpulan didalam penelitian yang dilakukan. Tahap-tahap penelitian ini dapat dilihat secara skematis dalam bentuk bagan alir pada Gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3.1: Bagan alir metode penelitian

3.3 Pelaksanaan Penelitian

3.3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Beton Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, jenis penelitian ini adalah penelitian dengan metode eksperimen laboratorium.

3.3.2 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Rencana penelitian ini menggunakan campuran tempurung kelapa dengan persentase 1,5%, 1,7% dan 1,9% dan bahan tambah *Sikament-NN* dengan persentase 2,3%. Benda uji beton yang dibuat berbentuk silinder untuk pengujian modulus elastisitas beton, jumlah sampel penelitian berjumlah 21 buah dengan umur 28 hari. Dengan persentase tempurung kelapa dan *Sikament-NN* pada pembuatan benda uji modulus elastisitas beton, dengan perincian sebagai berikut:

Tabel 3.1: Variasi campuran beton

No	Kode Benda Uji	Agregat Kasar	Agregat Halus	Pecahan Tempurung Kelapa	<i>Sikament-NN</i>	Jumlah Sampel
1.	BTN	100%	100%	0%	0%	3
2.	BTK 1,5%	98,5%	100%	1,5%	0%	3
3.	BTK 1,7%	98,3%	100%	1,7%	0%	3
4.	BTK 1,9%	98,1%	100%	1,9%	0%	3
5.	BTKS 1,5%	98,5%	100%	1,5%	2,3%	3
6.	BTKS 1,7%	98,3%	100%	1,7%	2,3%	3
7.	BTKS 1,9%	98,1%	100%	1,9%	2,3%	3
JUMLAH						21

Keterangan:

BTN = Beton Normal

BTK = Beton Tempurung Kelapa

BTKS = Beton Tempurung Kelapa *Sikament-NN*

3.4 Bahan dan Peralatan

3.4.1 Bahan

Material pembentuk beton yang digunakan, yaitu:

1. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen Padang PC (*Portland Cement*) type I kemasan 50Kg yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-1.

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat yang lolos saringan No.4. Agregat yang digunakan berasal dari Binjai, Sumatera Utara yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-2.

3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat yang lolos saringan No.1,5. Agregat yang digunakan berasal dari Binjai, Sumatera Utara yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-3.

4. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PDAM Tirtanadi Medan yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-4.

5. Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa diperoleh dari pedagang kelapa parut yang ada dipasar sekitaran Medan, pecahan tempurung kelapa yang digunakan berdiameter 13mm – 19mm yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-5.

6. Bahan Tambah

Bahan tambah yang digunakan adalah *Sikament-NN* yang diperoleh langsung dari PT. Sika Berkah Mandiri di Medan, Sumatera Utara yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-6.

3.4.2 Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini telah tersedia di Laboratorium Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Satu set saringan agregat halus, meliputi: No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, Pan. Saringan ini digunakan untuk memeriksa gradasi pasir yang digunakan. Sedangkan untuk agregat kasar yang digunakan antara lain saringan 1 ½”, ¾”, 3/8”, dan No.4 yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-7.
2. Timbangan digital, berfungsi sebagai alat untuk menimbang berat bahan yang digunakan secara akurat yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-8.
3. Gelas ukur, digunakan sebagai takaran air dan *Sikament-NN* yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-9.
4. Oven, berfungsi sebagai alat mengeringkan sampel bahan yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-10.
5. Wadah atau ember, berfungsi sebagai tempat air perendaman sampel yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-11.
6. Plastik ukuran 10kg, berfungsi sebagai wadah untuk bahan yang telah siap untuk di mixer yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-12.
7. Pan, berfungsi sebagai alat untuk alas pengaduk beton segar yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-13.
8. Palu karet, berfungsi untuk memadatkan campuran beton yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-14.
9. Sekop tangan, berfungsi untuk mengaduk dan memasukkan agregat kedalam cetakan yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-15.
10. Piktometer, berfungsi pada pengujian berat jenis agregat yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-16.
11. Skrap, berfungsi untuk meratakan campuran beton yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-17.
12. Cetakan (bekisting) beton silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-18.
13. Vaseline dan kuas, berfungsi untuk melapisi cetakan beton agar tidak menempel dalam cetakan yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-19 dan L-20

14. Mesin pengaduk semen, berfungsi untuk membantu proses pengadukan semen yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-21.
15. Bak perendam, berfungsi untuk merendam beton yang telah dilepaskan dari cetakan yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-22.
16. Kerucut abrams, berfungsi untuk menguji *slump* yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-23.
17. Meteran, berfungsi untuk mengukur tinggi *slump* yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-24.
18. Tongkat penumbuk, berfungsi untuk memadatkan benda uji yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-25.
19. *Compression Test Machine*, berfungsi untuk menguji kuat tekan beton yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-26.
20. *Extensometer*, berfungsi untuk menguji modulus elastisitas beton yang dapat dilihat pada lampiran gambar L-27.

3.5 Persiapan Penelitian

Mempersiapkan seluruh material pembentuk beton kemudian melakukan pemisahan terhadap material menurut jenisnya untuk mempermudah dalam tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian yang akan dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.6 Pemeriksaan Agregat

Didalam pemeriksaan agregat baik agregat kasar maupun halus dilakukan agar mengetahui kelayakan agregat untuk bahan pembentuk beton ini dilakukan di Laboratorium dengan mengikuti panduan dari ASTM tentang pemeriksaan dari agregat dan SNI sebagai panduan pembuatan beton.

3.6.1 Analisa Saringan

Analisa saringan adalah suatu pemeriksaan distribusi ukuran agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan ukuran-ukuran saringan standar tertentu.

Analisa saringan juga berfungsi untuk menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar dalam campuran.

Hasil dari pemeriksaan Analisa saringan akan diperoleh grafik zona gradasi agregat yang didapat dari nilai komulatif agregat. Maka akan didapat zona gradasi yang dipakai (zona pasir kasar, sedang, agak halus atau pasir halus).

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI ASTM C136:2012 serta mengikuti buku panduan pratikum beton program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang pengujian analisa saringan.

Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan
2. Bersihkan agregat yang akan diuji (benda uji) kemudian keringkan dalam oven dengan suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai beratnya tetap
3. Bersihkan juga masing-masing saringan yang akan digunakan, lalu ditimbang berat dari masing-masing saringan tersebut (W_1)
4. Kemudian susun saringan dimulai dari saringan yang paling besar, lalu curahkan benda uji pada perangkat saringan tersebut dan diguncang dengan mesin selama 15 menit
5. Setelah diguncang, masing-masing saringan ditimbang kembali (W_2) dan akan diperoleh berat benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan.



Gambar 3.2: Pengujian analisa saringan

3.6.2 Kadar Air

Kadar air adalah presentasi kandungan air suatu bahan yang dapat dinyatakan berdasarkan berat basah ataupun berdasarkan berat kering. Jumlah air yang

terkandung didalam agregat perlu diketahui karena akan mempengaruhi jumlah air yang diperlukan dalam campuran beton.

Perhitungan kadar air dapat menggunakan rumus:

$$P = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dimana:

P = Kadar air benda uji (%)

W₁ = Massa benda uji (gr)

W₂ = Massa benda uji kering oven (gr)

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 1971:2011 serta mengikuti buku paduan pratikum beton program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang kadar air.

Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Mengambil contoh bahan sebagian untuk mewakili jumlah besar bahan yang akan digunakan.
2. Memasukkan contoh kedalam wadah lalu ditimbang.
3. Mengeringkan contoh bahan sampai berat konstan kedalam oven selama ±24 jam dengan suhu ±105 °C.
4. Mengeluarkan contoh bahan dari oven untuk mendinginkan dalam suhu ruang kemudian ditimbang.



Gambar 3.3: Pengujian kadar air

3.6.3 Berat Jenis Agregat Halus dan Penyerapannya

Berat jenis suatu agregat adalah perbandingan berat dari suatu volume yang sama pada temperatur tertentu. Digunakan untuk menentukan berat jenis jenuh kering permukaan (*Saturated Surface Dry*), berat jenis semu (*Apparent*), berat jenis

kering oven (*Bulk*), persentase penyerapan air dari bahan pasir dan abu batu yang akan digunakan sebagai bahan campuran beton.

Untuk menghitung hasil pengujian, digunakan rumus berikut:

Tabel 3.2: Rumus perhitungan pengujian berat jenis agregat halus (SNI 1970:2016)

Perhitungan	Notasi
Berat jenis curah (S_d)	$\frac{A}{(B + S - C)}$
Berat jenis jenuh kering permukaan (S_s)	$\frac{S}{(B + S - C)}$
Berat jenis semu (S_a)	$\frac{A}{(B + A - C)}$
Penyerapan air (A_w)	$\left[\frac{S - A}{A} \right] \times 100\%$

Keterangan:

- A = Berat benda uji kering oven (gram)
- B = Berat piknometer berisi air (gram);
- C = Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram).
- S = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram).

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 1970:2016 serta mengikuti buku panduan praktikum beton program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang berat jenis dan penyerapan agregat halus.

Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan.
2. Mengeringkan agregat halus yang jenuh air sampai kondisi kering dengan kondisi contoh tercurah dengan baik (SSD).
3. Memasukkan contoh agregat halus kedalam cetakan kerucut pasir, lalu memadatkan dengan tongkat pemadat dengan cara memukul sisi-sisi dari cetakan sebanyak 25 kali.
4. Memasukkan air kedalam piknometer sampai penuh lalu menimbang dan mencatat hasilnya.
5. Membuang air dari piknometer.
6. Memasukkan contoh agregat sebanyak 500 gram kedalam piknometer, lalu mengisi piknometer dengan air sampai penuh.

7. Menggoyangkan piknometer sampai gelembung udara keluar.
8. Menambahkan air sampai setengah, kemudian memanaskan piknometer dengan spritus selama ± 15 menit dan 5 menit dipanaskan, setelah itu diguncang selama 1 menit, lakukan sampai 3 kali.
9. Merendam piknometer kedalam ember berisi air selama ± 24 jam.
10. Setelah direndam ± 24 jam, piknometer diangkat dan menimbang beratnya.



Gambar 3.4: Pengujian berat jenis agregat halus

3.6.4 Berat Jenis Agregat Kasar dan Penyerapannya

Berat jenis suatu agregat adalah perbandingan berat dari suatu volume yang sama pada temperatur tertentu. Digunakan untuk menentukan berat jenis jenuh kering permukaan (*Saturated Surface Dry*), berat jenis semu (*Apparent*), berat jenis kering oven (*Bulk*), persentase penyerapan air dari bahan pasir dan abu batu yang akan digunakan sebagai bahan campuran beton.

Untuk menghitung hasil pengujian, digunakan rumus berikut:

Tabel 3.3: Rumus perhitungan pengujian berat jenis agregat kasar (SNI 1969:2016)

Perhitungan	Persamaan
Berat jenis curah (S_d)	$\frac{A}{B - C}$
Berat jenis jenuh kering permukaan (S_s)	$\frac{B}{B - C}$
Berat jenis semu (S_a)	$\frac{A}{A - C}$
Penyerapan air (S_w)	$\left[\frac{B}{B - A} \right] \times 100\%$

Keterangan:

A = Berat benda uji kering oven (gram)

B = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram)

C = Berat benda uji dalam air (gram)

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 1969:2016 serta mengikuti buku panduan praktikum beton program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang berat jenis dan penyerapan agregat kasar.

Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Keringkan contoh uji tersebut pada temperatur $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$
2. Sesudah itu rendam agregat tersebut di dalam air pada temperatur ruang selama 15 jam sampai dengan 19 jam.
3. Pindahkan contoh uji dari dalam air ke dalam lembaran penyerap air dan digulung bolak balik sampai semua lapisan air permukaan yang terlihat hilang.
4. Tentukan berat benda uji pada kondisi jenuh kering permukaan. Catat beratnya dengan ketelitian 1,0 gram atau 0,1 % dari berat contoh uji, pilih nilai yang paling besar.
5. Setelah berat ditentukan, segera tempatkan contoh uji yang berada dalam kondisi jenuh kering permukaan tersebut di dalam wadah lalu tentukan beratnya di dalam air.
6. Keringkan contoh uji tersebut pada temperatur $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.



Gambar 3.5: Pengujian berat jenis agregat kasar

3.6.5 Berat Isi

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat isi agregat halus sebagai perbandingan antara berat material kering dengan volumenya. Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 1973:2008 serta mengikuti buku panduan praktikum beton program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang berat isi.

Adapun rumus yang akan digunakan yaitu :

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (3.2)$$

Dimana:

γ = Berat isi agregat (Kg/m^3)

W = Berat agregat (Kg)

V = Volume wadah (m^3)

Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

- a. Berat isi agregat dengan cara lepas
 1. Timbang dan catatlah berat wadah (W_1)
 2. Masukkan benda uji dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisah butiran dari ketinggian 5 cm di atas wadah dengan menggunakan sekop atau sendok semen sampai penuh
 3. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
 4. Timbang dan catat berat wadah beserta benda uji (W_2)
 5. Hitunglah berat benda uji ($W_3=W_2-W_1$)



Gambar 3.6: Pengujian berat isi dengan cara lepas

- b. Berat isi agregat dengan cara penusukan/perojokan
 1. Timbang dan catatlah berat wadah (W_1)

2. Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat yang ditusukkan sebanyak 25 kali secara merata
3. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
4. Timbang dan catat berat wadah beserta dengan benda uji (W_2)
5. Hitung berat benda uji ($W_3=W_2-W_1$)



Gambar 3.7: Pengujian berat isi dengan cara rojok

- c. Berat isi agregat dengan cara penggoyangan
 1. Timbang dan catatlah berat wadah (W_1)
 2. Mengisi wada dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal
 3. Memadatkan setiap lapisan dengan menggoyang-goyangkan wadah seperti berikut:
 - a. Meletakkan wadah ditempat yang kokoh dan datar, mengangkat salah satu sisinya kira-kira setinggi 5 cm kemudian dilepas.
 - b. Mengulangi hal ini pada sisi yang berlawanan sebanyak 25 kali untuk setiap sisi
 4. Meratakan permukaan benda uji
 5. Menimbang dan mencatat berat wadah serta berat benda uji (W_2)
 6. Menghitung berat benda uji ($W_3=W_2-W_1$)



Gambar 3.8: Pengujian berat isi dengan cara goyang

3.6.6 Kadar Lumpur

Pengujian ini untuk menentukan persentase kadar lumpur yang terkandung dalam agregat. Kadar lumpur yang berlebih dalam agregat halus dapat berpengaruh terhadap ikatan antara semen dengan agregat itu sendiri yang berdampak kepada kerapuhan pada beton. Pasir yang digunakan sebagai pembuatan beton harus mengandung lumpur tidak lebih dari 5 % dari berat kering. Jika pasir yang akan digunakan memiliki kandungan lumpur sebanyak lebih dari 5 %, maka perlu adanya pencucian agregat.

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 03-4141, 1996 serta mengikuti buku panduan praktikum beton program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang kadar lumpur.

Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan
2. Menyaring benda uji dengan saringan $\frac{3}{4}$ " dan tertahan di $\frac{1}{2}$ "
3. Menimbang benda uji seberat 1500 gr
4. Mencuci contoh bahan dengan air bersih, lalu jemur hingga berat konstan kemudian menimbangnya kembali
5. Memindahkan contoh bahan kedalam wadah kemudian memasukkannya kedalam oven dengan suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$ selama 24 jam



Gambar 3.9: Pengujian kadar lumpur

3.7 Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa pada penelitian ini diperoleh dari pedagang kelapa parut yang ada dipasar sekitaran Medan, pecahan tempurung kelapa yang digunakan

berdiameter 13mm – 19mm. Variasi tempurung kelapa yang akan digunakan dalam campuran beton normal adalah 1,5%, 1,7%, dan 1,9% terhadap berat agregat kasar.

Adapun pengolahan tempurung kelapa adalah sebagai berikut:

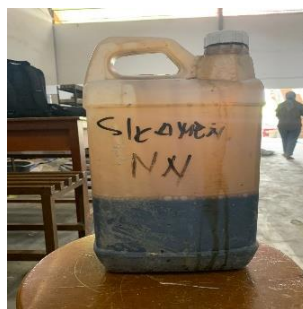
1. Tempurung terlebih dahulu dibersihkan agar sabut dan sisa-sisa kelapa yang menempel dapat hilang dengan menggunakan peralatan berupa pisau, sendok atau yang sejenisnya.
2. Tempurung kelapa yang telah dibersihkan dan dicuci, selanjutnya dijemur dibawah sinar matahari agar memudahkan saat proses pemecahan.
3. Setelah itu, tempurung ditumpuk/dipecahkan dengan menggunakan palu agar diperoleh ukuran tempurung maksimum 19 mm sampai minimum 13 mm.



Gambar 3.10: Tempurung kelapa

3.8 *Sikament-NN*

Bahan tambah yang digunakan pada penelitian ini adalah *Sikament-NN* yang diperoleh langsung dari PT. Sika Berkah Mandiri di Medan, Sumatera Utara. Persentase *Sikament-NN* yang digunakan sebesar 2,3% dari berat semen. *Sikament-NN* dapat ditambahkan ke air adukan sebelum air tersebut dicampurkan dengan agregat atau dalam sebagian kasus ditambahkan langsung ke dalam beton yang baru di aduk. *Sikament-NN* ditambahkan ke adukan beton segera sebelum dituang dan setelah pengadukan lebih lanjut selama tiga sampai lima menit.



Gambar 3.11: *Sikament-NN*

3.9 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Menentukan presentase atau komposisi masing-masing komponen material pembentuk beton untuk memperoleh suatu campuran beton yang ekonomis, memenuhi kekuatan dan keawetan yang direncanakan, serta memiliki kelecakan yang sesuai sehingga mempermudah proses pengerjaan. Pada penelitian ini menggunakan metode perencanaan campuran adukan beton sesuai dengan standar SNI 7656:2012.

3.10 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan mesin pengaduk (*mixer*). Mula-mula agregat kasar dimasukkan kedalam mesin pengaduk setelah itu memasukkan 1/3 bagian air dari total keseluruhan air kemudian memasukkan agregat halus, memasukkan lagi 1/3 bagian air kemudian memasukkan semen, Setelah adukan rata, kemudian sisa air yang belum dimasukkan kedalam mesin pengaduk dimasukkan ke mesin pengaduk. Pengadukan dilanjutkan sampai warna adukan tampak rata, dan tampak campuran homogen dan sudah tampak kelecakan yang cukup. Setelah beton tercampur merata kemudian adukan beton tersebut dituang ke dalam pan. Setelah itu masukkan adukan beton kedalam cetakan silinder lalu ratakan permukaan cetakan dan ditutup dengan kaca untuk menjaga penguapan air dari beton segar. Lepaskan cetakan setelah ± 24 jam dan tidak lebih dari 48 jam setelah pencetakan.



Gambar 3.12: Pembuatan benda uji

Benda uji ini berbentuk silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm berjumlah 21 buah. Berikut penjelasannya :

- a. Beton normal, dengan umur beton 28 hari. Terdapat 3 buah benda uji untuk dapat diambil data rata-ratanya.
- b. Beton normal dengan tambahan tempurung kelapa pada agregat kasar sebanyak 1,5% dengan umur beton 28 hari. Terdapat 3 buah benda uji untuk dapat diambil data rata-ratanya.
- c. Beton normal dengan tambahan tempurung kelapa pada agregat kasar sebanyak 1,7% dengan umur beton 28 hari. Terdapat 3 buah benda uji untuk dapat diambil data rata-ratanya.
- d. Beton normal dengan tambahan tempurung kelapa pada agregat kasar sebanyak 1,9% dengan umur beton 28 hari. Terdapat 3 buah benda uji untuk dapat diambil data rata-ratanya.
- e. Beton normal dengan tambahan tempurung kelapa pada agregat kasar dan *Sikament-NN* sebagai bahan tambah sebanyak 1,5%+2,3%, dengan umur beton 28 hari. Terdapat 3 buah benda uji untuk dapat diambil data rata-ratanya.
- f. Beton normal dengan tambahan tempurung kelapa pada agregat kasar dan *Sikament-NN* sebagai bahan tambah sebanyak 1,7%+2,3%, dengan umur beton 28 hari. Terdapat 3 buah benda uji untuk dapat diambil data rata-ratanya.
- g. Beton normal dengan tambahan tempurung kelapa pada agregat kasar dan *Sikament-NN* sebagai bahan tambah sebanyak 1,9%+2,3%, dengan umur beton 28 hari. Terdapat 3 buah benda uji untuk dapat diambil data rata-ratanya.



Gambar 3.13: Benda uji beton silinder

3.11 *Slump Test*

Pengujian slump merupakan sebuah cara untuk mengetahui, sekaligus menentukan konsistensi atau tingkat kekakuan campuran beton segar. Hal tersebut dilakukan untuk menilai workability dari beton yang dibuat.

Proses pengujian slump berdasarkan pada SNI 1972-2008. Proses uji slump terdapat beberapa tahapan diantaranya meliputi :

1. Membasahi cetakan kerucut abrams dan platnya dengan memakai kain basah
2. Meletakkan cetakan berada di atas plat
3. Mengisi kerucut abrams dengan 1/3 beton segar lalu dipadatkan dengan memakai batang logam secara merata dengan melakukan penusukan. lapisan yang ditusuk pada bagian tepi dengan menggunakan besi miring sesuai dinding cetakan. Pastikan besi yang dipakai menyentuh pada bagian dasar. Anda perlu melakukan penusukan sekitar 25-30 x tusukan.
4. Mengisi kembali cetakan kerucut dengan 1/3 bagian beton segar (2/3 beton segar dalam cetakan secara menyeluruh), lalu melakukan penusukan sebanyak 25-30 x tusukan. Usahakan untuk menusuk besi pada lapisan pertama.
5. Mengisi 1/3 beton segar ke dalam cetakan sesuai langkah sebelumnya
6. Setelah melakukan pemadatan, selanjutnya meratakan permukaan benda uji. Anda dapat menunggu kisaran waktu $\frac{1}{2}$ menit. Anda dapat membersihkan kelebihan beton di luar cetakan dan plat selama proses menunggu.
7. Mengangkat cetakan secara perlahan tegak lurus ke atas
8. Mengukur nilai slump dengan cara membalikkan kerucut abrams di sampingnya memakai beda tinggi rata-rata dari benda uji
9. Nilai toleransi slump pada beton segar kurang lebih 2 cm
10. Apabila nilai slump sudah sesuai dengan standar, maka beton segar dapat dipakai



Gambar 3.14: *Slump test*

3.12 Perawatan Beton

Sesudah pelaksanaan pembuatan benda uji, maka dilakukan perendaman benda uji dengan ketentuan ASTM C 31-91. Perawatan benda uji dilakukan dengan cara direndam dalam bak perendaman. Benda uji diangkat dari bak 1 hari sebelum sampel di uji. Hal ini dimaksudkan agar pada waktu di uji, sampel dalam keadaan tidak basah. Pengujian dilakukan pada saat sampel berumur 28 hari. Hal ini berarti benda uji diangkat dari bak pada saat berumur 27 hari.

Adapun kondisi perendaman harus seluruh bagian dari benda uji terendam dengan baik. Pada penelitian ini langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pembongkaran benda uji dilakukan \pm 24 jam setelah pembuatan.
2. Perendaman didalam bak rendaman Laboratorium Teknik Sipil UMSU.
Untuk pengujian modulus elastisitas, benda uji direndam selama 28 hari.
3. Benda uji diangkat dari bak perendaman sehari sebelum hari pengujian.



Gambar 3.15: Perendaman beton

3.13 Pembuatan Kaping (*Capping*)

Pembuatan *capping* beton dengan belerang atau senyawa *capping* lainnya. *Capping* dilakukan dalam rangka mempersiapkan spesimen beton silinder untuk pelaksanaan pengujian kuat tekan. Pemberian *capping* diperlukan untuk memastikan distribusi beban aksial yang merata keseluruhan bidang tekan beton silinder. Pembuatan ini memberikan permukaan yang datar pada ujung permukaan silinder beton sebelum dilakukan pengujian kuat tekan.

Proses pembuatan *capping* terdapat beberapa tahapan diantaranya meliputi:

1. Siapkan serbuk belerang atau senyawa *capping*, pemanas dengan suhu sampai 130 derajat celsius, dan termometer logam untuk memeriksa suhu

2. Lelehkan serbuk belerang atau senyawa *capping*
3. Setelah menjadi cair, aduk belerang cair sebelum dituangkan kedalam cetakan *capping*
4. Tuangkan belerang cair ke dalam cetakan kemudian letakkan beton dengan kedua tangan di atasnya. pastikan ujung silinder beton sebelum diletakkan dalam cetakan dalam keadaan kering
5. Langkah ke-4 harus dilakukan dengan cepat sebelum sulfur cair membeku
6. Ketebalan *capping* harus 3mm dan tidak lebih 8mm
7. Sebelum dilakukan uji tekan, *capping* harus didiamkan dahulu agar memiliki kekuatan yang sebanding dengan beton



Gambar 3.16: Pembuatan *capping*

3.14 Pengujian Kuat Tekan Beton

Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu dengan benda uji berupa silinder, selanjutnya benda uji ditekan dengan mesin tekan sampai pecah. Kuat tekan beton tersebut dapat dihitung berdasarkan SNI 1974:2011.

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

Dimana:

f_c' = Kuat Tekan (MPa)

P = Gaya Tekan Maksimum (N)

A = Luas Penampang Benda Uji (mm²)

Langkah-langkah pengujian :

1. Setelah proses pembuatan dan perendaman selesai dan benda uji kering bisa diuji
2. Menimbang berat benda uji
3. Letakkan benda uji kedalam mesin compression machine test
4. Pengujian dilakukan dengan pembebanan maksimum sehingga benda uji jadi hancur.
5. Untuk pengambilan data, dengan mencatat nilai beban maksimum pada benda uji.



Gambar 3.17: *Digital compression machine test*

3.15 Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Benda uji yang digunakan dalam pengujian ini adalah silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 21 buah dengan berbagai variasi. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati besarnya perubahan panjang (regangan) silinder beton akibat pembebanan serta besarnya beban (P) pada saat beton mengalami kuat tekan sebesar 40% dari kuat tekan yang direncanakan. Pengujian ini menggunakan mesin uji kuat tekan (*Compression Testing Machine*) dan alat ukur regangan dial (*Dial Gauge*)

Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Setelah proses pembuatan dan perendaman selesai maka melakukan proses capping pada permukaan benda uji agar permukaan rata
2. Menimbang berat benda uji
3. Memasang alat *Compressormeter* pada posisi nol kemudian meletakkan benda uji pada mesin kuat tekan

4. Pengujian dilakukan dengan beban pada kecepatan yang konstan dan beban bertambah secara bertahap setiap 50 KN
5. Untuk pengambilan data, dengan cara mencatat besar perubahan panjang untuk setiap penambahan tekanan sebesar 50 KN yang dapat dibaca dari alat *Dial Gauge*
6. Menghitung regangan (ϵ) menggunakan rumus:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (3.4)$$

Dengan:

ϵ = Regangan

Δl = Penurunan arah longitudinal

l = Tinggi beton relatif (jarak antara dua *strain gauge*)

Pengujian modulus elastisitas beton menggunakan rumus berdasarkan rekomendasi ASTM C 469-02, yaitu *Modulus Chord*. Adapun rumus berdasarkan modulus elastisitas chord (E_c) dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris dari ASTM C 469-02 yaitu:

$$E_c = \frac{(s_2 - s_1)}{(\epsilon_2 - 0,00005)} \quad (3.5)$$

Dimana:

E = Modulus Elastisitas (MPa)

S_2 = Tegangan pada 40% tegangan runtuh (kg/cm^2)

S_1 = Tegangan pada saat nilai kurva regangan ϵ_1 sebesar 0,00005 MPa

ϵ_2 = Nilai Kurva Regangan yang terjadi pada saat S_2



Gambar 3.18: *Extensometer*

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemeriksaan Agregat Kasar

4.1.1 Analisa Saringan

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI ASTM C136:2012 tentang metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar. Dari hasil penelitian didapat data-data pada tabel 4.1, sehingga diketahui nilai modulus kehalusan agregat kasar yang diperiksa.

Tabel 4.1: Data hasil penelitian analisa saringan agregat kasar

Saringan mm (inci)	Massa tertahan	Jumlah tertahan	Persentase kumulatif (%)	
	Gram (a)	Gram (b)	Tertahan (c)	Lolos (d)
76.2 mm (3 inci)				
63.5 mm (2 1/2 inci)				
50.8 mm (2 inci)				
36.1 mm (1 1/2 inci)				
25.4 mm (1 inci)			0.00	100.00
19.1 mm (3/4 inci)	3341	3341	66,82	33,18
12.7 mm (1/2 inci)	1125	4466	89,32	10,68
9.52 mm (3/8 inci)	102	4568	91,36	8,64
4.75 mm (No. 4)	72	4640	100.00	0.00
2.36 mm (No. 8)	-		100.00	0.00
1.18 mm (No. 16)	-		100.00	0.00
0.6 mm (No. 30)	-		100.00	0.00
0.3 mm (No. 50)	-		100.00	0.00
0.15 mm (No. 100)	-		100.00	0.00
0.075 mm (No. 200)	-		100.00	0.00
Pan	360	5000	100.00	0.00
Modulus Kehalusan :			848	8,48

Berdasarkan tabel 4.1 hasil pemeriksaan analisa saringan agregat kasar diperoleh nilai modulus kehalusan agregat kasar sebesar 8,48%. Nilai ini melebihi batas yang diijinkan ASTM C33 – 93, yaitu 6 - 7% sehingga gradasi agregat tersebut cenderung kasar.

4.1.2 Kadar Air

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 1971:2011 tentang cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan. Dari hasil penelitian didapat data-data pada tabel 4.2, sehingga diketahui nilai kadar air agregat kasar yang diperiksa.

Tabel 4.2: Data hasil penelitian kadar air agregat kasar

Pengujian	Benda uji ke 1 (gr)	Benda uji ke 2 (gr)
Massa wadah + benda uji	4099	3778
Massa wadah	565	494
Massa benda uji (W1)	3534	3284
Massa wadah + benda uji	4075	3748
Massa wadah	565	494
Massa benda uji kering oven (W2)	3510	3254
Kadar air total (P) $P = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\%$	0,7	0,9
Kadar air total (P) rata-rata	0,80	

Berdasarkan Tabel 4.2 yang diperoleh dari hasil pemeriksaan di Laboratorium Beton diketahui nilai kadar air rata-rata agregat kasar yang didapat yaitu sebesar 0,80%. Percobaan ini dilakukan sebanyak dua kali pengujian, pada kadar air benda uji pertama didapat hasil kadar air sebesar 0,7% dan pada percobaan benda uji kedua didapat hasil kadar air sebesar 0,9%.

4.1.3 Berat Jenis Agregat Kasar dan Penyerapannya

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 1969:2016 tentang metode uji berat jenis dan penyerapan agregat kasar. Dari hasil penelitian didapat data-data pada tabel 4.3, sehingga diketahui nilai berat jenis agregat dan penyerapan kasar yang diperiksa.

Tabel 4.3: Data hasil penelitian berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pengujian	Notasi	I	II	Satuan
Berat benda uji kering oven	A	3877,00	3967,00	gram
Berat benda uji jenuh kering permukaan diudara	B	3888,00	3976,00	gram
Berat benda uji di dalam air	C	2140,00	2210,00	gram

Tabel 4.3: *Lanjutan*

Perhitungan	Persamaan	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah (Sd)	$\frac{A}{B - C}$	2,22	2,25	2,23
Berat jenis jenuh kering permukaan (Ss)	$\frac{B}{B - C}$	2,22	2,25	2,24
Berat jenis semu (Sa)	$\frac{A}{A - C}$	2,23	2,26	2,24
Penyerapan air (Sw)	$\left[\frac{B}{B - A} \right] \times 100\%$	0,28	0,23	0,26

Berdasarkan Tabel 4.3 yang diperoleh dari hasil pemeriksaan di Laboratorium Beton diketahui nilai penyerapan air rata-rata agregat kasar yang didapat yaitu sebesar 0,26%. Percobaan ini dilakukan sebanyak dua kali pengujian, pada berat jenis dan penyerapan benda uji pertama didapat hasil penyerapan air sebesar 0,28% dan pada percobaan benda uji kedua didapat hasil penyerapan air sebesar 0,23%.

4.1.4 Kadar Lumpur

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 03-4141, 1996 tentang metode pengujian gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat. Dari hasil penelitian didapat data-data pada tabel 4.4, sehingga diketahui nilai kadar lumpur yang diperiksa.

Tabel 4.4: Data hasil penelitian kadar lumpur agregat kasar

Agregat Kasar Lolos Saringan No.4	Notasi	I	II	Satuan
Berat wadah + isi	W1	2495	2570	gram
Berat wadah	W2	493	565	gram
Berat contoh kering + Wadah	W4	2478	2555	gram
Perhitungan	Persamaan	I	II	Rata-rata
Berat kering contoh awal (W3)	W1-W2	2002	2005	2003,50
Berat kering contoh setelah dicuci (W5)	W4-W2	1985	1990	1987,50
Berat kotoran agregat lolos saringan No.200 (W6)	W3-W5	17	15	16.00
Persentase kotoran agregat lolos saringan No.200	$\frac{W6}{W3} \times 100\%$	0,85	0,75	0,80

Berdasarkan Tabel 4.4 yang diperoleh dari hasil pemeriksaan di Laboratorium Beton diketahui nilai kadar lumpur rata-rata agregat kasar yang didapat yaitu sebesar 0,80%. Percobaan ini dilakukan sebanyak dua kali pengujian, pada kadar lumpur benda uji pertama didapat hasil kadar lumpur sebesar 0,85% dan pada percobaan benda uji kedua didapat hasil kadar lumpur sebesar 0,75%.

4.1.5 Berat Isi

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 1973:2008 tentang cara uji berat isi, volume produksi campuran dan kadar udara beton. Dari hasil penelitian didapat data-data pada tabel 4.5, sehingga diketahui nilai berat isi agregat kasar yang diperiksa.

Tabel 4.5: Data hasil penelitian berat isi agregat kasar

Agregat Kasar	Notasi	Lepas	Rojok	Goyang	Satuan
Berat wadah + isi	1	6233	6437	6663	gram
Berat wadah	2	1763	1763	1763	gram
volume wadah	3	3315,84	3315,84	3315,84	cm ³
	Persamaan	I	II	III	Satuan
Berat contoh (4)	(1-2)	4470	4674	4900	gram
Berat isi	(3/4)	1,35	1,41	1,48	gram/cm ³
Rata-rata		1,41			gram/cm ³
		1411,81			kg/m ³

Berdasarkan Tabel 4.5 yang diperoleh dari hasil pemeriksaan di Laboratorium Beton diketahui nilai berat isi rata-rata agregat kasar yang didapat yaitu sebesar 1,41 gram/cm³ atau 1411,81 kg/m³. Percobaan ini dilakukan sebanyak tiga kali pengujian, pada percobaan berat isi dengan cara lepas didapat hasil berat isi sebesar 1,35 gram/cm³, pada percobaan berat isi dengan cara rojok didapat hasil berat isi sebesar 1,41 gram/cm³ dan pada percobaan berat isi dengan cara goyang didapat hasil berat isi sebesar 1,48 gram/cm³.

4.2 Pemeriksaan Agregat Halus

4.2.1 Analisa Saringan

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI ASTM C136:2012 tentang metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar. Dari hasil

penelitian didapat data-data pada tabel 4.6, sehingga diketahui nilai modulus kehalusan agregat kasar yang diperiksa.

Tabel 4.6: Data hasil penelitian analisa saringan agregat halus

Saringan mm (inci)	Massa tertahan	Jumlah tertahan	Persentase kumulatif (%)	
	Gram (a)	Gram (b)	Tertahan (c)	Lolos (d)
76.2 mm (3 inci)				
63.5 mm (2 1/2 inci)				
50.8 mm (2 inci)				
36.1 mm (1 1/2 inci)				
25.4 mm (1 inci)				
19.1 mm (3/4 inci)				
12.7 mm (1/2 inci)				
9.52 mm (3/8 inci)			0	100
4.75 mm (No. 4)	11	11	2,2	97,8
2.36 mm (No. 8)	23	34	6,8	93,2
1.18 mm (No. 16)	32	66	13,2	86,8
0.6 mm (No. 30)	42	108	21,6	78,4
0.3 mm (No. 50)	378	486	97,2	2,8
0.15 mm (No. 100)	8	494	98,8	1,2
0.075 mm (No. 200)	4	498	99,6	0,4
Pan	2	500	100	0
Modulus Kehalusan :			240	2,40

Berdasarkan tabel 4.6 hasil pemeriksaan analisa saringan agregat halus diperoleh nilai modulus kehalusan agregat kasar sebesar 2,40%. Nilai tersebut masih diijinkan untuk termasuk sebagai agregat halus, dimana nilai yang diijinkan adalah 1,5% - 3,8% berada di zona 2.

4.2.2 Kadar Air

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 1971:2011 tentang cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan. Dari hasil penelitian didapat data-data pada tabel 4.7, sehingga diketahui nilai kadar air agregat halus yang diperiksa.

Tabel 4.7: Data hasil penelitian kadar air agregat halus

Pengujian	Benda uji ke 1 (gr)	Benda uji ke 2 (gr)
Massa wadah + benda uji	1958	2059
Massa wadah	506	493
Massa benda uji (W1)	1452	1566
Massa wadah + benda uji	1915	2011
Massa wadah	506	493
Massa benda uji kering oven (W2)	1409	1518
Kadar air total (P) $P = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\%$	3,05	3,16
Kadar air total (P) rata-rata	3,11	

Berdasarkan Tabel 4.7 yang diperoleh dari hasil pemeriksaan di Laboratorium Beton diketahui nilai kadar air rata-rata agregat halus yang didapat yaitu sebesar 3,11%. Percobaan ini dilakukan sebanyak dua kali pengujian, pada kadar air benda uji pertama didapat hasil kadar air sebesar 3,05% dan pada percobaan benda uji kedua didapat hasil kadar air sebesar 3,16%.

4.2.3 Berat Jenis Agregat Halus dan Penyerapannya

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 1970:2016 tentang metode uji berat jenis dan penyerapan agregat kasar. Dari hasil penelitian didapat data-data pada tabel 4.8, sehingga diketahui nilai berat jenis agregat halus dan penyerapan yang diperiksa.

Tabel 4.8: Data hasil penelitian berat jenis dan penyerapan agregat halus

Pengujian	Notasi	I	II	Satuan
Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan	S	500	500	gram
Berat benda uji kering oven	A	493,00	491,00	gram
Berat piknometer yang berisi air	B	672,00	672,00	gram
Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan	C	1003,00	1011,00	gram

Tabel 4.8: *Lanjutan*

Perhitungan	Persamaan	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah (Sd)	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2,92	3,05	2,98
Berat jenis jenuh kering permukaan (Ss)	$\frac{S}{(B + S - C)}$	2,96	3,11	3,03
Berat jenis semu (Sa)	$\frac{A}{(B + A - C)}$	3,04	3,23	3,14
Penyerapan air (Aw)	$\left[\frac{S - A}{A}\right] \times 100\%$	1,42	1,83	1,63

Berdasarkan Tabel 4.8 yang diperoleh dari hasil pemeriksaan di Laboratorium Beton diketahui nilai penyerapan air rata-rata agregat halus yang didapat yaitu sebesar 1,63%. Percobaan ini dilakukan sebanyak dua kali pengujian, pada berat jenis dan penyerapan benda uji pertama didapat hasil penyerapan air sebesar 1,42% dan pada percobaan benda uji kedua didapat hasil penyerapan air sebesar 1,83%.

4.2.4 Kadar Lumpur

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 03-4141, 1996 tentang metode pengujian gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat. Dari hasil penelitian didapat data-data pada tabel 4.9, sehingga diketahui nilai kadar lumpur yang diperiksa.

Tabel 4.9: Data hasil penelitian kadar lumpur agregat halus

Agregat Kasar Lolos Saringan No.4	Notasi	I	II	Satuan
Berat wadah + isi	W1	1982	2502	gram
Berat wadah	W2	493	506	gram
Berat contoh kering + Wadah	W4	1946	2454	gram
Perhitungan	Persamaan	I	II	Rata-rata
Berat kering contoh awal (W3)	W1-W2	1489	1996	1742,50
Berat kering contoh setelah dicuci (W5)	W4-W2	1453	1948	1700,50
Berat kotoran agregat lolos saringan No.200 (W6)	W3-W5	36	48	42,00
Persentase kotoran agregat lolos saringan No.200	$\frac{W6}{W3} \times 100\%$	2,42	2,40	2,41

Berdasarkan Tabel 4.9 yang diperoleh dari hasil pemeriksaan di Laboratorium Beton diketahui nilai kadar lumpur rata-rata agregat halus yang didapat yaitu sebesar 2,41%. Percobaan ini dilakukan sebanyak dua kali pengujian, pada kadar lumpur benda uji pertama didapat hasil kadar lumpur sebesar 2,42% dan pada percobaan benda uji kedua didapat hasil kadar lumpur sebesar 2,40%.

4.2.5 Berat Isi

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 1973:2008 tentang cara uji berat isi, volume produksi campuran dan kadar udara beton. Dari hasil penelitian didapat data-data pada tabel 4.10, sehingga diketahui nilai berat isi agregat halus yang diperiksa.

Tabel 4.10: Data hasil penelitian berat isi agregat halus

Pengujian	Notasi	Lepas	Rojok	Goyang	Satuan
Berat wadah + isi	1	5110	5290	5360	gram
Berat wadah	2	1763	1763	1763	gram
Volume wadah	3	3315,84	3315,84	3315,84	cm ³

Perhitungan	Persamaan	I	II	III	Satuan
Berat contoh (4)	(1-2)	3347	3527	3597	gram
Berat isi	(3/4)	1,01	1,06	1,08	gram/cm ³
Rata-rata		1,05			gram/cm ³
		1052,62			kg/m ³

Berdasarkan Tabel 4.10 yang diperoleh dari hasil pemeriksaan di Laboratorium Beton diketahui nilai berat isi rata-rata agregat halus yang didapat yaitu sebesar 1,05 gram/cm³ atau 1052,62 kg/m³. Percobaan ini dilakukan sebanyak tiga kali pengujian, pada percobaan berat isi dengan cara lepas didapat hasil berat isi sebesar 1,02 gram/cm³, pada percobaan berat isi dengan cara rojok didapat hasil berat isi sebesar 1,06 gram/cm³ dan pada percobaan berat isi dengan cara goyang didapat hasil berat isi sebesar 1,08 gram/cm³.

4.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Selanjutnya akan dilakukan analisis campuran beton (*Mix Design*) dari data-data yang telah diperoleh saat penelitian berlangsung sehingga didapat campuran

beton yang diinginkan. Perencanaan campuran beton (*Mix Design*) pada penelitian ini sesuai dengan standar SNI 7656:2012.

Data perencanaan campuran beton:

1. Mutu beton : 25 MPa
2. *Slump* : 60-180 mm
3. Ukuran agregat maksimum : 19,1 mm
4. Berat kering oven agregat kasar : 1345 kg/m³
5. Berat jenis semen tanpa tambahan udara : 3,15
6. Modulus kehalusan agregat halus : 2,40
7. Berat jenis (SSD) agregat halus : 3,03
8. Berat jenis (SSD) agregat kasar : 2,24
9. Penyerapan air agregat halus : 1,63%
10. Penyerapan air agregat kasar : 0,26%

Langkah perhitungan campuran beton

1. Menentukan perkiraan air pencampur dan kandungan udara.

Untuk menentukan perkiraan air pencampur beton untuk beberapa ukuran agregat dan target slump yang diinginkan dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11: Perkiraan kebutuhan air pencampur dan kadar udara untuk berbagai slump dan ukuran nominal agregat maksimum batu pecah.

Air (kg/m³) 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
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*	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 4.11: *Lanjutan*

Jumlah kadar udara yang disarankan untuk tingkat paparan sebagai berikut :	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5**	1.0**
ringan (%)								
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	5.5	5.0	4.5**	4.0**

Berdasarkan tabel 4.11 banyaknya kadar air yang diperlukan dalam campuran beton sebanyak 205 Kg/m³, beton yang diuji pada penelitian ini adalah beton tanpa tambahan udara.

2. Melakukan pemilihan rasio air semen

Rasio air semen yang diperlukan tidak hanya ditentukan oleh syarat kekuatan, tetapi juga oleh beberapa faktor diantaranya oleh keawetan. Menentukan pemilihan rasio air semen dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12: Hubungan antara rasio air semen dan kekuatan beton

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

Berdasarkan tabel 4.12 rasio air semen yang digunakan dalam campuran beton adalah 0,61.

3. Perhitungan kadar semen

Banyaknya semen untuk setiap satuan volume beton diperoleh dari data perkiraan kadar air pencampur dan data rasio air semen yang telah ditentukan pada langkah sebelumnya. Kebutuhan semen dapat dihitung menggunakan persamaan 4.1.

$$\begin{aligned} \text{Kadar semen} &= \frac{\text{Perkiraan kadar air}}{\text{Rasio air semen}} && (4.1) \\ &= \frac{205}{0,61} \\ &= 336,07 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, banyaknya kadar semen yang digunakan dalam campuran beton sebanyak 336,07 Kg.

4. Perkiraan berat kering agregat kasar

Agregat dengan ukuran nominal maksimum dan gradasi yang sama akan menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan yang memuaskan bila jumlah volume agregat dipakai untuk tiap satuan volume beton. Volume agregat kasar persatuan volume beton dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4.13: Volume agregat kasar persatuan volume beton

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 4.13 volume agregat kasar yang diambil adalah 0,66. Berat kering agregat kasar dihitung menggunakan persamaan 4.2.

$$\begin{aligned} \text{Berat kering agregat} &= \text{Volume agregat} \times \text{Berat kering oven agregat} && (4.2) \\ &= 0,66 \times 1345 \text{ kg/m}^3 \\ &= 887,73 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka berat kering agregat kasar yang diperlukan dalam campuran beton sebesar 887,73 kg.

5. Perkiraan berat kering agregat halus

Bila berat persatuan volume beton dapat dianggap atau diperkirakan dari pengalaman, maka berat agregat halus yang dibutuhkan adalah perbedaan dari berat beton segar dan berat total dari bahan-bahan lainnya. Tabel 4.14 dapat digunakan untuk perkiraan awal berat beton segar.

Tabel 4.14: Perkiraan awal berat beton segar

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

Berdasarkan tabel 4.14 perkiraan awal berat beton segar adalah 2345 kg/m³. Untuk mendapatkan volume agregat halus yang diisyaratkan, satuan volume beton dikurangi jumlah seluruh volume dari bahan bahan yang diketahui, yaitu air, udara, semen dan agregat kasar. Berat agregat halus dapat dihitung menggunakan persamaan 4.3.

Sehingga :

$$\text{Air} = 205 \text{ kg}$$

$$\text{Semen} = 336,07 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat Kasar} = 887,73 \text{ kg}$$

$$\text{Jumlah} = 1428,80 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat halus} &= \text{Perkiraan berat beton segar} - \text{jumlah volume bahan} \quad (4.3) \\ &= 2345 \text{ kg} - 1428,80 \text{ kg} \\ &= 916,20 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka berat kering agregat halus yang diperlukan dalam campuran beton sebesar 916,20 kg.

6. Volume absolute

Pemeriksaan volume absolute dihitung sebagai berikut:

- Volume air $= \frac{205}{1000}$
 $= 0,205 \text{ m}^3$
- Volume padat semen $= \frac{336,07}{(3,15 \times 1000)}$
 $= 0,107 \text{ m}^3$
- Volume absolute agregat kasar $= \frac{887,73}{(2,24 \times 1000)}$
 $= 0,397 \text{ m}^3$
- Volume udara terperangkap $= 1\% \times 1$
 $= 0,010 \text{ m}^3$
- Jumlah volume padat selain agregat halus $= 0,205 + 0,107 + 0,397 + 0,010$
 $= 0,718 \text{ m}^3$
- Volume agregat halus yang dibutuhkan $= 1 - 0,718$
 $= 0,282 \text{ m}^3$
- Berat agregat halus kering yang dibutuhkan $= 0,282 \times 3,03 \times 1000$
 $= 853,90 \text{ kg}$

7. Perbandingan berat bahan

Perbandingan berat masing-masing bahan berdasarkan perkiraan massa beton dan berdasarkan volume absolute dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4.15: Perbandingan berat bahan

	Berdasarkan perkiraan massa beton (kg)	Berdasarkan volume absolute (kg)
Air (berat bersih)	205	205
Semen	336,07	336,07
Ag. Kasar (kering)	887,73	887,73
Ag. Halus (kering)	916,20	853,90

8. Koreksi terhadap kandungan air

Pengujian menunjukkan kadar air seperti dibawah ini. Jika proporsi campuran percobaan dengan anggapan berat (massa) yang digunakan, maka berat (massa) penyesuaian dari agregat menjadi sebagai berikut:

Kadar air didapat:

- Agregat Kasar = 0,35%
- Agregat Halus = 3,11%
- Agregat Kasar (Basah) = $887,73 \times (1 + 0,0035) = 890,84 \text{ kg}$
- Agregat Halus (Basah) = $916,20 \times (1 + 0,0311) = 944,67 \text{ kg}$

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

- Air yang diberikan Agregat Kasar adalah $(0,35 - 0,26) = 0,09\%$
- Air yang diberikan Agregat Halus adalah $(3,11 - 1,63) = 1,48\%$

Dengan demikian kebutuhan air adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air} &= 205 - (887,7333 \times 0,09\%) - (916,20 \times 1,48\%) \\ &= 190,59 \end{aligned}$$

Maka perkiraan 1 m³ beton adalah sebagai berikut :

Air (Yang ditambahkan)	= 190,59 kg
Semen	= 336,07 kg
Agregat Kasar (Basah)	= 890,84 kg
<u>Agregat Halus (Basah)</u>	<u>= 944,67 kg</u>
Jumlah	= 2362,17 kg

Berdasarkan data diatas maka perbandingan bahan untuk campuran beton dapat dilihat pada tabel 4.16 dibawah ini.

Tabel 4.16: Hasil perbandingan bahan campuran beton

Semen	:	Agregat Halus	:	Agregat Kasar	:	Air
336,07 Kg	:	944,67 Kg	:	890,84 Kg	:	190,59 Kg
1	:	2,81	:	2,65	:	0,56

4.4 Perkiraan Bahan

Berdasarkan hasil perencanaan campuran beton, maka kebutuhan volume satu benda uji dengan cetakan silinder adalah sebagai berikut:

- Tinggi = 30 cm = 0,3 m
- Diameter = 15 cm = 0,15 m

$$\begin{aligned}\text{Volume silinder} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot T \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,15^2 \cdot 0,3 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Kebutuhan bahan pada setiap variasi dapat dilihat pada tabel 4.17 dibawah ini untuk 1 benda uji.

Tabel 4.17: Kebutuhan bahan penyusun beton untuk setiap variasi campuran

No	Benda Uji Silinder	Bahan Penyusun					
		Air (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Semen (Kg)	Tempurung Kelapa (Kg)	Sikament-NN (Kg)
1	BTN	1,0099	4,720	5,006	1,781	0	0
2	BTK 1,5%	1,0099	4,650	5,006	1,781	0,071	0
3	BTK 1,7%	1,0099	4,640	5,006	1,781	0,080	0
4	BTK 1,9%	1,0099	4,631	5,006	1,781	0,090	0
5	BTKS 1,5%	1,0099	4,650	5,006	1,781	0,071	0,041
6	BTKS 1,7%	1,0099	4,640	5,006	1,781	0,080	0,041
7	BTKS 1,9%	1,0099	4,631	5,006	1,781	0,090	0,041
	Total	6,426	32,561	35,039	12,465	0,481	0,123

Keterangan:

BTN = Beton Normal

BTK = Beton Tempurung Kelapa

BTKS = Beton Tempurung Kelapa *Sikament-NN*

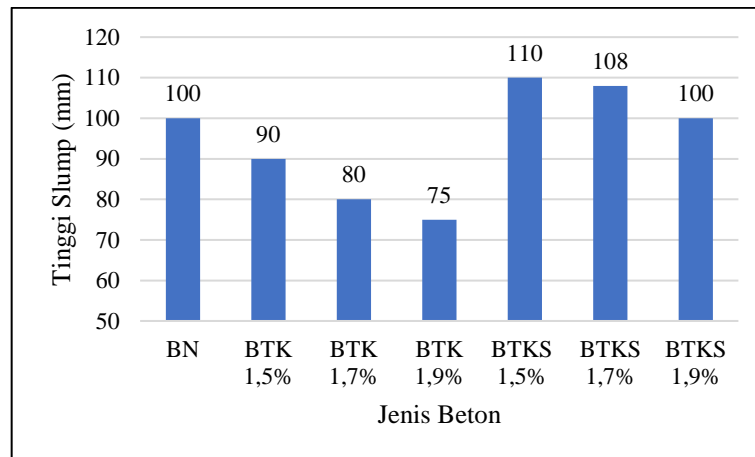
4.5 Pembuatan Benda uji

Penelitian ini menggunakan benda uji silinder sebagai pengujian modulus elastisitas beton dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sebanyak 21 benda uji.

4.6 Pengujian *Slump Test*

Pengujian *slump test* ini dilakukan untuk mengetahui *workability* yang terdapat pada beton segar normal maupun beton dengan bahan tambah (*additive*). Pengerjaan *slump test* ini menggunakan alat bernama kerucut Abrams dengan cara mengisi kerucut Abrams tersebut dengan adonan beton segar sebanyak 3 lapis, tiap-tiap lapis diisi sebanyak 1/3 dari isi kerucut Abrams tersebut. Kemudian dilakukan pengrojukan pada tiap-tiap lapis adonan sebanyak 25 kali, tongkat rojok harus masuk sampai ke bawah tiap lapisan. Setelah pengisian selesai ratakan permukaan kerucut lalu diamkan selama 10 detik, setelah itu angkat kerucut Abrams dengan tegak lurus sampai adonan beton segar terlepas dari cetakan, ukur selisih tinggi adonan beton segar dengan cetakan. Angka yang didapat merupakan hasil dari nilai *slump*.

Hasil pengujian nilai *slump test* disajikan dalam bentuk grafik dibawah ini.



Gambar 4.1: Grafik nilai *slump test*

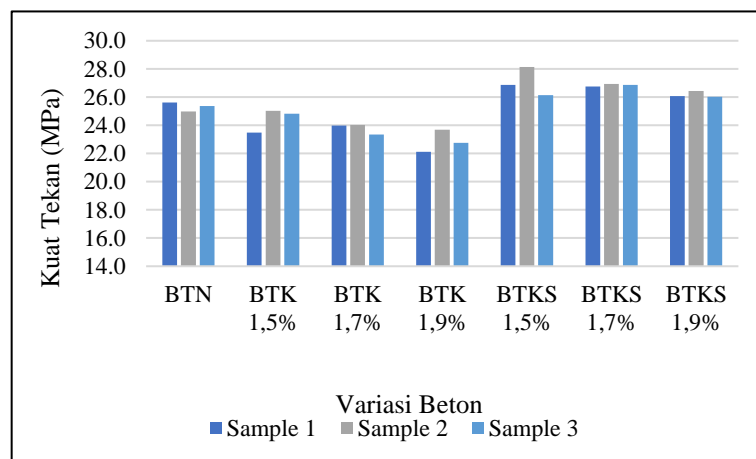
Berdasarkan gambar 4.1 dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan *Sikament-NN* pada campuran beton dapat meningkatkan nilai *workability* beton yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dikemukakan (Rosida et al., 2008), bahwa semakin tinggi nilai *slump* maka semakin mudah dikerjakan (*workability* meningkat).

4.7 Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat beton berumur 28 hari dengan menggunakan mesin kuat tekan (*Compression Testing Machine*) dengan kapasitas 1500 kN, benda uji yang akan dites adalah berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Benda uji berjumlah 21 benda uji dengan masing-masing campuran beton yaitu beton normal, beton campuran tempurung kelapa dengan variasi 1,5%, 1,7%, 1,9% dan beton campuran tempurung kelapa + *Sikament-NN* sebagai bahan tambah sebesar 2,3%.

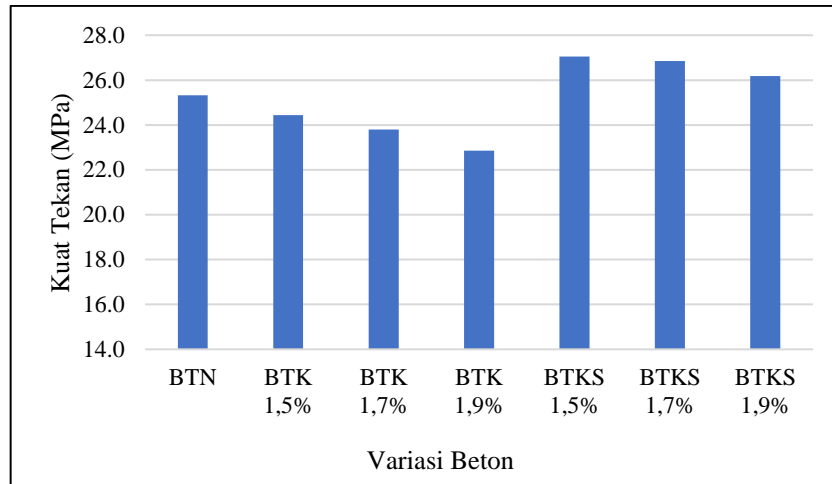
Berdasarkan pengujian didapatkan nilai kuat tekan beton normal sebesar 25,32 MPa, pada beton tempurung kelapa 1,5% sebesar 24,44 MPa, beton tempurung kelapa 1,7% sebesar 23,79 MPa, beton tempurung kelapa 1,9% sebesar 22,86 MPa, beton tempurung kelapa 1,5% + *Sikament-NN* 2,3% sebesar 27,05 MPa, beton tempurung kelapa 1,7% + *Sikament-NN* 2,3% sebesar 26,85 MPa, beton tempurung kelapa 1,9% + *Sikament-NN* 2,3% sebesar 26,18 MPa.

Pengujian kuat tekan ini dilakukan guna mendapatkan data hasil uji kuat tekan yang nantinya data ini akan digunakan dalam pengujian modulus elastisitas beton. Dari data kuat tekan tersebut akan diambil data kuat tekan tertinggi, nantinya data ini akan digunakan sebagai acuan dalam pengujian modulus elastisitas beton. Nilai kuat tekan yang diperoleh disajikan dalam grafik dibawah ini.



Gambar 4.2: Grafik hasil pengujian kuat tekan

Berdasarkan tabel 4.19 dalam pengujian kuat tekan beton diperoleh nilai rata-rata kuat tekan beton yang disajikan dalam grafik dibawah ini.



Gambar 4.3: Grafik hasil pengujian kuat tekan rata-rata

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa beton normal lebih efisien dibandingkan dengan beton campuran limbah tempurung kelapa. Hal ini ditunjukkan dengan seiring bertambahnya jumlah limbah dalam campuran, kuat tekan beton yang dihasilkan juga semakin rendah diakibatkan karena keausan tempurung kelapa lebih tinggi daripada keausan agregat kasar (batu pecah). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dikemukakan oleh (Lumbangaol & Panjaitan, 2021) dalam penelitian “Pengaruh Penggunaan Limbah Tempurung Kelapa Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal”, dengan variasi campuran tempurung kelapa yang digunakan adalah 0%, 2,5%, 5% dan 7,5%.

Sedangkan, Hasil pengujian menunjukkan bahwa grafik kuat tekan rata-rata mengalami peningkatan dengan penambahan persentase *Sikament-NN*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *Sikament-NN* berpengaruh terhadap peningkatan karakteristik kuat tekan beton. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dikemukakan oleh (Megasari, 2017) dalam penelitian “Analisis Pengaruh Penambahan *Sikament-NN* Terhadap Karakteristik Beton”, dengan persentase penambahan *Sikament-NN* sebanyak 0%, 0,3%, 0,8%, 1,3%, 1,8%, 2,3%.

4.8 Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas dibawah ini menggunakan metode ASTM C 469-02, pengujian modulus elastisitas beton menggunakan alat kuat tekan beton dan *dial gauge* (alat uji modulus elastisitas beton), pengujian modulus elastisitas beton ini

dilakukan pada saat umur beton 28 hari pada beton normal maupun pada beton variasi. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Pengujian modulus elastisitas beton hanya diuji sampai pada dengan 40% dari kuat tekan maksimum dari data kuat tekan yang telah didapatkan dari masing-masing variasi. Perhitungan dilakukan sebagai berikut:

1. BTN = $453,0 \times 40\% = 181,2 \text{ kN}$
2. BTK 1,5% = $442,3 \times 40\% = 176,9 \text{ kN}$
3. BTK 1,7% = $425,0 \times 40\% = 170,0 \text{ kN}$
4. BTK 1,9% = $418,9 \times 40\% = 167,5 \text{ kN}$
5. BTKS 1,5% = $497,5 \times 40\% = 199,0 \text{ kN}$
6. BTKS 1,7% = $476,0 \times 40\% = 190,4 \text{ kN}$
7. BTKS 1,9% = $467,5 \times 40\% = 187,0 \text{ kN}$

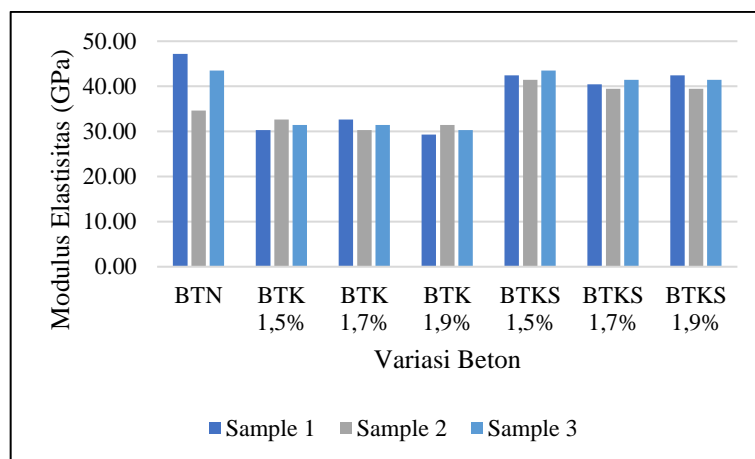
Untuk memudahkan pembacaan dial elastisitas beton maka pembacaan dial dilakukan sampai dengan angka 200 kN. Pembacaan dial dilakukan dengan interval pembacaan beban 50 kN.

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan rumus ASTM C 169-02 didapat nilai modulus elastisitas seperti pada tabel 4.20 berikut.

Tabel 4.18: Hasil pengujian modulus elastisitas metode ASTM C 469-02

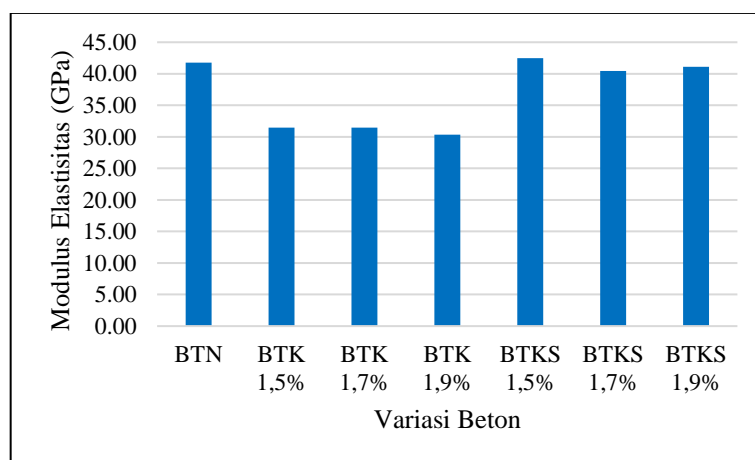
No	Variasi	Pmax 40% (kN)	Beban Tekan (P) (N)			Modulus Elastisitas (GPa)			Modulus Elastisitas Rata-Rata (Gpa)
			1	2	3	1	2	3	
1	BTN	200	453000	441500	448500	47,16	34,65	43,53	41,78
2	BTK 1,5%	200	415000	442310	439000	30,32	32,65	31,44	31,47
3	BTK 1,7%	200	424000	425000	412900	32,65	30,32	31,44	31,47
4	BTK 1,9%	200	391200	418900	402300	29,27	31,44	30,32	30,34
5	BTKS 1,5%	200	475000	497500	462000	42,44	41,41	43,53	42,46
6	BTKS 1,7%	200	473000	476000	475020	40,42	39,48	41,41	40,44
7	BTKS 1,9%	200	460800	467500	460230	42,44	39,48	41,41	41,11

Berdasarkan data diatas diperoleh nilai modulus elastisitas dari setiap variasi beton dengan menggunakan metode ASTM C 469-02. Nilai modulus elastisitas yang diperoleh disajikan dalam grafik dibawah ini.



Gambar 4.4: Grafik hasil pengujian nilai modulus elastisitas

Berdasarkan pengujian nilai modulus elastisitas beton diperoleh nilai tertinggi modulus elastisitas beton dengan menggunakan metode ASTM C 469-02 didapatkan pada variasi campuran BTKS 1,5% yaitu sebesar 42,46 GPa. Hasil rata-rata pengujian modulus elastisitas beton dengan menggunakan metode ASTM C 469-02 disajikan dalam grafik dibawah ini.



Gambar 4.5: Grafik hasil pengujian nilai modulus elastisitas rata-rata

Berdasarkan data diatas dapat kita lihat bahwa terdapat penurunan terhadap nilai modulus elastisitas pada variasi beton tempurung kelapa dari beton normal, dan terdapat peningkatan terhadap nilai modulus elastisitas pada variasi beton tempurung kelapa + *Sikament-NN* dari beton normal.

Berdasarkan metode SNI 2847-2019 menyebutkan rumus nilai modulus elastisitas untuk W_c antara 1440 dan 2560 kg/m^3 untuk beton diizinkan diambil

nilai sebesar :

$$E_c = W_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f_c'}$$

Keterangan:

E_c = Modulus Elastisitas (MPa)

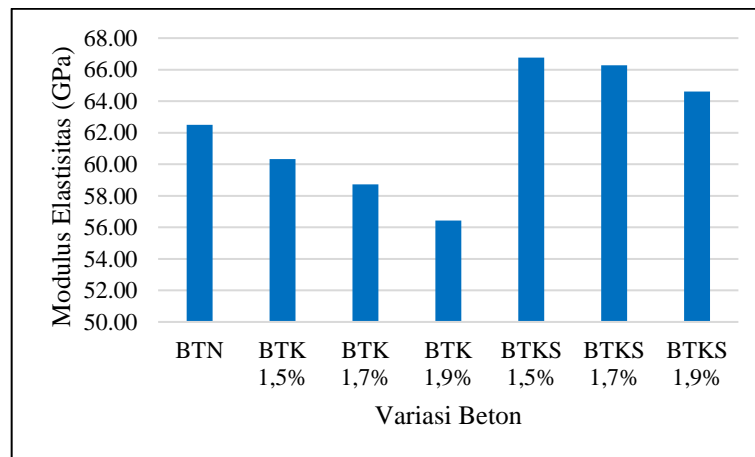
W_c = Berat isi beton antara 1440 – 2560 (kg/m^3)

f_c' = Kuat tekan beton rencana (MPa)

Dimana :

$$W_c = 2362,17 \text{ kg/m}^3$$

Berdasarkan pengujian nilai modulus elastisitas beton diperoleh nilai tertinggi modulus elastisitas beton dengan menggunakan metode SNI 2847-2019 didapatkan pada variasi campuran BTKS 1,5% yaitu sebesar 66,77 GPa. Hasil pengujian modulus elastisitas beton dengan menggunakan metode SNI 2847-2019 disajikan dalam grafik dibawah ini.



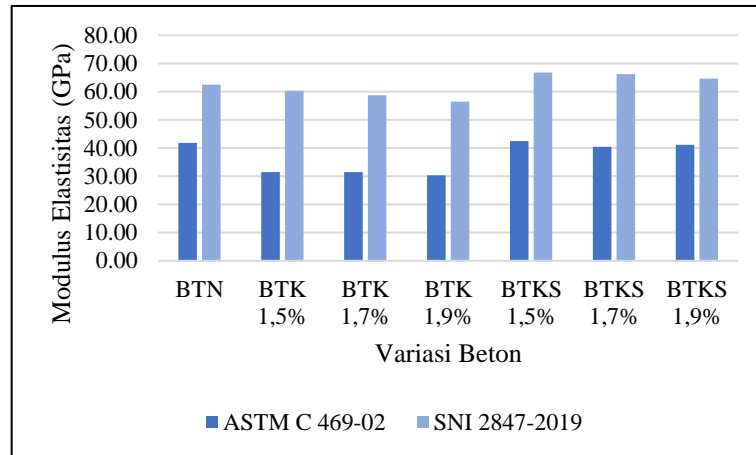
Gambar 4.6: Grafik hasil pengujian modulus elastisitas metode SNI 2847-2019

Dari hasil pengujian modulus elastisitas beton menggunakan metode SNI 2847-2019 yaitu angka modulus elastisitas dapat disimpulkan bahwa terdapat penurunan terhadap nilai modulus elastisitas pada variasi beton tempurung kelapa dari beton normal, dan terdapat peningkatan terhadap nilai modulus elastisitas pada variasi beton tempurung kelapa + *Sikament-NN* dari beton normal.

Jika dibandingkan, pengujian modulus elastisitas beton menggunakan metode ASTM C 469-02 dan metode SNI 2847-2019, maka hasil dari pengujian dengan

metode SNI 2847-2019 hasilnya lebih besar dibandingkan dengan menggunakan metode ASTM C 469-02.

Berdasarkan perbandingan nilai modulus elastisitas beton antara metode ASTM C-469-02 dengan metode SNI 2847-2019 yang disajikan dalam grafik dibawah ini.



Gambar 4.7: Grafik perbandingan nilai modulus elastisitas beton antara metode ASTM C 469-02 dengan metode SNI 2847-2019

Berdasarkan hasil pengujian modulus elastisitas yang telah diperoleh dari hasil perhitungan, dilakukan perhitungan lain yang terdapat pada Standar Nasional Indonesia (SNI). Rumus tersebut didasari oleh kuat tekan dan berat isi beton. Tujuan dari dilakukannya kedua perhitungan tersebut untuk mengetahui hasil perhitungan dengan rumus yang terdapat pada SNI dan hasil perhitungan dengan rumus yang terdapat pada ASTM dari pengujian elastisitas dari masing-masing variasi benda uji.

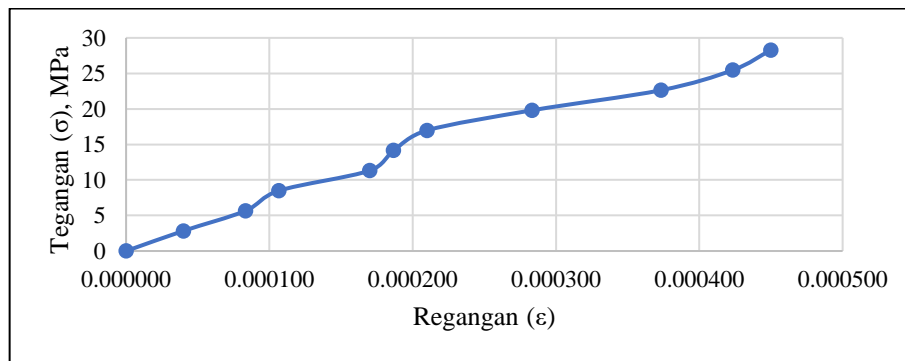
Setelah menghitung nilai modulus elastisitas menggunakan dua rumus pada masing-masing variasi benda uji, didapatkan hasil nilai tertinggi modulus elastisitas beton dengan menggunakan metode ASTM C 469-02 didapatkan pada variasi campuran BTKS 1,5% yaitu sebesar 42,46 GPa dan nilai tertinggi modulus elastisitas beton dengan menggunakan metode SNI 2847-2019 didapatkan pada variasi campuran BTKS 1,5% yaitu sebesar 66,77 GPa.

Pada variasi BTK 1,5%, 1,7%, dan 1,9% terjadi penurunan sebesar 3,5%, 6,0%, dan 9,7% atau selisih 21,72 GPa, 37,77 GPa dan 60,72 GPa dari beton normal dikarenakan seiring bertambahnya jumlah limbah dalam campuran, kuat tekan

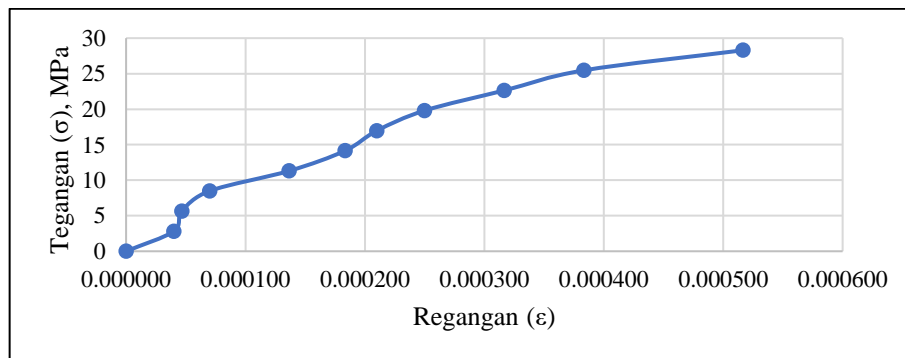
beton dan modulus elastisitas yang dihasilkan juga semakin rendah diakibatkan karena keausan tempurung kelapa lebih tinggi daripada keausan agregat kasar, hal ini sesuai dengan penelitian yang dikemukakan oleh (Lumbangaol & Panjaitan, 2021).

Namun pada variasi BTKS 1,5%, 1,7% dan 1,9% terjadi peningkatan sebesar 6,8%, 6,0% dan 3,4% atau selisih 42,70 GPa, 37,77 GPa dan 21,22 GPa dari beton normal dikarenakan penambahan *Sikament-NN* berpengaruh terhadap peningkatan karakteristik modulus elastisitas beton, hal ini sesuai dengan penelitian yang dikemukakan oleh (Megasari, 2017).

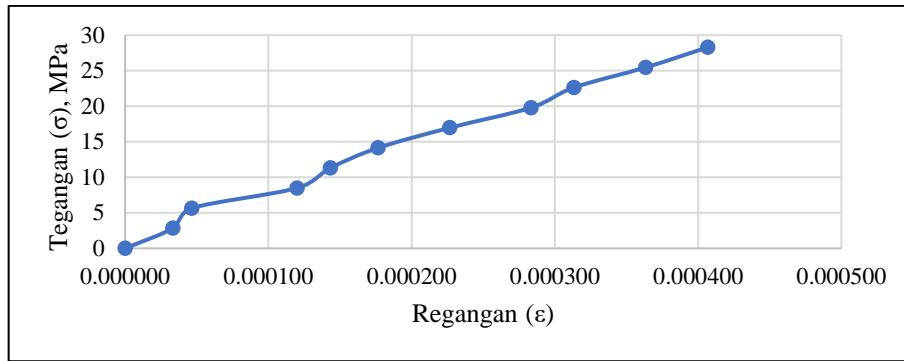
Pengujian terhadap modulus elastisitas beton didapat nilai regangan-tegangan beton pembacaan dial alat *extensometer* silinder beton. Hubungan antara tegangan dengan modulus elastisitas adalah berbanding lurus sedangkan hubungan antara regangan dengan modulus elastisitas berbanding terbalik. Jika hubungan tegangan dan regangan dibuat dalam bentuk grafik dimana setiap nilai tegangan dan regangan yang terjadi setiap kenaikan beban aksial 50kN dipetakan kedalamnya dalam bentuk titik-titik, maka titik-titik tersebut terletak dalam suatu garis lurus (linear) sehingga terdapat kesebandingan antara tegangan dan regangan. Grafik hubungan tegangan dan regangan dari masing masing variasi dapat dilihat pada tabel berikut.



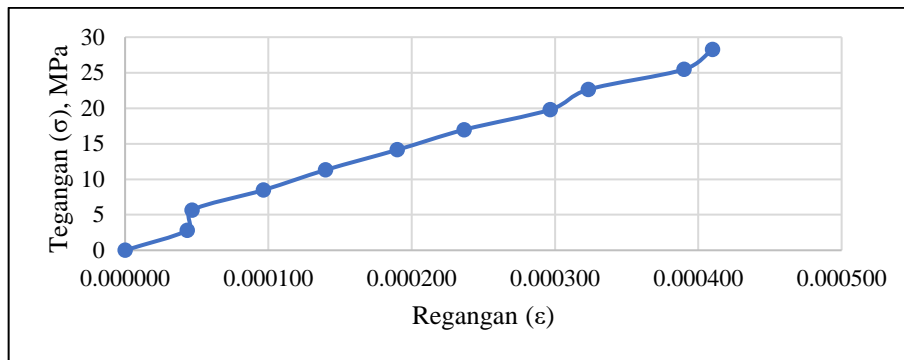
Gambar 4.8: Hubungan tegangan dan regangan variasi BTN



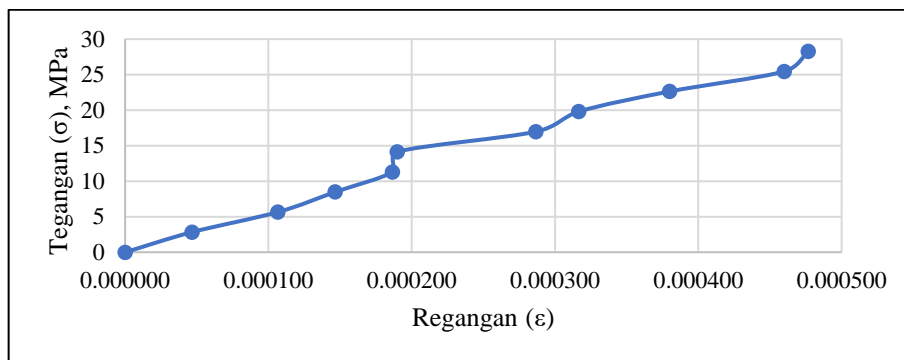
Gambar 4.9: Hubungan tegangan dan regangan variasi BTK 1,5%



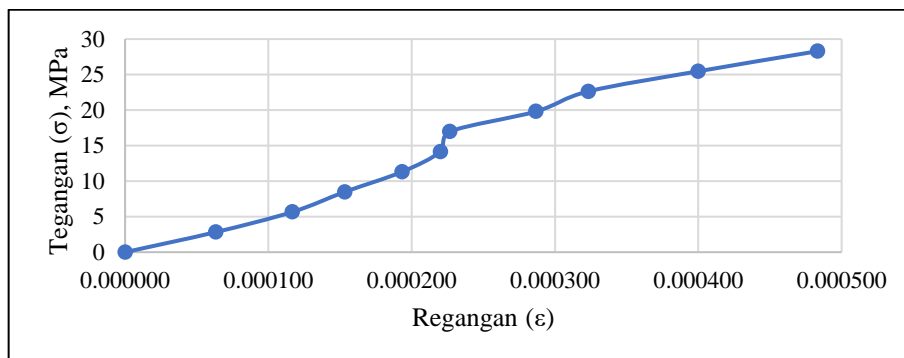
Gambar 4.10: Hubungan tegangan dan regangan variasi BTK 1,7%



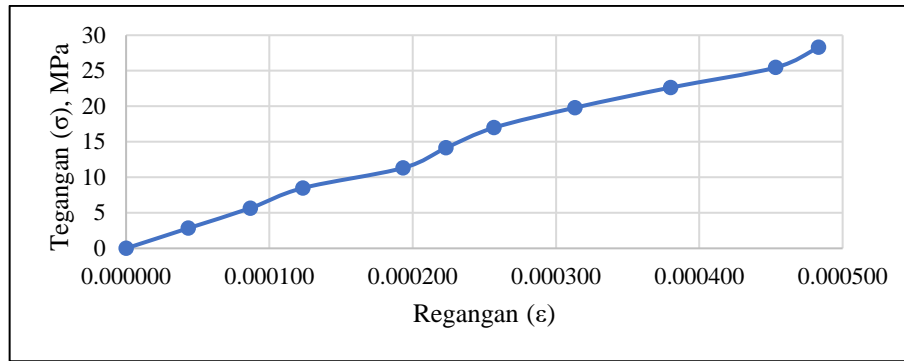
Gambar 4.11: Hubungan tegangan dan regangan variasi BTK 1,9%



Gambar 4.12: Hubungan tegangan dan regangan variasi BTKS 1,5%



Gambar 4.13: Hubungan tegangan dan regangan variasi BTKS 1,7%



Gambar 4.14: Hubungan tegangan dan regangan variasi BTKS 1,9%

Berdasarkan grafik diatas maka dapat disimpulkan nilai regangan optimum pada variasi BTN adalah sebesar 0,000450, pada variasi BTK 1,5% nilai regangan optimum sebesar 0,000157, pada variasi BTK 1,7% nilai regangan optimum sebesar 0,000407, pada variasi BTK 1,9% nilai regangan optimum sebesar 0,000410, pada variasi BTKS 1,5% nilai regangan optimum sebesar 0,000477, pada variasi BTKS 1,7% nilai regangan optimum sebesar 0,000483, dan pada variasi BTKS 1,9% nilai regangan optimum sebesar 0,000483.

4.9 Estimasi Harga Beton

Menghitung estimasi biaya secara keseluruhan setelah kebutuhan material dihitung dan dijumlahkan. Harga satuan material dapat diperoleh dengan survey lapangan dipasaran atau berkonsultasi pada konsultan untuk mendapatkan harga yang tepat. Hal ini berguna untuk menentukan jenis beton seperti apa yang akan digunakan dalam sebuah pekerjaan konstruksi. Berikut estimasi harga untuk seluruh variasi persatuan benda uji.

Tabel 4.19: Estimasi harga satuan beton

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Per Kg	Jumlah
				(Rp.)	(Rp.)
1	Semen	Kg	12,465	1.200	14.958
2	Agregat Kasar	Kg	32,561	424	13.805,86
3	Agregat Halus	Kg	35,039	259,7	9.099,63
4	Air	Kg	6,426	0	0
5	Tempurung Kelapa	Kg	0,481	1.000	481
6	Sikament-NN	Kg	0,123	38.250	4.704,75

Setelah didapat estimasi harga untuk seluruh variasi persatuan benda uji, berikutnya dihitung estimasi harga untuk setiap variasi persatuan benda uji.

Tabel 4.20: Estimasi harga satuan beton normal

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Per Kg	Jumlah
				(Rp.)	(Rp.)
1	Semen	Kg	1,7807	1.200	2.136,87
2	Agregat Kasar	Kg	4,72034	424	2.001,42
3	Agregat Halus	Kg	5,00555	259,7	1.299,94
4	Air	Kg	1,0099	0	0
5	Tempurung Kelapa	Kg	0	1.000	0
6	<i>Sikament-NN</i>	Kg	0	38.250	0
	Total				5.438,24

Tabel 4.21: Estimasi harga satuan beton tempurung kelapa variasi 1,5%

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Per Kg	Jumlah
				(Rp.)	(Rp.)
1	Semen	Kg	1,7807	1.200	2.136,84
2	Agregat Kasar	Kg	4,64954	424	1.971,40
3	Agregat Halus	Kg	5,00555	259,7	1.299,94
4	Air	Kg	1,0099	0	0
5	Tempurung Kelapa	Kg	0,0708	1.000	70,8
6	<i>Sikament-NN</i>	Kg	0	38.250	0
	Total				5.478,99

Tabel 4.22: Estimasi harga satuan beton tempurung kelapa variasi 1,7%

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Per Kg	Jumlah
				(Rp.)	(Rp.)
1	Semen	Kg	1,7807	1.200	2.136,84
2	Agregat Kasar	Kg	4,64009	424	1.967,40
3	Agregat Halus	Kg	5,00555	259,7	1.299,94
4	Air	Kg	1,0099	0	0
5	Tempurung Kelapa	Kg	0,0802	1.000	80,2
6	<i>Sikament-NN</i>	Kg	0	38.250	0
	Total				5.484,38

Tabel 4.23: Estimasi harga satuan beton tempurung kelapa variasi 1,9%

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Per Kg	Jumlah
				(Rp.)	(Rp.)
1	Semen	Kg	1,7807	1.200	2.136,84
2	Agregat Kasar	Kg	4,63065	424	1.963,40
3	Agregat Halus	Kg	5,00555	259,7	1.299,94
4	Air	Kg	1,0099	0	0
5	Tempurung Kelapa	Kg	0,0897	1.000	89,7
6	<i>Sikament-NN</i>	Kg	0	38.250	0
	Total				5.489,88

Tabel 4.24: Estimasi harga satuan beton tempurung kelapa variasi 1,5% + *Sikament-NN*

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Per Kg	Jumlah
				(Rp.)	(Rp.)
1	Semen	Kg	1,7807	1.200	2.136,84
2	Agregat Kasar	Kg	4,64954	424	1.971,40
3	Agregat Halus	Kg	5,00555	259,7	1.299,94
4	Air	Kg	1,0099	0	0
5	Tempurung Kelapa	Kg	0,0708	1.000	70,8
6	<i>Sikament-NN</i>	Kg	0,041	38.250	1.568,25
	Total				7.047,24

Tabel 4.25: Estimasi harga satuan beton tempurung kelapa variasi 1,7% + *Sikament-NN*

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Per Kg	Jumlah
				(Rp.)	(Rp.)
1	Semen	Kg	1,7807	1.200	2.136,84
2	Agregat Kasar	Kg	4,64009	424	1.967,40
3	Agregat Halus	Kg	5,00555	259,7	1.299,94
4	Air	Kg	1,0099	0	0
5	Tempurung Kelapa	Kg	0,0802	1.000	80,2
6	<i>Sikament-NN</i>	Kg	0,041	38.250	1.568,25
	Total				7.052,63

Tabel 4.26: Estimasi harga satuan beton tempurung kelapa variasi 1,9% + *Sikament-NN*

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Per Kg	Jumlah
				(Rp.)	(Rp.)
1	Semen	Kg	1,7807	1.200	2.136,84
2	Agregat Kasar	Kg	4,63065	424	1.963,40
3	Agregat Halus	Kg	5,00555	259,7	1.299,94
4	Air	Kg	1,0099	0	0
5	Tempurung Kelapa	Kg	0,0897	1.000	89,7
6	<i>Sikament-NN</i>	Kg	0,041	38.250	1.568,25
	Total				7.058,13

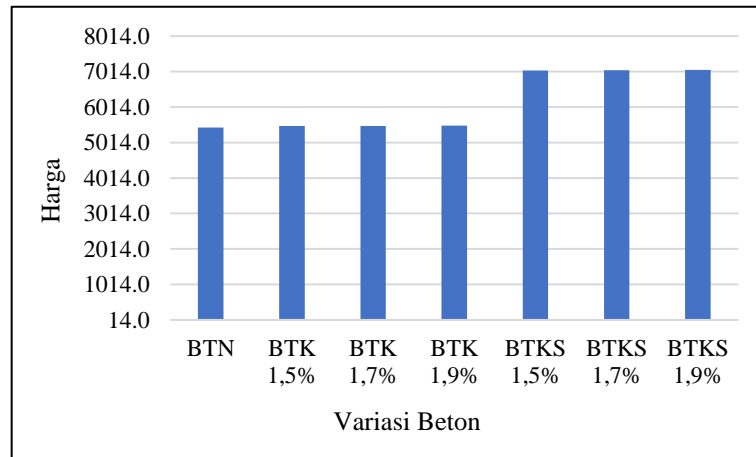
Berdasarkan data diatas diperoleh estimasi harga dari setiap variasi beton yang disusun pada tabel 4.31 berikut.

Tabel 4.27: Estimasi harga satuan beton setiap variasi

No	Variasi	Harga
1	BTN	5.438,24
2	BTK 1,5%	5.478,99
3	BTK 1,7%	5.484,38
4	BTK 1,9%	5.489,88
5	BTKS 1,5%	7.047,24
6	BTKS 1,7%	7.052,63
7	BTKS 1,9%	7.058,13

Berdasarkan tabel 4.31 diperoleh harga tertinggi yaitu pada variasi beton tempurung kelapa 1,5% + *Sikament-NN* 2,3% sebesar Rp. 7.047,24 untuk satu benda

uji. Dapat disimpulkan bahwa variasi beton tempurung kelapa 1,5% + *Sikament-NN* 2,3% memiliki nilai kuat tekan dan modulus elastisitas tertinggi serta harga tertinggi daripada variasi lainnya. Hasil estimasi harga diatas disajikan dalam grafik seperti berikut.



Gambar 4.15: Grafik estimasi harga setiap variasi beton

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh tempurung kelapa sebagai pengganti sebagian agregat kasar pada pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa BTN lebih efisien dibandingkan dengan BTK dikarenakan bertambahnya jumlah limbah dalam campuran maka kuat tekan beton yang dihasilkan juga semakin rendah diakibatkan karena keausan tempurung kelapa lebih tinggi daripada keausan agregat kasar, dan penggunaan *Sikament-NN* pada campuran beton menunjukkan bahwa grafik kuat tekan dan modulus elastisitas mengalami peningkatan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *Sikament-NN* berpengaruh terhadap peningkatan karakteristik kuat tekan beton dan nilai modulus elastisitas beton.
2. Berdasarkan pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas diperoleh nilai kuat tekan beton dan nilai modulus elastisitas tertinggi yaitu pada variasi beton tempurung kelapa 1,5% + *Sikament-NN* 2,3% sebesar 27,05 MPa dan 66,77 GPa.
3. Nilai modulus elastisitas pada BTN didapat sebesar 62,50 GPa, pada BTK mengalami penurunan dibandingkan BTN. Nilai modulus elastisitas pada BTK 1,5% sebesar 60,33 GPa, pada BTK 1,7% sebesar 58,72 GPa, pada BTK 1,9% sebesar 56,43 GPa. Sedangkan pada BTKS mengalami peningkatan dibandingkan BTN. Nilai modulus elastisitas pada BTKS 1,5% sebesar 66,77 GPa, pada BTKS 1,7% sebesar 66,27 GPa, pada BTKS 1,9% sebesar 64,62 GPa.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diberikan saran yang bertujuan untuk mengembangkan penelitian ini lebih lanjut. Adapun saran yang perlu dikembangkan dari penelitian ini adalah:

1. Variasi penambahan tempurung kelapa dan *Sikament-NN* sebaiknya dilakukan dengan lebih banyak variasi lagi agar menghasilkan nilai modulus untuk berbagai variasi lainnya.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan tempurung kelapa sebagai bahan pengganti agregat kasar terhadap zat *additive* yang lain.
3. Diusahakan proses pemadatan setiap sampel dilakukan secara konsisten agar didapatkan pemadatan yang sama disetiap benda uji sehingga didapatkan hasil yang optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Andini, P. F., Hildayati, & Suryani, L. (2019). *Review Industri Semen*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus Dan Agregat Kasar*. SNI ASTM C136:2012. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Metode Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. SNI 1969:2016. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Metode Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*. SNI 1970:2016. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). *Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan*. SNI 1971:2011. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (1996). *Metode Pengujian Gumpalan Lempung Dan Butir-Butir Mudah Pecah Dalam Agregat*. SNI 03-4141-1996. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran Dan Kadar Udara Beton*. SNI 1973:2008. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Serat Dan Beton Massa*. SNI 7656:2012. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *Cara Uji Slump Beton*. SNI 1972:2008. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). *Tata Cara Pembuatan Dan Perawatan Benda Uji Beton Di Laboratorium*. SNI 2493:2011. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. SNI 1974:2011. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Structural Untuk Bangunan Gedung*. SNI 2847:2019. Jakarta.
- Dapatermen Pekerjaan Umum. (1991). *Spesifikasi Bahan Tambah Untuk Beton*. SNI 03-2459-1991. Bandung.
- Elisabeth, S., Lukar, C., Pandaleke, R., & Wallah, S. (2020). Pengujian Modulus Elastisitas Pada Beton Dengan Menggunakan Tras Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus. *Jurnal Sipil Statik*, Vol.8(No.1), 33–38.
- Eransyah, M. F., Paryati, N., & Sylviana, R. (2022). Pengaruh Penggunaan Serbuk Arang Batok Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Sains Dan Teknologi (JSIT)*, Vol.2(No.1), 53. <https://doi.org/10.47233/jsit.v2i1.88>
- Fatah Sidik Nur. (2016). *Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas*.

- Firdiansyah, A., & Sulton, M. (2017). *Pengaruh Penambahan Tempurung Kelapa Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Nilai Kuat Tekan Dan Tarik Beton*. 20–30.
- Fujianti, I. P. (2022). *Analisis Penambahan Polrpropylene Fiber dab Bahan Tambah Viscocrete 8670 MN Terhadap Kuat Tarik Belah dan Modulus Elastisitas Beton*.
- Hudori, M., Tandedi, M., Sentanu, A. T., & Ferdinand, M. A. (2022). Studi Pengujian Kdar Lumpur Agregat Halus Pada Pasir Dikota Batam. *Jurnal Rab Contruction*, ISSN 2527-7073. <http://jurnal.univrab.ac.id/index.php/racic>
- Hunggurami, E., Bolla, M. E., & Messakh, P. (2017). Perbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol.VI(No.2), 165–172.
- Irawan, D., & Khatulistiani, U. (2021). Substitusi Agregat Kasar Menggunakan Pecahan Tempurung Kelapa Pada Campuran Beton Normal. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, Vol.9(No.1), 61–070.
- Jacky, Elnov, D., Debrinda Rama, A., Fernando, R., & Rachmansyah. (2018). Pengaruh Pecahan Tempurung Kelapa Sebagai Pengganti Agregat Kasar Dalam Campuran Beton Effect of Coconut Shell Fragments As Substitute for Coarse Aggregate in Concrete Mixture. *Jurnal Teknik Dan Ilmu Komputer*, Vol.07(No.26), 157–166.
- Layang, S., & Perkasa, P. (2022). Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Normal yang Menggunakan Agregat Kasar Gabungan. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, Vol. 8(No. 1), 77–85. www.jurnal.abulyatama.ac.id/tekniksipil
- Lumbangaol, P., & Panjaitan, Y. (2021). Pengaruh Penggunaan Limbah Tempurung Kelapa Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol.1(No.1), 25–31.
- Megasari, S. W. (2017). Analisis Pengaruh Penambahan Sikament-NN Terhadap Karakteristik Beton. In *Jurnal Teknik Sipil Siklus* (Vol. 3, Issue 2).
- Mulyadi, A., Suanto, P., & Meiza, R. (2020). Analisis Kuat Tarik Belah Beton Pada Standar Kuat Tekan K200 Dengan Menggunakan Limbah Pecahan Tempurug Kelapa Sebagai Pengganti Agregat Kasar. *Jurnal Teknik Sipil UNPAL*, Vol.10(No.2), 69–76.
- Nawati, N., Tumingan, T., & Tistro, R. (2019). Pengaruh Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Terhadap Agregat Kasar Dalam Campuran Beton Normal. *Teknologi Sipil*, Vol.3(No.1), 16–20. <http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TS/article/view/2760>
- Nawati, Tuminang, & Rafian Tistro. (2019). Pengaruh Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Terhadap Agregat Kasar Dalam Campuran Beton Normal. *JURNAL TEKNOLOGI SIPIL*, Vol. 3(No. 1), 16–20.

- Novitasari, D., Jamal, M., & Widiastuti, M. (2022). Analisa Kuat Tekan Beton Menggunakan Tempurung Kelapa Pada Campuran Beton Dengan Sikafume Sebagai Bahan Tambah. *JURNAL TEKNOLOGI SIPIL*, Vol. 6(No. 2), 70–76.
- Pramuja, A. (2018). *Nilai Modulus Elastisitas Beton Yang Diperkuat Oleh Serat Daun Nanas*.
- Pratama, M. M. A. (2018). Analisa Numerik Modulus Elastisitas Beton Gradasi. In *JURNAL BANGUNAN* (Vol. 23, Issue 1).
- Rahmawati, N., Sunarno, D., Eng, M., Ali, I., Soeparlan, A., & Artikel, I. (2021). Pengaruh Pemakaian Fly Ash Dan Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton. In *Jurnal Tugas Akhir Teknik Sipil* (Vol. 5, Issue 1).
- Rosida, E., Puri, A., & Masrizal. (2008). Pengaruh Penggunaan Bahan Tambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan dan Workabilitas Beton. *Jurnal Sainis*, Vo. 10(No. 1), 1–10.
- Salain, I. M. A. K. (2007). *Perbandingan Kuat Tekan Dan Permeabilitas Beton Yang Menggunakan Semen Portland Pozzolan Dengan Yang Menggunakan Semen Portland Tipe I*.
- Septiadi, A., Zulaicha, lilis, & Setioningsih, R. (2022). Pemakaian Limbah Botol Kaca Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton. *EQUILIB*, Vol.03(No.01), 105–114.
- Umar, U. T., Dhana, R. R., & Riza, A. K. (2019). Fly Ash Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Pada Beton Non Struktural. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Teuku Umar*, Vol.5(No.2), 78–1520.
- Zulkarnain, F. (2021). *Teknologi Beton*. Medan: UMSU PRESS

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Nomor Laporan : 612 / LB / V / 2023
 Jenis Pengujian : Pengujian Modulus Elastisitas Beton
 Pemohon Penguji : RAFIKA AUDRIANI PUTRI LUBIS
 Proyek : PENELITIAN UMSU
 Lokasi Pengujian : Laboratorium Beton Universitas Sumatera Utara
 Jenis Benda Uji : Silinder (d=15,l=30)
 Mutu Benda Uji : FC 25 MPa
 Jumlah Benda Uji : 3

No	Benda Uji (Silinder)	Berat Silinder (Kg)	Ukuran (mm)		Luas Penampang (mm ²)	Beban (kN)	Pembacaan		Tegangan Tekan (MPa)	Regangan (ε)
			T	D			Dial(μm)	ΔL(mm)		
1	SAMPEL 1 (NORMAL)	11,520	300	150	17678.57	0	0	0	0	0
						50	12	0.012	2.83	0.000040
						100	25	0.025	5.66	0.000083
						150	32	0.032	8.49	0.000107
						200	51	0.051	11.32	0.000170
						250	56	0.056	14.15	0.000187
						300	63	0.063	16.98	0.000210
						350	85	0.085	19.81	0.000283
						400	112	0.112	22.64	0.000373
						450	127	0.127	25.46	0.000423
						500	135	0.135	28.29	0.000450
2	SAMPEL 2 (NORMAL)	11,794	300	150	17678.57	0	0	0	0	0
						50	14	0.014	2.83	0.000047
						100	23	0.023	5.66	0.000077
						150	35	0.035	8.49	0.000117
						200	49	0.049	11.32	0.000163
						250	64	0.064	14.15	0.000213
						300	75	0.075	16.98	0.000250
						350	87	0.087	19.81	0.000290
						400	104	0.104	22.64	0.000347
						450	123	0.123	25.46	0.000410
						500	130	0.130	28.29	0.000433
3	SAMPEL 3 (NORMAL)	12,037	300	150	17678.57	0	0	0	0	0
						50	13	0.013	2.83	0.000043
						100	32	0.032	5.66	0.000107
						150	43	0.043	8.49	0.000143
						200	54	0.054	11.32	0.000180
						250	65	0.065	14.15	0.000217
						300	87	0.087	16.98	0.000290
						350	92	0.092	19.81	0.000307
						400	111	0.111	22.64	0.000370
						450	125	0.125	25.46	0.000417
						500	135	0.135	28.29	0.000450

Nomor Laporan : 612 / LB / V / 2023
 Jenis Pengujian : Pengujian Modulus Elastisitas Beton
 Pemohon Penguji : RAFIKA AUDRIANI PUTRI LUBIS
 Proyek : PENELITIAN UMSU
 Lokasi Pengujian : Laboratorium Beton Universitas Sumatera Utara
 Jenis Benda Uji : Silinder (d=15,l=30)
 Mutu Benda Uji : FC 25 MPa
 Jumlah Benda Uji : 3

No	Benda Uji (Silinder)	Berat Silinder (Kg)	Ukuran (mm)		Luas Penampang (mm ²)	Beban (kN)	Pembacaan		Tegangan Tekan (MPa)	Regangan (ε)
			T	D			Dial(μm)	ΔL(mm)		
1	SAMPEL 1 (VARIASI 1,5)	11,331	300	150	17678,57	0	0	0	0	0
						50	12	0.012	2.83	0.000040
						100	13	0.013	5.66	0.000043
						150	22	0.022	8.49	0.000073
						200	43	0.043	11.32	0.000143
						250	52	0.052	14.15	0.000173
						300	65	0.065	16.98	0.000217
						350	74	0.074	19.81	0.000247
						400	93	0.093	22.64	0.000310
						450	113	0.113	25.46	0.000377
						500	150	0.150	28.29	0.000500
2	SAMPEL 2 (VARIASI 1,5)	11,794	300	150	17678,57	0	0	0	0	0
						50	12	0.012	2.83	0.000040
						100	14	0.014	5.66	0.000047
						150	21	0.021	8.49	0.000070
						200	41	0.041	11.32	0.000137
						250	55	0.055	14.15	0.000183
						300	63	0.063	16.98	0.000210
						350	75	0.075	19.81	0.000250
						400	95	0.095	22.64	0.000317
						450	115	0.115	25.46	0.000383
						500	155	0.155	28.29	0.000517
3	SAMPEL 3 (VARIASI 1,5)	11,985	300	150	17678,57	0	0	0	0	0
						50	11	0.011	2.83	0.000037
						100	13	0.013	5.66	0.000043
						150	25	0.025	8.49	0.000083
						200	42	0.042	11.32	0.000140
						250	56	0.056	14.15	0.000187
						300	63	0.063	16.98	0.000210
						350	84	0.084	19.81	0.000280
						400	104	0.104	22.64	0.000347
						450	118	0.118	25.46	0.000393
						500	156	0.156	28.29	0.000520

Nomor Laporan : 612 / LB / V / 2023
 Jenis Pengujian : Pengujian Modulus Elastisitas Beton
 Pemohon Penguji : RAFIKA AUDRIANI PUTRI LUBIS
 Proyek : PENELITIAN UMSU
 Lokasi Pengujian : Laboratorium Beton Universitas Sumatera Utara
 Jenis Benda Uji : Silinder (d=15,l=30)
 Mutu Benda Uji : FC 25 MPa
 Jumlah Benda Uji : 3

No.	Benda Uji (Silinder)	Berat Silinder (Kg)	Ukuran (mm)		Luas Penampang (mm ²)	Beban (kN)	Pembacaan		Tegangan Tekan (MPa)	Regangan (ε)
			T	D			Dial(μm)	ΔL(mm)		
1	SAMPEL 1 (VARIASI 1,7)	11,760	300	150	17678.57	0	0	0	0	0
						50	9	0.009	2.83	0.000030
						100	13	0.013	5.66	0.000043
						150	22	0.022	8.49	0.000073
						200	41	0.041	11.32	0.000137
						250	46	0.046	14.15	0.000153
						300	52	0.052	16.98	0.000173
						350	73	0.073	19.81	0.000243
						400	92	0.092	22.64	0.000307
						450	114	0.114	25.46	0.000380
						500	125	0.125	28.29	0.000417
2	SAMPEL 2 (VARIASI 1,7)	11,885	300	150	17678.57	0	0	0	0	0
						50	10	0.010	2.83	0.000033
						100	14	0.014	5.66	0.000047
						150	36	0.036	8.49	0.000120
						200	43	0.043	11.32	0.000143
						250	53	0.053	14.15	0.000177
						300	68	0.068	16.98	0.000227
						350	85	0.085	19.81	0.000283
						400	94	0.094	22.64	0.000313
						450	109	0.109	25.46	0.000363
						500	122	0.122	28.29	0.000407
3	SAMPEL 3 (VARIASI 1,7)	11,949	300	150	17678,57	0	0	0	0	0
						50	11	0.011	2.83	0.000037
						100	12	0.012	5.66	0.000040
						150	21	0.021	8.49	0.000070
						200	42	0.042	11.32	0.000140
						250	56	0.056	14.15	0.000187
						300	61	0.061	16.98	0.000203
						350	74	0.074	19.81	0.000247
						400	88	0.088	22.64	0.000293
						450	113	0.113	25.46	0.000377
						500	120	0.120	28.29	0.000400

Nomor Laporan : 612 / LB / V / 2023
 Jenis Pengujian : Pengujian Modulus Elastisitas Beton
 Pemohon Penguji : RAFIKA AUDRIANI PUTRI LUBIS
 Proyek : PENELITIAN UMSU
 Lokasi Pengujian : Laboratorium Beton Universitas Sumatera Utara
 Jenis Benda Uji : Silinder (d=15,l=30)
 Mutu Benda Uji : FC 25 MPa
 Jumlah Benda Uji : 3

No.	Benda Uji (Silinder)	Berat Silinder (Kg)	Ukuran (mm)		Luas Penampang (mm ²)	Beban (kN)	Pembacaan		Tegangan Tekan (MPa)	Regangan (ε)
			T	D			Dial(μm)	ΔL(mm)		
1	SAMPEL 1 (VARIASI 1,9)	11,713	300	150	17678.57	0	0	0	0	0
						50	8	0.008	2.83	0.000027
						100	12	0.012	5.66	0.000040
						150	23	0.023	8.49	0.000077
						200	44	0.044	11.32	0.000147
						250	55	0.055	14.15	0.000183
						300	64	0.064	16.98	0.000213
						350	86	0.086	19.81	0.000287
						400	101	0.101	22.64	0.000337
						450	118	0.118	25.46	0.000393
						500	125	0.125	28.29	0.000417
2	SAMPEL 2 (VARIASI 1,9)	11,807	300	150	17678.57	0	0	0	0	0
						50	13	0.013	2.83	0.000043
						100	14	0.014	5.66	0.000047
						150	29	0.029	8.49	0.000097
						200	42	0.042	11.32	0.000140
						250	57	0.057	14.15	0.000190
						300	71	0.071	16.98	0.000237
						350	89	0.089	19.81	0.000297
						400	97	0.097	22.64	0.000323
						450	117	0.117	25.46	0.000390
						500	123	0.123	28.29	0.000410
3	SAMPEL 3 (VARIASI 1,9)	12,010	300	150	17678,57	0	0	0	0	0
						50	9	0.009	2.83	0.000030
						100	11	0.011	5.66	0.000037
						150	37	0.037	8.49	0.000123
						200	43	0.043	11.32	0.000143
						250	55	0.055	14.15	0.000183
						300	62	0.062	16.98	0.000207
						350	83	0.083	19.81	0.000277
						400	109	0.109	22.64	0.000363
						450	114	0.114	25.46	0.000380
						500	125	0.125	28.29	0.000417

Nomor Laporan : 619 / LB / VI / 2023
 Jenis Pengujian : Pengujian Modulus Elastisitas Beton
 Pemohon Penguji : RAFIKA AUDRIANI PUTRI LUBIS
 Proyek : PENELITIAN UMSU
 Lokasi Pengujian : Laboratorium Beton Universitas Sumatera Utara
 Jenis Benda Uji : Silinder (d=15,l=30)
 Mutu Benda Uji : FC 25 MPa
 Jumlah Benda Uji : 3

No.	Benda Uji (Silinder)	Berat Silinder (Kg)	Ukuran (mm)		Luas Penampang (mm ²)	Beban (kN)	Pembacaan		Tegangan Tekan (MPa)	Regangan (ε)
			T	D			Dial(μm)	ΔL(mm)		
1	SAMPEL 1 (VARIASI 1,5 SIKA)	12,225	300	150	17678.57	0	0	0	0	0
						50	13	0.013	2.83	0.000043
						100	25	0.025	5.66	0.000083
						150	40	0.040	8.49	0.000133
						200	55	0.055	11.32	0.000183
						250	57	0.057	14.15	0.000190
						300	72	0.072	16.98	0.000240
						350	97	0.097	19.81	0.000323
						400	113	0.113	22.64	0.000377
						450	130	0.130	25.46	0.000433
						500	145	0.145	28.29	0.000483
2	SAMPEL 2 (VARIASI 1,5 SIKA)	12,172	300	150	17678.57	0	0	0	0	0
						50	14	0.014	2.83	0.000047
						100	32	0.032	5.66	0.000107
						150	44	0.044	8.49	0.000147
						200	56	0.056	11.32	0.000187
						250	57	0.057	14.15	0.000190
						300	86	0.086	16.98	0.000287
						350	95	0.095	19.81	0.000317
						400	114	0.114	22.64	0.000380
						450	138	0.138	25.46	0.000460
						500	143	0.143	28.29	0.000477
3	SAMPEL 3 (VARIASI 1,5 SIKA)	12,040	300	150	17678,57	0	0	0	0	0
						50	13	0.013	2.83	0.000043
						100	28	0.028	5.66	0.000093
						150	37	0.037	8.49	0.000123
						200	54	0.054	11.32	0.000180
						250	57	0.057	14.15	0.000190
						300	76	0.076	16.98	0.000253
						350	95	0.095	19.81	0.000317
						400	111	0.111	22.64	0.000370
						450	129	0.129	25.46	0.000430
						500	145	0.145	28.29	0.000483

Nomor Laporan : 619 / LB / VI / 2023
 Jenis Pengujian : Pengujian Modulus Elastisitas Beton
 Pemohon Penguji : RAFIKA AUDRIANI PUTRI LUBIS
 Proyek : PENELITIAN UMSU
 Lokasi Pengujian : Laboratorium Beton Universitas Sumatera Utara
 Jenis Benda Uji : Silinder (d=15,l=30)
 Mutu Benda Uji : FC 25 MPa
 Jumlah Benda Uji : 3

No.	Benda Uji (Silinder)	Berat Silinder (Kg)	Ukuran (mm)		Luas Penampang (mm ²)	Beban (kN)	Pembacaan		Tegangan Tekan (MPa)	Regangan (ε)
			T	D			Dial(μm)	ΔL(mm)		
1	SAMPSEL 1 (VARIASI 1,7 SIKA)	12,130	300	150	17678.57	0	0	0	0	0
						50	14	0.014	2.83	0.000047
						100	32	0.032	5.66	0.000107
						150	41	0.041	8.49	0.000137
						200	57	0.057	11.32	0.000190
						250	65	0.065	14.15	0.000217
						300	77	0.077	16.98	0.000257
						350	82	0.082	19.81	0.000273
						400	110	0.110	22.64	0.000367
						450	127	0.127	25.46	0.000423
						500	144	0.144	28.29	0.000480
2	SAMPSEL 2 (VARIASI 1,7 SIKA)	12,054	300	150	17678.57	0	0	0	0	0
						50	19	0.019	2.83	0.000047
						100	35	0.035	5.66	0.000107
						150	46	0.046	8.49	0.000137
						200	58	0.058	11.32	0.000190
						250	66	0.066	14.15	0.000220
						300	68	0.068	16.98	0.000257
						350	86	0.086	19.81	0.000273
						400	97	0.097	22.64	0.000367
						450	120	0.12	25.46	0.000423
						500	145	0.145	28.29	0.000480
3	SAMPSEL 3 (VARIASI 1,7 SIKA)	12,034	300	150	17678,57	0	0	0	0	0
						50	13	0.013	2.83	0.000043
						100	32	0.032	5.66	0.000107
						150	44	0.044	8.49	0.000147
						200	56	0.056	11.32	0.000187
						250	64	0.064	14.15	0.000213
						300	78	0.078	16.98	0.000260
						350	94	0.094	19.81	0.000313
						400	122	0.122	22.64	0.000407
						450	137	0.137	25.46	0.000457
						500	145	0.145	28.29	0.000483

Nomor Laporan : 619 / LB / VI / 2023
 Jenis Pengujian : Pengujian Modulus Elastisitas Beton
 Pemohon Penguji : RAFIKA AUDRIANI PUTRI LUBIS
 Proyek : PENELITIAN UMSU
 Lokasi Pengujian : Laboratorium Beton Universitas Sumatera Utara
 Jenis Benda Uji : Silinder (d=15,l=30)
 Mutu Benda Uji : FC 25 MPa
 Jumlah Benda Uji : 3

No.	Benda Uji (Silinder)	Berat Silinder (Kg)	Ukuran (mm)		Luas Penampang (mm ²)	Beban (kN)	Pembacaan		Tegangan Tekan (MPa)	Regangan (ε)
			T	D			Dial(μm)	ΔL(mm)		
1	SAMPSEL 1 (VARIASI 1,9 SIKA)	12,359	300	150	17678.57	0	0	0	0	0
						50	12	0.012	2.83	0.000040
						100	33	0.033	5.66	0.000110
						150	48	0.048	8.49	0.000160
						200	55	0.055	11.32	0.000183
						250	64	0.064	14.15	0.000213
						300	78	0.078	16.98	0.000260
						350	92	0.092	19.81	0.000307
						400	110	0.110	22.64	0.000367
						450	125	0.125	25.46	0.000417
						500	144	0.144	28.29	0.000480
2	SAMPSEL 2 (VARIASI 1,9 SIKA)	12,818	300	150	17678.57	0	0	0	0	0
						50	13	0.013	2.83	0.000043
						100	26	0.026	5.66	0.000087
						150	37	0.037	8.49	0.000123
						200	58	0.058	11.32	0.000193
						250	67	0.067	14.15	0.000223
						300	77	0.077	16.98	0.000257
						350	94	0.094	19.81	0.000313
						400	114	0.114	22.64	0.000380
						450	136	0.136	25.46	0.000453
						500	145	0.145	28.29	0.000483
3	SAMPSEL 3 (VARIASI 1,9 SIKA)	12,035	300	150	17678,57	0	0	0	0	0
						50	13	0.013	2.83	0.000043
						100	29	0.029	5.66	0.000097
						150	35	0.035	8.49	0.000117
						200	56	0.056	11.32	0.000187
						250	64	0.064	14.15	0.000213
						300	76	0.076	16.98	0.000253
						350	88	0.088	19.81	0.000293
						400	95	0.095	22.64	0.000317
						450	124	0.124	25.46	0.000413
						500	145	0.145	28.29	0.000483

Lampiran 2. Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Beton

1. Hasil pengujian modulus elastisitas beton normal

No	Benda Uji (Silinder)	Berat Benda Uji	Pmax 40%	ΔL 40%	Tegangan (MPa)		Regangan		Modulus Elastisitas	Modulus Elastisitas Rata-Rata
		(Kg)	(kN)	(mm)	S2	S1	ϵ_2	ϵ_1	(GPa)	(GPa)
1	BTN1	11,520	200	0,051	11,32	5,66	0,000170	0,00005	47,16	41,78
2	BTN2	11,794	200	0,049	11,32	5,66	0,000163	0,00005	34,65	
3	BTN3	12,037	200	0,054	11,32	5,66	0,000180	0,00005	43,53	

2. Hasil pengujian modulus elastisitas beton tempurung kelapa variasi 1,5%

No	Benda Uji (Silinder)	Berat Benda Uji	Pmax 40%	ΔL 40%	Tegangan (MPa)		Regangan		Modulus Elastisitas	Modulus Elastisitas Rata-Rata
		(Kg)	(kN)	(mm)	S2	S1	ϵ_2	ϵ_1	(GPa)	(GPa)
1	BTK1,5% (1)	11,331	200	0,043	11,32	8,49	0,000143	0,00005	30,32	31,47
2	BTK1,5% (2)	11,794	200	0,041	11,32	8,49	0,000137	0,00005	32,65	
3	BTK1,5% (3)	11,985	200	0,042	11,32	8,49	0,000140	0,00005	31,44	

3. Hasil pengujian modulus elastisitas beton tempurung kelapa variasi 1,7%

No	Benda Uji (Silinder)	Berat Benda Uji	Pmax 40%	ΔL 40%	Tegangan (MPa)		Regangan		Modulus Elastisitas	Modulus Elastisitas Rata-Rata
		(Kg)	(kN)	(mm)	S2	S1	ϵ_2	ϵ_1	(GPa)	(GPa)
1	BTK1,7% (1)	11,760	200	0,041	11,32	8,49	0,000137	0,00005	32,65	31,47
2	BTK1,7% (2)	11,885	200	0,043	11,32	8,49	0,000143	0,00005	30,32	
3	BTK1,7% (3)	11,949	200	0,042	11,32	8,49	0,000140	0,00005	31,44	

4. Hasil pengujian modulus elastisitas beton tempurung kelapa variasi 1,9%

No	Benda Uji (Silinder)	Berat Benda Uji	Pmax 40%	ΔL 40%	Tegangan (MPa)		Regangan		Modulus Elastisitas	Modulus Elastisitas Rata-Rata
		(Kg)	(kN)	(mm)	S2	S1	ϵ_2	ϵ_1	(GPa)	(GPa)
1	BTK1,9% (1)	11,713	200	0,044	11,32	8,49	0,000147	0,00005	29,27	30,34
2	BTK1,9% (2)	11,807	200	0,042	11,32	8,49	0,000140	0,00005	31,44	
3	BTK1,9% (3)	12,010	200	0,043	11,32	8,49	0,000143	0,00005	30,32	

5. Hasil pengujian modulus elastisitas beton tempurung kelapa variasi 1,5% + Sikament-NN

No	Benda Uji (Silinder)	Berat Benda Uji	Pmax 40%	ΔL 40%	Tegangan (MPa)		Regangan		Modulus Elastisitas	Modulus Elastisitas Rata-Rata
		(Kg)	(kN)	(mm)	S2	S1	ϵ_2	ϵ_1	(GPa)	(GPa)
1	BTKS1,5% (1)	12,225	200	0.055	11,32	5,66	0,000183	0,00005	42,44	42,46
2	BTKS1,5% (2)	12,172	200	0.056	11,32	5,66	0,000187	0,00005	41,41	
3	BTKS1,5% (3)	12,040	200	0.054	11,32	5,66	0,000180	0,00005	43,53	

6. Hasil pengujian modulus elastisitas beton tempurung kelapa variasi 1,7% + Sikament-NN

No	Benda Uji (Silinder)	Berat Benda Uji	Pmax 40%	ΔL 40%	Tegangan (MPa)		Regangan		Modulus Elastisitas	Modulus Elastisitas Rata-Rata
		(Kg)	(kN)	(mm)	S2	S1	ϵ_2	ϵ_1	(GPa)	(GPa)
1	BTKS1,7% (1)	12,130	200	0.057	11,32	5,66	0,000190	0,00005	40,42	40,44
2	BTKS1,7% (2)	12,054	200	0.058	11,32	5,66	0,000193	0,00005	39,48	
3	BTKS1,7% (3)	12,034	200	0.056	11,32	5,66	0,000187	0,00005	41,41	

7. Hasil pengujian modulus elastisitas beton tempurung kelapa variasi 1,9% + *Sikament-NN*

No	Benda Uji (Silinder)	Berat Benda Uji	Pmax 40%	ΔL 40%	Tegangan (MPa)		Regangan		Modulus Elastisitas	Modulus Elastisitas Rata-Rata
		(Kg)	(kN)	(mm)	S2	S1	ϵ_2	ϵ_1	(GPa)	(GPa)
1	BTKS1,9% (1)	12,359	200	0.055	11,32	5,66	0,000183	0,00005	42,44	41,11
2	BTKS1,9% (2)	12,818	200	0.058	11,32	5,66	0,000193	0,00005	39,48	
3	BTKS1,9% (3)	12,035	200	0.056	11,32	5,66	0,000187	0,00005	41,41	

Lampiran 3. Dokumentasi Bahan



Gambar L-1: Semen



Gambar L-2: Agregat halus



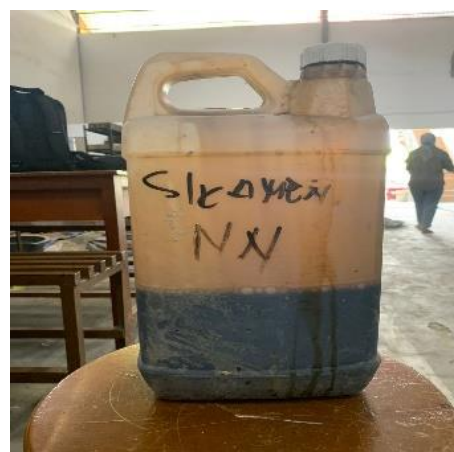
Gambar L-3: Agregat kasar



Gambar L-4: Air



Gambar L-5: Tempurung kelapa



Gambar L-6: Sikament-NN

Lampiran 4. Dokumentasi Alat



Gambar L-7: Satu set saringan



Gambar L-8: Timbangan digital



Gambar L-9: Gelas ukur



Gambar L-10: Oven



Gambar L-11: Ember



Gambar L-12: Plastik



Gambar L-13: Pan



Gambar L-14: Palu karet



Gambar L-15: Sekop tangan



Gambar L-16: Piknometer



Gambar L-17: Skrap



Gambar L-18: Cetakan



Gambar L-19: Vaseline



Gambar L-20: Kuas



Gambar L-21: Mesin pengaduk



Gambar L-22: Bak perendam



Gambar L-23: Kerucut abras



Gambar L-24: Meteran



Gambar L-25: Tongkat penumbuk



Gambar L-26: *Compression test machine*



Gambar L-27: Extensometer

Lampiran 5. Dokumentasi Penelitian



Gambar L-28: Pemecahan tempurung kelapa



Gambar L-29: Pengujian bahan



Gambar L-30: Pembuatan cetakan



Gambar L-31: Pembuatan benda uji



Gambar L-32: Penambahan *Sikament-NN*



Gambar L-33: Pengujian *slump*



Gambar L-34: Pencetakan benda uji



Gambar L-35: Perendaman benda uji



Gambar L-36: Pembuatan *capping*



Gambar L-37: Penimbangan benda uji



Gambar L-38: Pengujian kuat tekan



Gambar L-39: Pengujian modulus elastisitas

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



INFORMASI PRIBADI

Nama Lengkap : Rafika Audriani Putri Lubis
Nama Panggilan : Fika
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 25 April 2002
Jenis Kelamin : Perempuan
Alamat : Jl. Megawati No.10, Kel. Pasar Merah Timur,
Kec. Medan Area, Medan, Sumatera Utara, 20217
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Alfian Lubis, SH. MH
Ibu : Ika Sundari
No. HP : 0853 6153 5013
Email : rafikaaudri25@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 1907210055
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan 20238

PENDIDIKAN FORMAL

Tingkat Pendidikan Kelulusan	Nama dan Tempat	Tahun
Sekolah Dasar	SD SWASTA NURUL HASANAH	2007-2013
Sekolah Menengah Pertama	SMP SWASTA AN-NIZAM	2013-2016
Sekolah Menengah Atas	SMA N 5 MEDAN	2016-2019