

TUGAS AKHIR
ANALISIS NILAI MODULUS ELASTISITAS BETON
TERHADAP SERBUK BIJI SALAK SEBAGAI PENGANTI
SEBAGIAN AGREGAT HALUS DENGAN *ADDITIVE*
BESTMITTEL
(STUDI PENELITIAN)

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

Disusun Oleh :
MUHAMMAD AKBAR ALGHIFARI
2107210183



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : MUHAMMAD AKBAR ALGHIFARI

NPM : 2107210183

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Nilai Modulus Elastisitas Beton Terhadap Serbuk Biji
Salak Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Dengan
Additive Bestmittel

Bidang Ilmu : Struktur

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

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA

PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 12 September 2025

Dosen Pembimbing



Muhammad Husin Gultom, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : MUHAMMAD AKBAR ALGHIFARI

NPM : 2107210183

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Nilai Modulus Elastisitas Beton Terhadap Serbuk Biji Salak Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Dengan Additive Bestmittel

Bidang Ilmu : Struktur

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

Medan, 12 September 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



(Muhammad Husin Gultom, S.T, M.T)

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



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



(Rizki Efrida, ST., MT)

Program Studi Teknik Sipil

Ketua Program Studi Teknik Sipil



(Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D.)

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : MUHAMMAD AKBAR ALGHIFARI

Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 12 Oktober 2003

NPM : 2107210183

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil

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

"Analisis Nilai Modulus Elastisitas Beton Terhadap Serbuk Biji Salak Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Dengan Additive Bestmittel"

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 orisinal dan otentik.

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

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

Medan, 12 September 2025

ig menyatakan,


MUHAMMAD AKBAR ALGHIFARI

ABSTRAK

ANALISIS MODULUS ELASTISITAS BETON TERHADAP SERBUK BIJI SALAK SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT HALUS DENGAN ADDITIVE BESTMITTEL

Muhammad Akbar Alghifari

2107210183

Muhammad Husin Gultom, S.T., M.T.

Beton merupakan material yang telah banyak digunakan sebagai bahan industri konstruksi. Salah satu bahan penyusun beton adalah pasir. Pasir diperoleh dengan cara ditambang, penambangan pasir yang berlebihan dan tidak terkendali dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Sebagai upaya pencegahan, maka dilakukan pemanfaatan limbah sebagai alternatif lain pengganti pasir. Kemudian untuk meningkatkan kualitas beton limbah maka ditambahkan zat *additive*. Studi ini dilaksanakan untuk mengevaluasi dampak dari substitusi parsial agregat halus menggunakan limbah biji salak dan semen menggunakan zat *additive Bestmittel* terhadap kuat tekan beton. Penelitian ini menggunakan beton variasi serbuk biji salak (BS) 3%, 5%, dan 7% serta *Bestmittel* 0,8% (BS+B) dari berat masing-masing agregat pada umur 14 dan 28 hari. Analisis data eksperimen menunjukkan beton dengan serbuk biji salak sebagai substitusi agregat halus mengalami penurunan kuat tekan, tetapi jika ditambah *Bestmittel* sebagai substitusi semen dapat meningkatkan kuat tekan beton. Perbandingan kuat tekan Variasi Tertinggi : Variasi Terendah : Beton Normal pada umur 14 hari yaitu 1,05 : 0,90 : 1 dan pada umur 28 hari yaitu 1,05 : 0,91 : 1.

Kata Kunci : Limbah Biji Salak, *Additive Bestmittel*,.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE MODULUS OF ELASTICITY OF CONCRETE AGAINST SNAKE FRUIT SEED POWDER AS A PARTIAL REPLACEMENT FOR FINE AGGREGATE WITH THE ADDITIVE BESTMITTEL

Muhammad Akbar Alghifari

2107210183

Muhammad Husin Gultom, S.T., M.T.

Concrete is a material that has been widely used as a construction industry material. One of the components of concrete is sand. Sand is obtained by mining, excessive and uncontrolled sand mining can cause environmental damage. As a preventative measure, waste is utilized as an alternative to sand. Then to improve the quality of waste concrete, additives are added. This study was conducted to evaluate the impact of partial substitution of fine aggregate using salak seed waste and cement using Bestmittel additives on the compressive strength of concrete. This study used concrete variations of salak seed powder (BS) 3%, 5%, and 7% and Bestmittel 0.8% (BS+B) of the weight of each aggregate at the age of 14 and 28 days. Analysis of experimental data showed that concrete with salak seed powder as a fine aggregate substitute experienced a decrease in compressive strength, but if Bestmittel was added as a cement substitute, it could increase the compressive strength of the concrete. Comparison of compressive strength of Highest Variation : Lowest Variation : Normal Concrete at the age of 14 days is 1.05 : 0.90 : 1 and at the age of 28 days is 1.05 : 0.91 : 1.

Keywords: Salak Seed Waste, Additive Bestmittel,

KATA PENGANTAR

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 Tugas Akhir ini yang berjudul “ANALISIS NILAI MODULUS ELASTISITAS BETON TERHADAP SERBUK BIJI SALAK SEBAGAI PENGANTI SEBAGIAN AGREGAT HALUS DENGAN *ADDITIVE BESTMITTEL*” 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 hanturkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW selaku suri tauladan umat manusia di dunia. Dalam pembuatan laporan 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 Muhammad Husin Gultom, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan dan memberi masukan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dan ikut andil dalam proses administrasi penelitian.
2. Bapak Assoc. prof. Ir. Ade Faisal, ST, MSc, Ph.D, selaku Dosen penguji I yang ikut andil dalam proses pengujian tugas akhir.
3. Ibu Rizki Efrida, ST., M.T., selaku Dosen penguji II yang ikut andil dalam proses pengujian tugas akhir.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, ST, MSc, Ph.D selaku Wakil Dekan I Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan ilmu Teknik Sipil yang sangat bermanfaat.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Kedua orang tua yang telah bersusah payah membesarkan dan memberikan kasih sayangnya yang tidak ternilai kepada penulis.
10. Sahabat dan rekan-rekan bimbingan Teknik Sipil stambuk 2021 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan semua teman-teman yang memberi penulis masukan masukan yang bermanfaat, dukungan serta semangat pada proses penyelesaian laporan ini.

Tugas akhir ini tentu masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan masukan yang membangun dari para pembaca agar bisa menjadi pembelajaran pada penelitian yang akan datang. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan juga dunia konstruksi Teknik Sipil.

Wassalammu'alaikum Wr. Wb

Medan, 12 Februari 2025

Muhammad Akbar Alghifari

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pengertian Beton	4
2.2 Kuat Tekan Beton	4
2.3 Modulus Elastisitas Beton	5
2.4 Material Pembuatan Beton	5
2.4.1 Semen	6
2.4.2 Agregat Halus	6
2.4.3 Agregat Kasar	8
2.4.4 Air	9
2.5 Bahan Tambahan Beton	10
2.5.1 Biji Salak	10
2.5.2 <i>Additive Bestmittel</i>	10
2.6 Penelitian Terdahulu	10
BAB 3 METODE PENELITIAN	23
3.1 Bagan Air Penelitian	23

3.2 Metode Penelitian	24
3.3 Lokasi dan Waktu Penelitian	24
3.4 Material Penyusun Beton	24
3.4.1 Semen	24
3.4.2 Agregat Halus	24
3.4.3 Agregat Kasar	24
3.4.4 Air	25
3.4.5 Limbah Biji Salak	25
3.4.6 Zat Additive	26
3.5 Jumlah Benda Uji	26
3.6 Langkah Langkah Pengujian	27
3.6.1 Persiapan Alat dan Bahan	27
3.6.2 Pengujian Analisa Saringan	28
3.6.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan	29
3.6.4 Pengujian Berat Isi Agregat	30
3.6.5 Pengujian Kadar Air	31
3.6.6 Pengujian Kadar Lumpur	31
3.6.7 Desain Komposisi Campuran (Mix Design)	32
3.6.8 Slump Test	32
3.6.9 Pembuatan Benda Uji	33
3.6.10 Perawatan (Curing) Benda Uji	34
3.6.11 Pengujian Kuat Tekan	34
3.6.12 Analisa Modulus Elastisitas	35
BAB 4 PEMBAHASAN DAN HASIL	36
4.1 Data Analisa Pemeriksaan Material Agregat	36
4.2 Pemeriksaan Agregat Kasar	37
4.2.1 Analisa Saringan Agregat Kasar	37
4.2.2 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	38
4.2.3 Berat Isi Agregat Kasar	39
4.2.4 Kadar Air Agregat Kasar	40
4.2.5 Kadar Lumpur Agregat kasar	41
4.3 Pemeriksaan Agregat Halus	42

4.3.1 Analisa Saringan Agregat Halus	42
4.3.2 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	43
4.3.3 Berat Isi Agregat Halus	45
4.3.4 Kadar Air Agregat Halus	45
4.3.5 Kadar Lumpur Agregat Halus	46
4.4 Rencana Campuran Beton	47
4.4.1 <i>Mix Design</i> Beton	47
4.5 Kebutuhan Material	49
4.5.1 Kebutuhan Material Utama	49
4.5.2 Kebutuhan Serbuk Biji Salak	49
4.5.3 Kebutuhan <i>Bestmittle</i>	50
4.5.4 Kebutuhan Material Keseluruhan	50
4.6 <i>Slump Test</i>	51
4.7 Pengujian Kuat Tekan Beton	52
4.8 Modulus Elastisitas	55
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Rangkuman Penelitian Terdahulu	11
Tabel 3.1 : Jumlah Benda Uji	26
Tabel 3.2 : Presentase Campuran Beton	27
Tabel 3.3 : Nilai Slump berdasarkan SNI 7656-2012	33
Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaaan Agregat	36
Tabel 4.2 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar	37
Tabel 4.3 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	39
Tabel 4.4 Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar	40
Tabel 4.5 Pengujian Kadar Air Agregat Kasar	40
Tabel 4.6 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	41
Tabel 4.7 Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	42
Tabel 4.8 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	43
Tabel 4.9 Pengujian Berat Isi Agregat Halus	45
Tabel 4.10 Pengujian Kadar Air Agregat Halus	46
Tabel 4.11 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	46
Tabel 4.12 Kebutuhan Serbuk Biji Salak 1 Benda Uji	50
Tabel 4.13 Kebutuhan Bestmittel 1 Benda Uji	50
Tabel 4.14 Kebutuhan Material 4 Benda Uji	51
Tabel 4.15 Hasil Kuat Tekan	52
Tabel 4.16 Berat Jenis Sampel Beton	55
Tabel 4.17 Modulus Elastisitas Sampel Beton	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Gradasi agregat halus zona 1	7
Gambar 2.2 : Gradasi agregat halus zona 2	7
Gambar 2.3 : Gradasi agregat halus zona 3	7
Gambar 2.4 : Gradasi agregat halus zona 4	8
Gambar 2.5 : Gradasi agregat kasar maksimum 10mm	8
Gambar 2.6 : Gradasi agregat kasar maksimum 20mm	9
Gambar 2.7 : Gradasi agregat kasar maksimum 40mm	9
Gambar 3.1 : Bagan Air Penelitian	23
Gambar 3.2 : Limbah Biji Salak	25
Gambar 3.3 : Serbuk Biji Salak Setelah Disaring	25
Gambar 3.4 : <i>Bestmittel</i>	26
Gambar 3.5 : Benda Uji silinder	34
Gambar 3.6 : Mesin Uji Kuat Tekan Beton	35
Gambar 4.1 Gradasi Grafik Agregat Kasar	38
Gambar 4.2 Grafik Agregat Halus	43
Gambar 4.3 Diagram Nilai Slump	52
Gambar 4.4 Diagram Nilai Kuat Tekan Beton	54
Gambar 4.5 Grafik Diagram Modulus Elastisitas	57

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang paling banyak digunakan karena memiliki kekuatan tekan yang tinggi dan daya tahan yang baik. Namun, kebutuhan yang terus meningkat mendorong inovasi untuk memanfaatkan bahan alternatif, khususnya bahan alami yang ramah lingkungan, guna mengurangi ketergantungan pada bahan baku konvensional. Salah satu bahan alami yang memiliki potensi diantaranya adalah salak.

Buah salak adalah buah yang mudah ditemukan dan banyak tumbuh di Sumatera Utara. Jumlah produksi buah salak setiap tahunnya cukup meningkat termasuk biji dari salak, sebagian digunakan sebagai bibit dan sisanya menjadi limbah. Oleh karena itu, pada penelitian tugas akhir kali ini akan dilakukan mengenai nilai modulus elastisitasnya dengan pemanfaatan limbah biji salak dalam bentuk serbuk sebagai pengganti sebagian agregat halus pada pembuatan beton.

Bestmittel merupakan salah satu merk bahan kimia yang fungsinya mempercepat proses pengerasan beton dan membantu proses pengecoran dengan jadwal yang ketat. Menurut penelitian-penelitian sebelumnya, penggunaan zat *additive Bestmittel* dapat meningkatkan kuat tekan dari beton. Penggunaan serbuk biji salak sebagai bahan campuran agregat halus beton merupakan pemanfaatan limbah untuk digunakan sebagai alternatif penggunaan agregat halus pada pembuatan beton ditambah dengan *Bestmittel* sebagai zat *additive*. Dengan campuran agregat halus serbuk biji salak dan ditambah *Bestmittel* diharapkan beton memiliki kuat tekan yang baik.

Modulus elastisitas memiliki hubungan yang kuat dengan perubahan bentuk elastis pada material atau biasa disebut sebagai deformasi. Semakin tinggi nilai

modulus elastisitas maka lendutan ataupun deformasi juga akan menjadi lebih kecil.

Modulus elastisitas mempunyai hubungan terhadap nilai kuat tekan, apabila nilai kuat tekan suatu beton semakin meningkat maka semakin tinggi juga nilai modulus elastisitasnya.

Penggunaan modulus elastisitas ini juga bertujuan untuk memastikan bahwa material berfungsi dalam batas elastisnya agar tidak ada terjadinya kerusakan pada pembebanan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh nilai modulus elastisitas pada benda uji beton dengan adanya serbuk biji salak dan *Bestmittel* pada umur 14 hari dan 28 hari?
2. Bagaimana perbandingan nilai modulus elastisitas antara beton serbuk biji salak dengan beton serbuk biji salak ditambah *Bestmittel* terhadap beton normal?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah :

1. Benda uji beton normal dan modifikasi yang digunakan berbentuk silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm.
2. Variasi serbuk biji salak yaitu 3%, 5%, dan 7% dari berat agregat halus, dan zat additive *Bestmittel* 0,8% dari berat semen.
3. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 14 dan 28 hari.
4. Biji salak yang digunakan merupakan limbah.
5. Kuat tekan rencana adalah $f_c' 20 \text{ Mpa}$.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui nilai modulus elastisitas pada benda uji beton dengan adanya serbuk biji salak dan *Bestmittel* pada umur 14 hari dan 28 hari.
2. Untuk mengetahui perbandingan nilai modulus elastisitas antara beton serbuk biji salak dengan beton serbuk biji salak ditambah *Bestmittel* terhadap beton normal.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dengan pemanfaatan serbuk biji salak dapat menjadi alternatif untuk penggunaan agregat halus pada beton dan juga diharapkan sebagai ilmu pengetahuan dalam kajian ilmiah tentang pengaruh dan perbandingan kuat tekan beton dengan adanya serbuk biji salak dan *Bestmittel* serta acuan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penelitian

Dalam penulisan laporan tugas akhir terdapat sistematika penelitian yang tersusun menjadi lima bab yaitu:

BAB 1 PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang permasalahan dari penelitian berupa teori-teori yang berhubungan dengan judul dari tugas akhir.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Berisikan tentang tempat, waktu, sumber data, teknik pengumpulan dan metode analisis data pada penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan hasil pemecahan permasalahan yang didapat setelah dilakukannya penelitian.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan kesimpulan yang mencakup hasil dari penelitian yang telah selesai dan juga saran terkait judul dari tugas akhir ini

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Beton

Di era Revolusi Industri saat ini, selain perkembangan teknologi, diperlukan inovasi khususnya di bidang konstruksi untuk meningkatkan kualitas sarana infrastruktur. Inovasi ini diwujudkan dalam beton, salah satu komponen yang banyak digunakan dalam arsitektur penelitian di bidang teknologi konstruksi juga erat kaitannya dengan perkembangan teknologi beton, karena beton merupakan material yang paling umum digunakan untuk komponen bangunan (Fernanda, 2018). Beton adalah salah satu material utama yang digunakan dalam pembangunan infrastruktur yang diperoleh dari pencampuran pasir, kerikil/ batu pecah semen serta air.

Menurut (SNI-2847-2002), Beton merupakan material umum yang terbentuk dari campuran beberapa material yaitu air, semen, agregat kasar (kerikil atau batu pecah), agregat halus (pasir) yang bila disatukan akan membentuk sebuah padatan yang umumnya digunakan sebagai bahan konstruksi bahan bangunan. Pada saat ini sudah banyak proyek konstruksi yang menggunakan beton sebagai salah satu bahan dalam proyeknya, contohnya dalam hal pembangunan Overpass, Underpass dan juga jembatan.

2.2. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan salah satu sifat mekanis beton yang telah mengeras. Hal ini dapat dicapai dengan melakukan uji kuat tekan pada beton di laboratorium. Nilai kuat tekan yang ditentukan berfungsi sebagai nilai acuan dalam menentukan mutu beton. Kekuatan tekan beton dapat dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk rasio campuran beton, kualitas semen, hasil uji slump, dan penggunaan bahan tambah lainnya. Pada benda uji silinder, kuat tekan beton menggunakan satuan “Mpa”. Sebutan f_c 20 pada beton menandakan bahwa kekuatan tekan rencana pada beton tersebut adalah 20 Mpa.

Pengujian kuat tekan terhadap penelitian ini menggunakan alat *Compression Testing Machine*. Nilai yang dihasilkan dari beban yang bekerja pada penampang dengan merata secara terus menerus pada titik berat menggunakan rumus :

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

Dimana:

f (saat pengujian) = kuat tekan saat pengujian (kg/cm²)

A = Luas penampang (cm²)

P = Beban tekan (kg)

2.3. Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per satuan panjang (Murdock dan Brook, 1991) dengan artian lain adalah parameter yang menunjukkan kapasitas beton saat mempertahankan deformasi elastis (sementara) ketika terpapar beban. Modulus elastisitas beton terutama terkait dengan sifat beton lainnya dengan kekuatan tekanan beton itu sendiri. Menurut (SNI-2847-2002) Modulus elastisitas ialah Modul elastis beton adalah parameter yang menunjukkan kapasitas beton saat mempertahankan deformasi elastis (sementara) ketika terpapar beban. Modul elastis beton terutama terkait dengan sifat beton lainnya dengan kekuatan tekanan beton itu sendiri. Menurut (SNI-2847-2013) mengenai persyaratan beton struktural terhadap gedung dijelaskan bahwa nilai modulus elastisitas teoritis pada beton diambil nilai sebesar :

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (2.2)$$

2.4. Material Pembuatan Beton

Material pembuatan beton adalah bahan bahan manufaktur yang akan digunakan saat melakukan pencampuran beton. Pada campuran ini diproduksi menggunakan rasio material, di mana rasio ini menentukan ketahanan tekanan dari rencana beton. Pada umumnya material pada beton terbuat dari agregat kasar (kerikil atau batu pecah), agregat halus (pasir), susunan semen dan juga air. Semua

material ini akan diuji saat pengujian nantinya sesuai dengan ketentuan ketentuan yang ada seperti SNI ataupun pada ASTM. Kualitas beton sangat bergantung dari kualitas masing masing material pembentuk.

2.4.1 Semen

Semen adalah bahan perekat agregat kasar atau bahan buatan daripada hasil campuran tanah liat dan batu baur (batu kerikil). Semen adalah salah satu bahan dasar dalam pembuatan beton yang memiliki sifat mengikat material lain untuk mengeras secara bersamaan. Salah satu jenis pada semen yang biasanya digunakan adalah jenis Semen Portland. Berdasarkan (SNI 15-2049-1994), Semen Portland secara umum terdiri dari tiga senyawa utama, yaitu oksida kalsium, oksida silica, dan alumina, selain dua senyawa lain yaitu sulfur dan besi. Semen Portland adalah semen yang dihasilkan berdasarkan dari hasil menggiling terak semen Portland utamanya yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama- sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

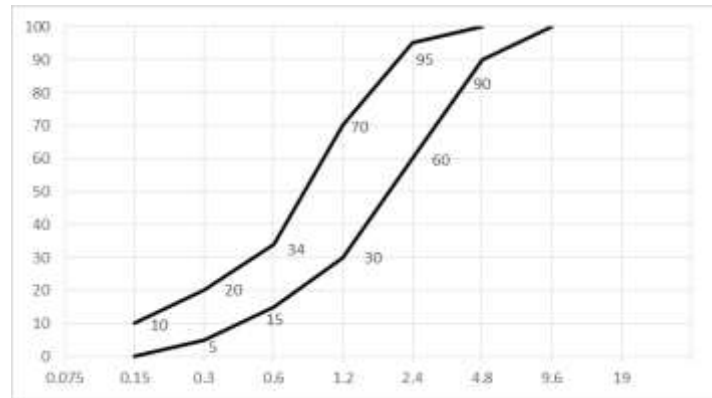
2.4.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang berasal dari hasil disintegrasi alami dari batuan alam atau pasir buatan. Menurut (SNI-03-2461-1991), agregat halus yang memenuhi persyaratan tidak boleh mengandung bahan kimia yang merusak dengan batasan kadar zat organik pada agregat tidak memperlihatkan warna yang lebih gelap dari warna standar.

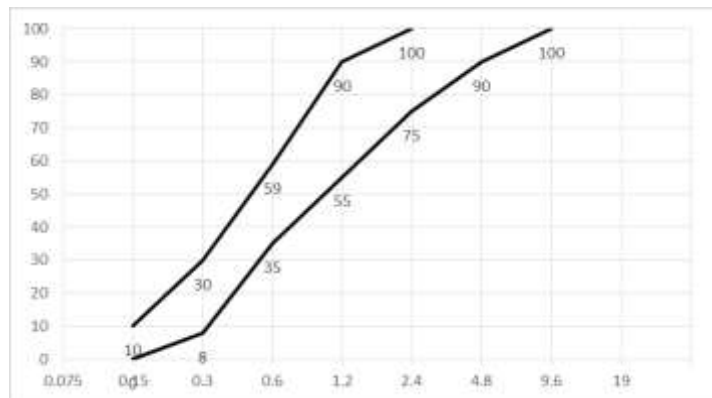
Secara umum agregat halus juga mempunyai beberapa persyaratan diantaranya adalah agregat halus terdiri dari butir butir tajam dan keras dan butir butir halus tersebut bersifat kekal yang artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Menurut (Huseiny dkk., 2020), Secara khusus, Pengujian agregat halus bertujuan untuk menentukan kebersihan pasir terhadap bahan organik dan lumpur, Pengujian material agregat halus terdiri dari penyerapan air, kadar air, kadar lumpur, Serta analisis saringan dan modulus butir halus.

Berikut adalah tabel dan grafik gradasi yang harus dipenuhi oleh agregat halus (pasir) berdasar SNI-03-2834-2000.

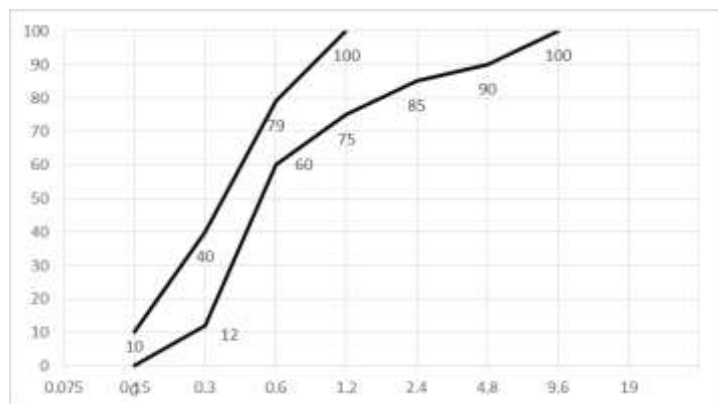
Grafik 2.1: Gradasi agregat halus zona 1 (SNI-03-2834-2000).



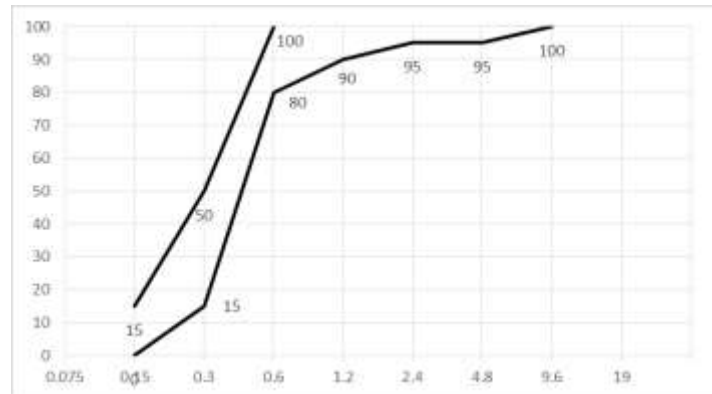
Grafik 2.2: Gradasi agregat halus zona 2 (SNI-03-2834-2000).



Grafik 2.3: Gradasi agregat halus zona 3 (SNI-03-2834-2000).



Grafik 2.4: Gradasi agregat halus zona 4 (SNI-03-2834-2000).



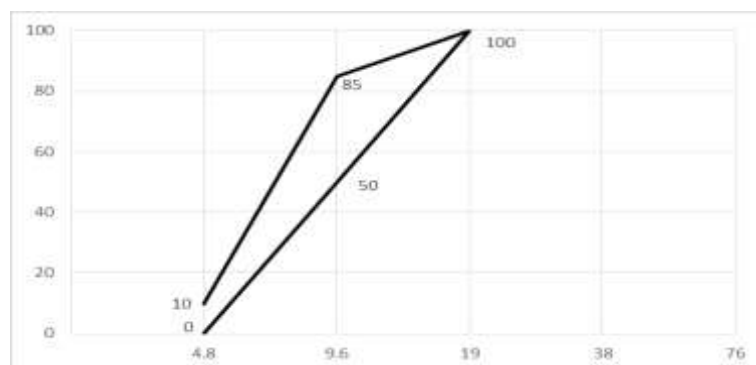
2.4.3 Agregat Kasar

Untuk mencapai modulus elastisitas beton yang diinginkan, dibutuhkan pemilihan agregat kasar yang tepat dan berkualitas. Dengan memilih agregat yang keras dan juga mempunyai sifat yang sesuai dapat megoptimalkan kekakuan dan kekuatan pada beton. Berdasarkan (SNI-03-2847-2002), agregat kasar adalah batu pecah yang diperoleh dari pemecah batu atau kerikil dari hasil disintegrasi alami dari batuan dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai dengan 40 mm.

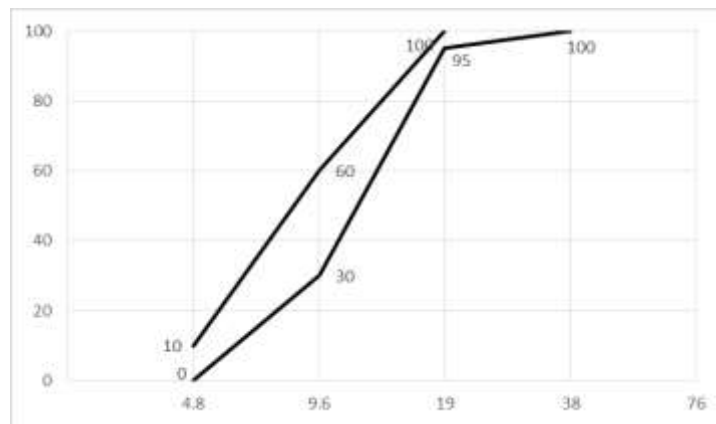
Dalam penggunaan pada agregat kasar harus memenuhi syarat yang diantaranya adalah tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, jika melebihi maka harus dicuci terlebih dahulu sebelum menggunakannya.

Berikut adalah tabel dan grafik gradasi yang harus dipenuhi oleh agregat halus (pasir) berdasar SNI-03-2834-2000:

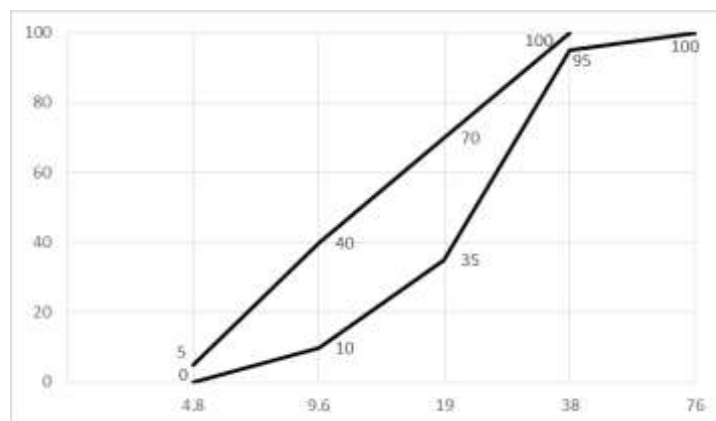
Grafik 2.5: Gradasi agregat kasar zona 1 (SNI-03-2834-2000).



Grafik 2.6: Gradasi agregat kasar zona 2 (SNI-03-2834-2000).



Grafik 2.7: Gradasi agregat kasar zona 3 (SNI-03-2834-2000).



2.4.4 Air

Air adalah salah satu material yang diperlukan pada beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Menurut (Nawy, 1990), Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kekuatannya dan dapat juga mengubah sifat-sifat semen.

2.5. Bahan Tambahan Beton

2.5.1 Biji Salak

Biji salak merupakan suatu bagian dari buah salak yang banyak dijumpai di tempat-tempat penghasil salak. Ciri ciri pada buah salak adalah berbentuk bulat dan berwarna putih saat masih muda dan kemudian menjadi coklat muda dan akhirnya berubah menjadi berwarna coklat tua dan keras. Saat ini pengolahan limbah biji salak masih belum bisa di olah secara maksimal, ada juga sebagian kecil orang yang memanfaatkan biji salak ini sebagai bahan pembuat minuman atau lebih dikenal dengan kopi biji salak, akan tetapi itu belum sebanding dengan limbah biji salak yang tersedia sehingga masih banyak biji salak yang dibuang. Biji salak juga banyak diteliti memiliki antioksidan yang tinggi. Dalam penelitian ini bahan tambah yang digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus adalah serbuk biji salak karena biji salak mengandung zat selulosa yang bisa meningkatkan nilai kuat tekan.

2.5.2 Additive Bestmittel

Additive *bestmittel* dalam penelitian ini sebagai pengganti semen yang mana merupakan formula khusus yang sangat ekonomis dalam proses pengecoran sehingga menjadikan beton lebih cepat keras dalam usia muda serta mengurangi pemakaian air pada saat pengecoran sehingga meningkatkan mutu/kekuatan beton. Dalam penelitian ini bahan *Additive* adalah bahan selain unsur pokok beton (air, semen, pasir dan kerikil), yang kemudian akan dicampur pada beton.

Tujuan dari menggunakan bahan tambahan ini adalah untuk mengubah satu atau lebih sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Berdasarkan (SK-SNI, S-18-1990-03) bahan *Additive Bestmittel* termasuk golongan V sebagai salah satu bahan untuk mempercepat pengerasan beton dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaannya terhadap mutu beton, terkait proses pengerasannya.

2.6. Penelitian Terdahulu

Adanya sejumlah penelitian yang terkait dengan pengaruh serbuk biji salak

dan zat *additive bestmittel* terhadap modulus elastisitas yang sudah dilakukan sebelumnya. Penelitian-penelitian inilah yang nantinya akan menjadi dasar dalam melakukan penelitian yang kemudian disatukan untuk mengetahui nilai modulus elastisitasnya. Berikut rangkuman dari beberapa penelitian terdahulu terkait serbuk biji salak dan zat *additive bestmittel*.

Tabel 2.1: Rangkuman penelitian terdahulu.

Jurnal 1	Pemanfaatan Limbah Biji Salak dan Tongkol Jagung Sebagai Campuran Beton yang Menghasilkan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Mutu Tinggi Ramah Lingkungan.
Nama Jurnal	Jurnal Proyek Teknik Sipil
Volume	Volume 1
Tahun	2018
Penulis	Sabrian Rizki Fernanda, Rizky Amelia Saputri Lay, Wildan Latif
Kesimpulan	Berdasarkan pembahasan terkait beton dengan campuran tongkol jagung dan biji salak dapat disimpulkan: 1 Berdasarkan dari data kuat tekan beton yang dihasilkan bahwa kuat tekan beton normal dan kuat tekan beton variasi persen serbuk biji salak yang didapat, yaitu: a. Beton normal didapat kuat tekan beton sebesar Mpa pada umur 7 hari dan Mpa pada umur 28 hari. b. Beton dengan penambahan serbuk biji salak sebesar 2,5% didapat kuat tekan sebesar 44,03 MPa pada umur 7 hari dan 24,88 MPa pada umur 28 hari. c. Beton dengan penambahan serbuk biji salak padi sebesar 4% didapat kuat tekan sebesar

	28,56 MPa pada umur 7 hari dan sebesar 26,58 pada umur 28 hari. 2 Berdasarkan dari data kuat tekan beton yang dihasilkan bahwa kuat tekan dengan campuran 10% abu tongkol jagung adalah 20 MPa dan kuat tarik sebesar 2,42 MPa, yang mana masih lebih rendah dari beton normal. 3 Total rata-rata pencampuran abu tongkol jagung dan biji salak sebesar 23,29. Hasil tersebut masih di bawah rata-rata beton normal namun masih bisa dijadikan beton konvensional.
--	---

Jurnal 2	Pengaruh Penambahan Limbah Biji Salak Sebagai Bahan Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton (<i>The Effect Of The Addition Of Salak Seed Waste As A Concrete Admixture On The Compressive Strength Of Concrete</i>).
Nama Jurnal	Jurnal Rekayasa Teknik Sipil.
Volume	Volume 3.
Tahun	2023.
Penulis	Ayu Tri Rezki, Destyah Rachmadani, Rahayu Widhiastuti, Rika Riyanti.
Kesimpulan	Berdasarkan data yang diperoleh nilai kuat tekan yang dihasilkan pada umur 7 hari yaitu beton normal sebesar 18,06 Mpa, beton dengan limbah biji salak 5% sebesar 17,81 Mpa, beton dengan limbah biji salak 10% sebesar 15,05 Mpa dan beton dengan limbah biji salak 15% sebesar 7,93 Mpa. Kuat tekan dengan limbah biji salak sebagai pengganti sebagian agregat kasar pada persentase

	5% memenuhi nilai kuat tekan yang direncanakan yaitu f'_c 16,9 Mpa sedangkan untuk persentase 10% dan 15% tidak memenuhi nilai kuat tekan yang direncanakan. Pada penelitian ini kuat tekan beton dengan limbah biji salak 5% mencapai nilai yang direncanakan. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya limbah biji salak yang digunakan limbah biji salak yang sudah dalam kondisi kering tetap, sehingga apabila tercampur dengan air, limbah biji salak tidak kembali ke bentuk awal.
--	---

Jurnal 3	Pengaruh Kuat Tekan Beton Dengan Limbah Biji Salak Kering Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar.
Volume	Volume 12.
Tahun	2022.
Penulis	Ma'mum Riyono, Wiji Lestarini, S.T., M.T. , Agus Juara, S.T., M.T.
Kesimpulan	Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut : 1 Dari hasil kuat tekan masing-masing komposisi, membuktikan bahwa semakin banyak jumlah yang digunakan maka semakin besar penurunan kuat tekan yang dihasilkan dan dengan variasi campuran. Terjadi penurunan pada sampel beton normal terhadap beton campuran, sehingga beton tidak layak digunakan dalam pembangunan. 2 Adanya penurunan kuat tekan beton dengan

	penambahan limbah biji salak kering sebagai pengganti sebagian agregat kasar. Tidak diperoleh nilai kuat tekan beton yang direncanakan, dimana nilai standar beton mutu K250 yaitu 20,75 MPa. 3 Semakin besar persentase penambahan limbah biji salak kering sebagai pengganti sebagian agregat kasar semakin besar pula angka penurunan hasil uji kuat tekan beton.
--	--

Jurnal 4	Pengaruh Penambahan Zat <i>Adiitive (Bestmittel)</i> 0,5%, Dengan Variasi Abu Sekam Padi (ASP) 5%, 10%, Dan 15% Terhadap Kuat Tekan Pada Beton Mutu Tinggi.
Penulis	Yoga Nugraha, Fadilawaty Saleh
Kesimpulan	1 Dengan adanya penambahan abu sekam padi dan Bestmittel pada beton dapat meningkatkan kuat tekan beton yang lebih tinggi, dari 3 variasi 5% ; 10% ; dan 15% dengan tambahan zat additive (Bestmittel) 0,5% diperoleh kuat tekan rata-rata yaitu sebesar 32,23 Mpa; 31,84 Mpa dan 27,71 Mpa dengan nilai standar deviasi 5,381 Mpa; 3,541 Mpa; dan 4,817 Mpa, dapat disimpulkan bahwa dalam penelitian ini hasil kuat tekan yang diperoleh belum sesuai dengan yang direncanakan yaitu beton mututinggi. 2 Kuat tekan maksimal terjadi pada variasi abu sekam padi 5% dengan tambahan zat additive (Bestmittel) 0,5% dengan nilai slump 4 cm dan 6 cm sebesar 39,94 Mpa sedangkan kuat

	tekan minimum terjadi pada variasi 15% dengan tambahan zat additive (Bestmittel) 0,5% sebesar 18,84 Mpa. Beton dengan campuran abu sekam padi pada kadar 5% ke 10% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 1,23% dan penurunan juga terjadi pada kadar 10% ke 15% sebesar 14,90%.
--	---

Jurnal 5	Analisis Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambah <i>Reduced Water</i> Dan <i>Accelerated Admixture</i>
Penulis	Rahmat, Irna Hendriyani, Moh. Syaiful Anwar
Kesimpulan	Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan kuat tekan beton variasi yang terendah adalah kuat tekan beton yang menggunakan bahan tambah sebesar 0,2% yaitu 27,66 MPa dan kuat tekan tertinggi adalah kuat tekan beton yang menggunakan bahan tambah sebesar 0,6% yaitu 31,44 MPa. Dengan menambahkan bahan additive bestmittel sebesar 0,2%, 0,4%, dan 0,6% berat semen dan air, selain meningkatkan kuat tekannya dapat mempercepat proses pengerasan beton dan bisa dicapai pada umur beton 7 hari hal ini sangat bermanfaat untuk pekerjaan konstruksi dengan jadwal yang ketat. Dari perbandingan kuat tekan beton dapat dilihat bahwa pada umur perawatan 7 dan 14 hari kuat tekan beton dengan bahan tambah larutan sebesar 0,2%, 0,4%, dan 0,6% dari berat

	semen lebih besar dibandingkan dengan beton normal.
--	---

Jurnal 6	Pengaruh kadar <i>Bestmittel</i> pada adukan beton serat benderat 2% terhadap percepatan kekuatan beton normal dengan FAS 0,4%
Nama Jurnal	Civil Engineering and Technology Journal.
Volume	Volume 3.
Tahun	2021.
Penulis	Nurokhman
Kesimpulan	Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil Kesimpulan sebagai berikut: 1. Penambahan kadar bestmettel pada beton serat 2% ada kecenderungan makin naik kuat tekannya dan maksimal dicapai pada kadar 3% sebesar 28,60 MPa atau lebih tinggi 108,497% dari beton normal pada umur 7 hari. Sedangkan pada umur 14 hari kuat tekan mencapai 33,06 MPa atau lebih tinggi 125,132% dari beton normal. 2. Kuat lentur pada umur 7 hari mengalami kenaikan kuat lentur maksimal pada variasi benda uji 0,3% sebesar 5,664 MPa atau lebih tinggi 105,142% dari beton normal dan pada umur 14 hari mencapai 5,857 MPa atau lebih tinggi 105,798% dari beton normal.

	3. Kesetaraan kuat tekan pada umur 28 hari 0% sebesar 30,022 MPa dapat dicapai pada umur kurang dari 14 hari dengan penambahan variasi bestmittel 0,3% yaitu 33,06 MPa. 4. Terdapat dua perbedaan terhadap nilai modulus elastisitas. Nilai modulus elastisitas yang pertama menggunakan pendekatan rumus 3.2. Didapat modulus elastisitas tertinggi pada benda uji 0,5% yaitu 7404,860 MPa, Sedangkan yang kedua menggunakan pendekatan rumus 3.3 didapat modulus elastisitas tertinggi pada benda uji 0% yaitu 18690,996 Mpa. .
--	--

Jurnal 7	Pengaruh Penambahan Serat Bendrat, Abu Sekam Padi dan <i>Bestmittel</i> terhadap Kuat ekan, Kuat Tarik Belah dan Modulus Elastisitas
Volume	Volume 4
Tahun	2016.
Penulis	Slamet Prayitno, Sugiyarto, Febryan Rochmadhona Nara Murti
Kesimpulan	Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut : 1. Kuat tekan beton berserat kawat bendrat dengan bahan tambah abu sekam padi dan bestmittel menggunakan mix design metode Dreux dengan kadar serat bendrat sebesar 0 %; 0,5%; 1 %; 1,5 %; dan 2%, yang diuji pada umur 14 hari

	berturut-turut adalah 35,95 MPa; 36,52 MPa; 38,78 MPa; 31,42 MPa. Pada kadar penambahan serat sebesar 1% menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 44,07 MPa atau terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 7,87% dibandingkan dengan beton tanpa serat. Berdasarkan grafik fungsi polynomial, kadar serat optimum terjadi pada kadar serat 0,56% dengan nilai kuat tekan sebesar 37,22 Mpa. 2. Kuat tarik belah rata-rata tanpa serat bendrat pada umur 14 hari sebesar 4,14 MPa, sedangkan beton berserat bendrat dengan persentase serat 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2% sebesar 4,25 MPa; 4,35 MPa; 3,26 MPa; dan 2,41 Mpa. Pada kadar penambahan serat sebesar 1% menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 4,35 MPa atau terjadi kenaikan kuat tarik belah sebesar 5,13% dibandingkan dengan beton tanpa serat. Berdasarkan grafik fungsi polynomial, kadar serat optimum terjadi pada kadar serat 0,5% dengan nilai sebesar 4,35 MPa. 3. Nilai modulus elastisitas dengan kadar serat bendrat sebesar 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2% yang diuji pada umur 14 hari adalah 2844,37 MPa; 38452,64 MPa; 50048,40 MPa; 27428,46 MPa dan 20029,20 MPa. Pada beton dengan kadar penambahan serat sebesar 1% menghasilkan nilai modulus elastisitas maksimum sebesar
--	---

	50048,40 MPa atau terjadi kenaikan modulus elastisitas sebesar 75,98 % dibandingkan dengan beton tanpa serat. Berdasarkan grafik fungsi polynomial, kadar serat optimum terjadi pada kadar serat 0,859% dengan nilai sebesar 43135,61 MPa
--	--

Jurnal 8	Pengaruh Penambahan Serbuk Biji Salak Sebagai Filler Semen Terhadap Kuat Tekan Beton
Penulis	Dewi Sri Rahayu
Tahun	2018
Kesimpulan	Dari penelitian yang telah dilakukan di LABORATORIUM Teknik Sipil UMSU dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut: 1 Berdasarkan dari data kuat tekan beton yang dihasilkan bahwa kuat tekan beton normal dan kuat tekan beton variasi persen serbuk biji salak yang didapat, yaitu: a. Beton normal didapat kuat tekan beton sebesar 42,35 Mpa pada umur 7 hari dan 38,45 Mpa pada umur 28 hari. b. Beton dengan penambahan serbuk biji salak sebesar 2% didapat kuat tekan sebesar 41,94 MPa pada umur 7 hari dan 25,31 Mpa pada umur 28 hari. c. Beton dengan penambahan serbuk biji salak sebesar 4% didapat kuat tekan sebesar 31,06 MPa pada umur 7 hari dan 29,39 Mpa pada umur 28 hari. d. Beton dengan penambahan serbuk biji salak pada sebesar 6% didapat kuat tekan sebesar

	2,76 MPa pada umur 7 hari dan 2,55 pada umur 28 hari. 2 Pengaruh penambahan limbah biji salak terhadap kuat tekan beton normal mengalami penurunan nilai yaitu: a. Variasi 2% dengan nilai penurunan : - Pada umur 7 hari = 0,41 MPa - Pada umur 28 hari = 13,14 MPa b. Variasi 4% dengan nilai penurunan : - Pada umur 7 hari = 11,29 MPa - Pada umur 28 hari = 9,06 MPa c. Variasi 6% dengan nilai penurunan : - Pada umur 7 hari = 39,60 MPa - Pada umur 28 hari = 35,90 Mpa 3 Akibat penambahan serbuk biji salak, memberikan penurunan nilai kuat tekan. 4 Persentasi nilai penurunan karena pengaruh limbah biji salak terhadap kuat tekan yaitu : a. Variasi 2% dengan persentase penurunan : - Pada umur 7 hari = 0,97 % - Pada umur 28 hari = 34,17 % b. Variasi 4% dengan persentase penurunan : - Pada umur 7 hari = 26,66 % - Pada umur 28 hari = 23,56 % c. Variasi 6% dengan persentase penurunan : - Pada umur 7 hari = 93,51 % - Pada umur 28 hari = 93,37 % 5 Komposisi untuk serbuk biji salak belum dapat mencapai nilai kuat tekan yang di targetkan yaitu dapat melebihi nilai kuat tekan beton normal, akan tetapi pada beton variasi 2% dan 4 % di peroleh hasil yang memenuhi
--	--

	persyaratan kuat tekan.
--	-------------------------

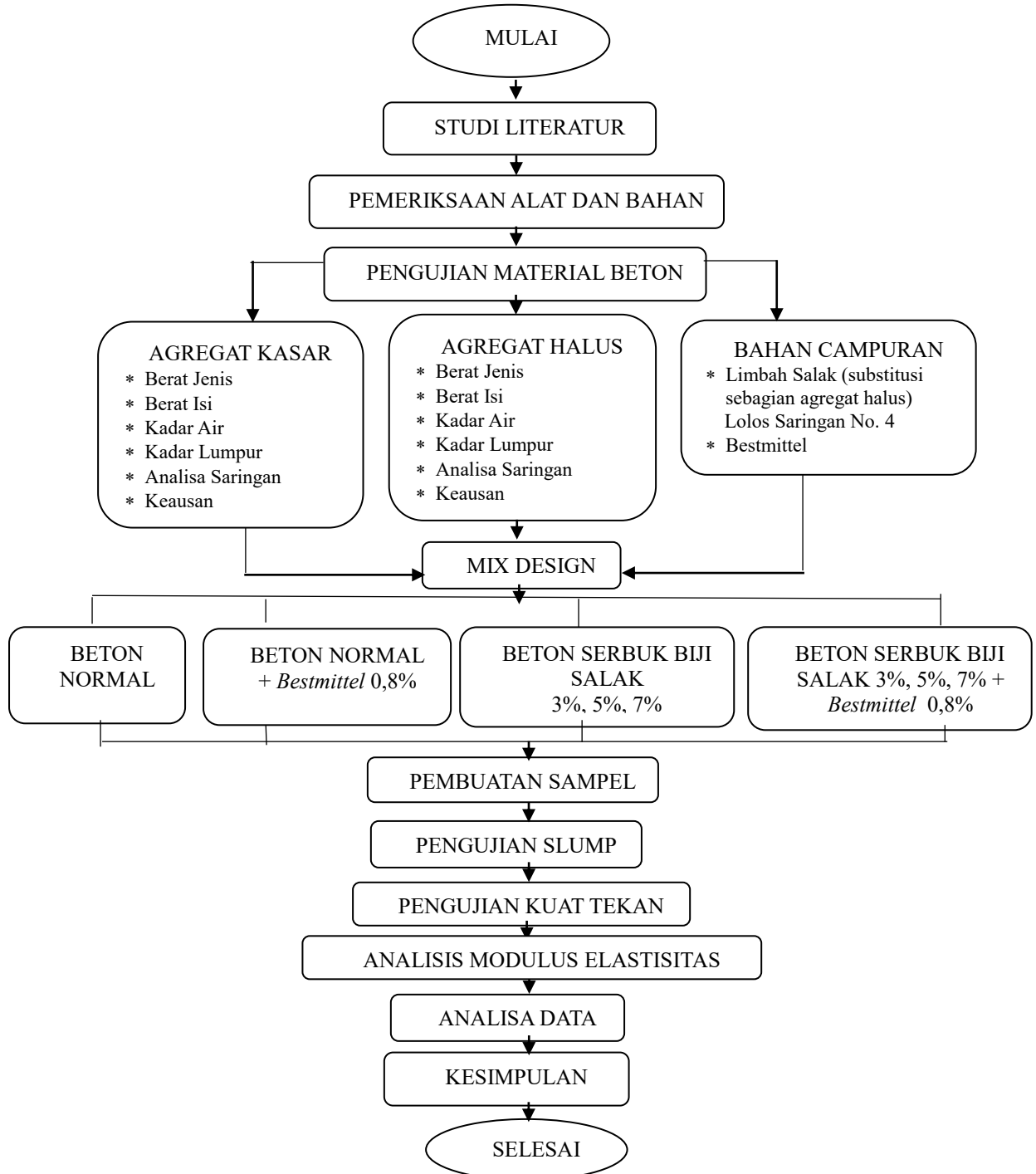
Jurnal 9	Analisis Kuat Tekan Beton Dengan <i>Additive Bestimittel</i> Dan Pecahan Gerabah Sebagai Pengganti Sebagian Pasir
Penulis	Reza Dananjaya
Tahun	2013
Kesimpulan	1. Peningkatan kuat tekan maksimal terjadi pada variasi substitusi gerabah 20% dan Bestimittel 0,6% yaitu 22,64 Mpa untuk fas 0,4 pada umur 14 hari, variasi substitusi gerabah 80% dan Bestimittel 0,6% yaitu 21,65 Mpa untuk fas 0,45 pada umur 14 hari. 2. Ditinjau dari beton normal atau pada variasi substitusi 0%, kuat tekan pada substitusi gerabah 20% dan Bestimittel 0,6% fas 0,4 pada umur 14 hari mengalami kenaikan sebesar 11,29%, dan variasi substitusi gerabah 80% dan Bestimittel 0,6% untuk fas 0,45 pada umur 14 hari mengalami kenaikan sebesar 7,02 %. 3. Pada penelitian ini penggunaan pecahan gerabah sebagai pengganti sebagian pasir dapat meningkatkan kuat tekan beton, pada fas 0,4 kuat tekan beton maksimal terjadi pada variasi 20% dan pada fas 0,45 kuat tekan beton maksimal terjadi pada variasi 80%. 4. Pada penelitian ini penggunaan additive Bestimittel yang dicampur dengan pecahan gerabah mengakibatkan workability menurun, hal ini disebabkan pecahan gerabah tidak dalam kondisi Saturated Surface Dry (SSD).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Bagan Air Penelitian

Berikut adalah bagan air dari pelaksanaan penelitian ini.



Gambar 3.1 : Bagan alir penelitian.

3.2. Metode Penelitian

Metode penelitian dapat diartikan sebagai proses atau cara untuk mendapatkan data yang akan digunakan dengan tujuan untuk keperluan penelitian. Menurut Nawai (1996), Metodologi penelitian yaitu ilmu tentang metode, dan bilamana dirangkai menjadi metodologi penelitian, maknanya adalah ilmu tentang metode yang dapat dipergunakan dalam melakukan kegiatan penelitian.

Dalam Melakukan penelitian ini, metode penelitian yang dilakukan terhadap penggunaan serbuk biji salak dan *additive bestmittel* sebagai pengganti sebagian agregat halus ini adalah metode *Experiment* yang dimana dilakukan percobaan yang bertujuan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan.

3.3. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara di Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara.

3.4. Material Penyusun Beton

Material yang akan digunakan untuk melakukan penelitian ini antara lain ialah semen, agregat halus, agregat kasar, air, limbah biji salak dan bahan tambah zat *additive*.

3.4.1 Semen

Semen yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah semen portland, jumlah semen disesuaikan dengan analisa yang sudah ada.

3.4.2 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir.

3.4.3 Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah kerikil.

3.4.4 Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.4.5 Limbah Biji Salak

Limbah Biji Salak yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Desa Huta Koje, Kec. Padangsidempuan Tenggara, Kota Padang Sidempuan, Sumtera Utara. Biji salak dibentuk menjadi serbuk dengan cara :

- 1 Bersihkan limbah biji salak yang sudah disiapkan
- 2 Jemur biji salak dibawah terik cahaya matahari
- 3 Setelah biji salak tersebut kering, lalu sangrai biji salak tersebut hingga berwarna hitam dan rapuh
- 4 Diamkan biji salak pada suhu ruangan
- 5 Setelah itu haluskan biji salak dengan palu sampai berbentuk serbuk
- 6 Kemudian Saring serbuk biji salak dengan saringan no. 4
- 7 Selesai.



Gambar 3.2 : Limbah biji salak (google).



Gambar 3.3 : Serbuk biji salak setelah disaring (Dewi, 2018).

3.4.6 Zat Additive

Bahan tambah yang digunakan dalam penelitian ini adalah zat additive *Bestmittel*, berasal dari toko bangunan ataupun *Platform* belanja online.



Gambar 3.4: *Bestmittel* (Google).

3.5. Jumlah Benda Uji

Benda uji berjumlah sebanyak 21 buah yang memiliki bentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan rincian yang tertera pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Jumlah benda uji.

No.	Variasi	Jumlah Benda Uji
1.	Beton Normal	4
2.	Beton Normal + <i>Bestmittel</i>	4
3.	Beton Serbuk Biji Salak 3%	4
	Beton Serbuk Biji Salak 5%	4
	Beton Serbuk Biji Salak 7%	4
4.	Beton Serbuk Biji Salak 3% + <i>Bestmittel</i> 0,8%	4
	Beton Serbuk Biji Salak 5% + <i>Bestmittel</i> 0,8%	4
	Beton Serbuk Biji Salak 7% + <i>Bestmittel</i> 0,8%	4
	Total	32

Tabel 3.2: Presentase campuran beton.

No.	Variasi	Agregat Kasar (%)	Agregat Halus (%)	Semen (%)	Air (%)	Serbuk Biji Salak (%)	<i>Bestmittel</i> (%)
1.	BN	100	100	100	100	0	0
2.	BN + B 0,8%	—	100	99,2	100	0	0,8
2.	BS 3%	100	97	100	100	3	0
3.	BS 5%	100	95	100	100	5	0
4.	BS 7%	100	93	100	100	7	0
5.	BS 3% + B 0,8%	100	93	99,2	100	3	0,8
6.	BS 5% + B 0,8%	100	95	99,2	100	5	0,8
7.	BS 7% + B 0,8%	100	93	99,2	100	7	0,8

3.6. Langkah Langkah Pengujian

Setelah semua material material yang dibutuhkan sudah tersedia maka langkah yang akan dilakukan untuk selanjutnya ialah pengujian. Sebelum pengujian material dilakukan, terlebih dahulu harus memerhatikan material tersebut bahwasanya tidak tercampur dengan bahan bahan yang lain agar proses pengujian yang akan dilakukan berjalan dengan lancar.

3.6.1. Persiapan Alat dan Bahan

Langkah pertama yang harus dilakukan sebelum melakukan pengujian adalah mempersiapkan alat dan bahan. Peralatan dan bahan dalam pengujian yaitu :

- 1 Peralatan

- Ayakan

Satu set saringan agregat yang digunakan pada pengujian analisa saringan sesuai standar.

- Timbangan Digital

Sebagai alat untuk menaksir berat dari material yang digunakan.

- Oven

Sebagai alat untuk mengeringkan material.

- Cetakan Silinder

Sebagai alat untuk mencetak beton.

- *Alat Slump Test*

Satu set alat slump test sesuai standar.

- *Mixer*

Sebagai alat untuk mengaduk setelah bahan dicampur.

- Mesin Uji Kuat Tekan

Sebagai alat untuk menguji kuat tekan dari beton.

- Alat Pendukung

Alat pendukung dalam pengujian seperti ember, sekop, plastik, dan lain sebagainya.

2 Bahan

- Agregat Kasar

Bahan agregat kasar yaitu kerikil.

- Agregat Halus

Bahan agregat halus yaitu pasir dan serbuk biji salak.

- Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen portland.

- *Bestmittel*

Bahan tambah sebagai pengikat berupa zat kimia.

3.6.2. Pengujian Analisa Saringan

Tujuan dari melakukan pengujian analisa saringan adalah menentukan material berdasarkan ukurannya sesuai dalam suatu komposisi campuran beton tertentu. Pengujian analisa saringan dilakukan dengan cara mengayak agregat halus dan agregat kasar yang sudah disiapkan sesuai urutannya, lalu melakukan penimbangan material dan mencatat hasilnya agar bisa mendapatkan data data gradasi pada agregat sehingga diketahui nilai modulusnya. Pemeriksaan dilakukan dengan menggunakan cara kerja sesuai pada SNI 03-1968-1990.

3.6.3. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

Tujuan dari melakukan pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai berat jenis dan penyerapan dari agregat halus dan agregat kasar. Berikut adalah langkah langkah kerja pengujian pada tahap ini:

A. Agregat Kasar

- 1 Rendam material di dalam air hingga 24 jam.
- 2 Selanjutnya buang air rendaman dan saring material dengan menggunakan serbet.
- 3 Menimbang material dan mencatat berat pada material.
- 4 Masukkan material tersebut kedalam oven pada temperatur $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
- 5 Keluarkan material dari dalam oven lalu diamkan hingga suhu ruangan.
- 6 Kemudian material tersebut ditimbang kembali dan dicatat hasilnya.

Rumus untuk menghitung berat jenis dan penyerapan agregat kasar adalah sebagai berikut :

$$\text{Bulk gravity SSD (Berat jenis SSD)} = \frac{A}{A-B} \quad (3.1)$$

$$\text{Apparent specific gravity (Berat jenis semu)} = \frac{C}{C-B} \quad (3.2)$$

$$\text{Absorption (penyerapan)} = \frac{C}{A-B} \times 100\% \quad (3.3)$$

Dimana :

A = Berat sampel SSD kering permukaan jenuh.

B = Berat sampel SSD jenuh.

C = Berat sampel SSD kering oven.

B. Agregat Halus

- 1 Melakukan penimbangan pada material kondisi *SSD* sesuai dengan berat sampel yang direncanakan.
- 2 Lalu ditimbang dan mencatat berat piknometer.
- 3 Setelah itu masukkan air kedalam piknometer dan timbang kembali.
- 4 Kemudian material dimasukkan kedalam piknometer yang sudah berisi air dan panaskan selama 15 menit sambil menggoyangkannya setiap 5 menit agar gelembung udara keluar.
- 5 Timbang kemudian keluarkan material dari piknometer.
- 6 Keringkan material dengan menggunakan oven selama 24 jam.
- 7 Setelah itu keluarkan material dari oven dan timbang, lalu catat hasilnya.

Rumus untuk menghitung berat jenis dan penyerapan agregat kasar adalah sebagai berikut :

$$\text{Bulk gravity dry (Berat jenis kering)} = \frac{E}{B+D-C} \quad (3.4)$$

$$\text{Bulk gravity SSD (Berat jenis SSD)} = \frac{B}{B+D-C} \quad (3.5)$$

$$\text{Apparent specific gravity (Berat jenis semu)} = \frac{E}{E+D-C} \quad (3.6)$$

$$\text{Absorption (Penyerapan)} = \frac{B-E}{E} \times 100\% \quad (3.7)$$

Dimana :

B = Berat sampel *SSD* kering permukaan jenuh.

C = Berat sampel *SSD* didalam piknometer penuh air.

D = Berat piknometer penuh air.

E = Berat sampel *SSD* kering oven.

3.6.4. Pengujian Berat Isi Agregat

Tujuan dalam pengujian isi agregat adalah untuk menentukan nilai kepadatan massal pada agregat. Adapun langkah-langkah pengujian berat isi agregat adalah sebagai berikut :

- 1 Memasukkan material kondisi kering oven kedalam wadah baja sebanyak 1/3 tinggi wadah lalu menusuknya hingga 25 kali menggunakan tongkat pemadat.

- 2 Lakukan seperti langkah 1 untuk material 2/3 dan penuh.
- 3 Kemudian material ditimbang lalu dicatat hasilnya.

Berikut rumus untuk mencari berat isi :

$$\text{Berat Isi} = \frac{W_3}{V} \quad (3.8)$$

3.6.5. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui nilai kandungan air yang terdapat di pori-pori agregat. Pengujian kadar air ini dilakukan sesuai ketentuan SNI 1971-2011. Adapun langkah-langkah pengujian kadar air pada agregat kasar dan halus sebagai berikut :

- 1 Menyiapkan agregat lalu menimbanginya sesuai yang direncanakan.
- 2 Memasukkan agregat ke dalam wadah.
- 3 Kemudian timbang wadah yang telah berisi agregat.
- 4 Masukkan wadah ke dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ selama 24 jam.
- 5 Keluarkan wadah dari oven dan dinginkan di suhu ruangan.
- 6 Timbang kembali wadah berisi agregat yang sudah dingin.

Berikut rumus menghitung kadar air :

$$\text{Kadar Air} = \frac{\text{Berat Air}}{\text{Berat Sampel Kering Oven}} \times 100\% \quad (3.9)$$

3.6.6. Pengujian Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur yang terdapat pada agregat halus dan kasar. Pengujian kadar lumpur berdasarkan ketentuan SNI S-04-1988, 1989 tentang kadar lumpur agregat. Berikut langkah langkah pengujiannya :

- 1 Mempersiapkan agregat yang akan diuji.
- 2 Melakukan penimbangan pada agregat.
- 3 Memasukkan agregat yang telah ditimbang ke dalam wadah.
- 4 Mencuci sampel hingga bersih lalu masukkan ke dalam wadah dan timbang kembali.

- 5 Masukkan wadah ke dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
- 6 Setelah itu keluarkan dan dinginkan di suhu ruangan.
- 7 Kemudian hitung berat kotor agregat.

Berikut rumus perhitungan kadar lumpur :

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{C}{A} \times 100\% \quad (3.10)$$

3.6.7. Desain Komposisi Campuran (*Mix Design*)

Mix Design bertujuan untuk mengetahui presentase pada tiap komponen beton yang direncanakan sebelum beton akan dibuat. Proses *Mix Design* ini dilakukan sesuai ketentuan pada SNI 2834-2000. Adapun langkah-langkah perencanaannya sebagai berikut :

- 1 Menentukan kekuatan beton sesuai yang direncanakan.
- 2 Menentukan nilai FAS (Faktor Air Semen).
- 3 Menentukan nilai slump.
- 4 Menentukan jumlah air yang akan digunakan berdasarkan nilai slump dan ukuran maksimum pada agregat.
- 5 Menentukan nilai semen yang dibutuhkan berdasarkan FAS, ukuran agregat dan nilai slump.
- 6 Menentukan volume tiap agregat.
- 7 Berat yang diperoleh dari masing-masing agregat dikurang dengan presentase bahan campuran rencana.

3.6.8. *Slump test*

Slump test bertujuan untuk mengetahui tingkat kondisi kekentalan beton segar sebelum beton tersebut dicetak. Adapun langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut :

- 1 Mempersiapkan cetakan yang sudah dibersihkan dan letakkan diatas permukaan datar.
- 2 Memasukkan beton segar ke dalam kerucut abrams mulai dari 1/3, 2/3 hingga penuh secara bertahap.

- 3 Setelah kerucut abrams penuh kemudian rojok setiap bagian.
- 4 Mengukur jarak tinggi jatuh beton menggunakan penggaris lalu dicatat.

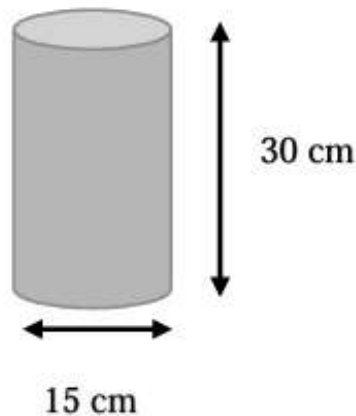
Tabel 3.3: Nilai *slump* berdasarkan SNI 7656-2012.

Tipe Konstruksi	Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah.	75	25
Balok dan dinding bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton massa	50	25

3.6.9. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan setelah presentase kebutuhan masing-masing bahan penyusun beton telah didapatkan. Benda uji ini akan dicetak pada cetakan silinder dengan diameter 15cm dan tinggi 30cm. Adapun langkah-langkah pembuatan benda uji sebagai berikut :

- 1 Mempersiapkan mesin *Mixer* beton yang akan digunakan
- 2 Memasukkan semua bahan campuran beton kedalam *Mixer*.
- 3 Memasukkan air sesuai takaran yang dibutuhkan sesuai perhitungan *Mix Design* dengan gelas ukur.
- 4 Nyalakan mesin *Mixer* hingga semua bahan tercampur.
- 5 Menghitung nilai slump dari beton tersebut.
- 6 Tuangkan beton segar kedalam cetakan mulai dari 1/3, 2/3 dan penuh kemudian dirojok sebanyak 25 kali.
- 7 Diamkan beton selama 24 jam hingga mengeras.



Gambar 3.5: Benda uji silinder (google).

3.6.10. Perawatan (*curing*) Benda Uji

Perawatan benda uji dilakukan bertujuan untuk menjaga kualitas beton tersebut, setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan kemudian melakukan perendaman benda uji selama 28 hari lalu dikeringkan. Perawatan benda uji dilakukan sesuai ketentuan pada SNI 2493-2011.

3.6.11. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan mesin uji kuat tekan yang bertujuan untuk menentukan nilai kuat tekan beton sesuai dengan yang direncanakan. Melalui mesin kuat tekan beton tersebut dapat diketahui nilai gaya yang mampu ditahan oleh beton tersebut. Pengujian kuat tekan beton dilakukan sesuai ketentuan pada SNI 1974-2011. Berikut nilai kuat tekan :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.11)$$

Dimana :

$f'c$ = Kuat Tekan Beton (Mpa)

P = Gaya yang Bekerja (N)

A = Luas Penampang Benda Uji (mm^2)



Gambar 3.6: Mesin uji kuat tekan beton (google).

3.6.12. Analisa Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton adalah perbandingan antara tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk beton untuk kembali ke bentuk semula setelah diberi deformasi. Analisa modulus elastisitas pada penelitian ini dilakukan pada benda uji dengan umur 14 dan 28 hari. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai modulus elastisitas suatu beton. Standar yang dipakai dalam pengujian ini adalah SNI 2847-2019. Analisa modulus elastisitas tersebut menggunakan persamaan,

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} \quad (3.9)$$

Berikut adalah keterangan untuk persamaan di atas:

E = Modulus elastisitas beton

$f'c$ = Kuat tekan beton

BAB 4

PEMBAHASAN DAN HASIL

4.1 Data Analisa Pemeriksaan Material Agregat

Berdasarkan hasil pengujian material agregat, data-data hasil pemeriksaan dibutuhkan dalam merencanakan sampel beton yang akan dibuat sesuai dengan tahapan pemeriksaan yang sudah terlampir di BAB 3. Data tersebut dapat dilihat dari Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Hasil pemeriksaan agregat.

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil
1	Analisa Saringan Agregat Kasar	Daerah gradasi agregat kasar maksimum 20 mm
2	Analisa Saringan Agregat Halus	Daerah gradasi zona 2 : Pasir agak kasar
3	Modulus Kehalusan Agregat Kasar	7,49
4	Modulus Kehalusan Agregat Halus	3,02
5	Berat Jenis Agregat Kasar	2,64 gr/cm ³
6	Berat Jenis Agregat Halus	2,45 gr/cm ³
7	Penyerapan Agregat Kasar	0,25 %
8	Penyerapan Agregat Halus	2,56 %
9	Berat Isi Agregat Kasar	1,72 gr/cm ³
10	Berat Isi Agregat Halus	1,35 gr/cm ³
11	Kadar Air Agregat Kasar	1,01 %
12	Kadar Air Agregat Halus	3,74 %
13	Kadar Lumpur Agregat Kasar	0,8 %

Tabel 4.1: *Lanjutan.*

14	Kadar Lumpur Agregat Halus	3,7 %
15	Nilai Slump Rencana	75-100 mm

4.2 Pemeriksaan Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Binjai, Pemeriksaan agregat kasar bertujuan untuk memastikan agregat kasar yang akan digunakan dalam pembuatan sampel beton dapat memenuhi syarat atau tidak memenuhi syarat. Dalam pemeriksaan agregat kasar meliputi beberapa pengujian yang akan dilakukan yaitu:

- 1) Pengujian Analisa Saringan.
- 2) Pengujian Berat Jenis.
- 3) Pengujian Berat Isi.
- 4) Pengujian Kadar Air.
- 5) Pengujian Kadar Lumpur.

4.2.1 Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian analisa saringan agregat kasar termasuk cara kerja, alat dan bahannya sesuai dengan SNI 03-1968-1990 dan Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang analisa agregat kasar. Adapun hasil pengujian tertera pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Pemeriksaan analisa saringan agregat kasar.

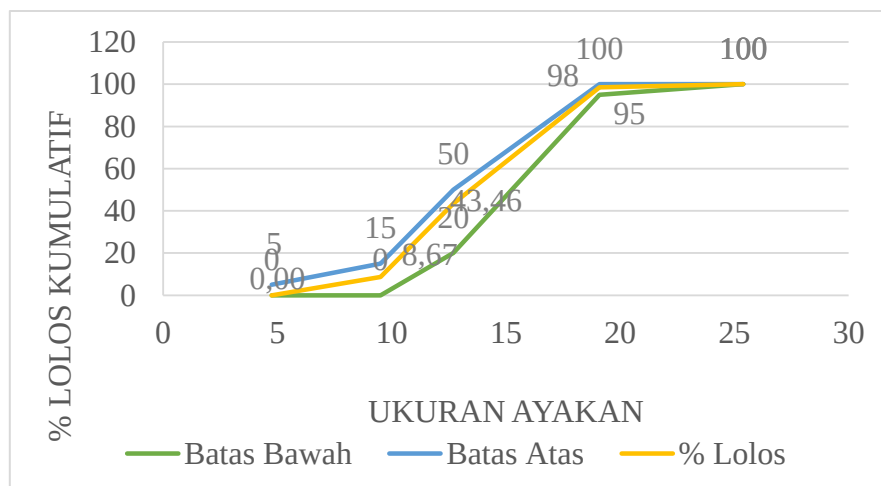
Ukuran Ayakan	Retained Fraction				Cumulative		Batas Zona	
	Sampel 1	Sampel 2	Total		Berat Tertahan	Berat Lolos		
mm	gr	gr	gr	%	%	%	Min	Max
25.4	0	0	0	0	0	100	100	100

19.1	22	16	38	1.52	1.52	98	95	100
------	----	----	----	------	------	----	----	-----

Tabel 4.2: *Lanjutan.*

Ukuran Ayakan	Retained Fraction			% Berat Tertahan	Cumulative		Batas Zona	
	Sampel 1	Sampel 2	Total		Berat Tertahan	Berat Lolos		
12.7	682	689	1371	55.02	56.54	43.46	20	50
9.52	425	442	867	34.79	91.33	8.67	0	15
4.75	120	96	216	8.67	100.00	0.00	0	5
Pan	0	0	0	0.00	100.00	0.00	0	0
Jumlah	1249	1243	2492		749.3981			
MHB	7.49							

Berdasarkan pemeriksaan dapat diketahui nilai Modulus halus Butir (MHB) sebesar 7,49. Umumnya agregat kasar memiliki nilai sebesar 5-8 berdasarkan ASTM C136, maka dari nilai yang didapat agregat kasar yang akan digunakan memenuhi persyaratan. Pada tabel juga tertera ukuran maksimum agregat kasar ang digunakan adalah sebesar 20 mm, berikut hasil ukuran maksimum agregat yang tertera dalam bentuk grafik.



Gambar 4.1 : Gradasi grafik agregat kasar.

4.2.2 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian ataupun pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar berdasarkan SNI 1969 2016 dan Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar. Hasil pengujian terdapat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 : Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar.

Nama Contoh		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
<i>Wt of SSD sample in Air</i> (Berat contoh (SSD) kering permukaan jenuh) (A)	A	2402	2480	2441
<i>Wt of SSD sample in Water</i> (Berat contoh (SSD) didalam air) (B)	B	1428	1472	1450
<i>Wt of Oven Dry Sample</i> (Berat contoh (SSD) kering oven (110°C) Sampai Konstan (C))	C	2396	2474	2435
<i>Bulk Sp. Gravity-SSD</i> (Berat jenis contoh SSD)	$\frac{A}{A - B}$	2.466	2.460	2.46
<i>Bulk Sp. Gravity-Dry</i> (Berat Jenis contoh kering)	$\frac{C}{A - B}$	2.460	2.454	2.46
<i>Apparent Sp. Gravity-Dry</i> (Berat jenis contoh semu)	$\frac{C}{C - B}$	2.47521	2.469062	2.47
Penyerapan air (%)	$\frac{A - C}{C} \times 100$	0.25	0.24	0.25

Hasil pengujian yang tertera pada tabel dapat diketahui bahwa Berat Jenis Agregat Kasar dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) dengan nilai rata-rata yaitu 2,46. Nilai Berat Jenis yang diizinkan berkisar 2,2 - 2,9 dimana nilai yang

didapat diizinkan untuk digunakan. Penyerapan air dari hasil pengujian didapaat sebesar 0,25%.

4.2.3 Berat Isi Agregat Kasar

Pengujian Berat Isi Agregat Kasar sesuai dengan SNI 03-4804-1998 dan Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang Berat Isi Agregat Kasar. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 : Pemeriksaan berat isi agregat kasar.

Keterangan	Notasi	Persamaan	Satuan	Cara Lepas	Cara Tusuk	Cara Goyang
Berat Sampel + Wadah	W1		gr	23359	24231	24325
Berat Wadah	W2		gr	5300	5300	5300
Berat Sampel	W3	W1-W3	gr	18059	18931	19025
Volume Wadah	V1		cm ³	10851.8 4	10851.8 4	10851.8 4
Berat Isi		W3/V1	gr/cm ₃	1.66	1.74	1.75
Rata-rata				1.72		

Berdasarkan hasil pengujian diatas diketahui rata-rata Berat Isi Agregat Kasar adalah sebesar 1,71 gr/cm³. Standar spesifikasi Berat Isi Agregat Kasar yaitu 1,4 s/d 1,9 gr/cm³.

4.2.4 Kadar Air Agregat Kasar

Pengujian Kadar Air Agregat Kasar sesuai dengan SNI 1971 2011 dan Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang Kadar Air Agregat Kasar. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5: Pengujian kadar air agregat kasar

Keterangan	Notasi	Persamaan	Benda Uji		Satuan
			I	II	
Berat Wadah + Sampel Awal	W1		1511	1505	gr
Berat Wadah + Sampel Akhir	W2		1502	1494	gr
Berat Wadah	W3		502	505	gr
Berat sampel awal	A	$(W1-W3)$	1009	1000	gr
Berat Sampel Akhir	B	$(W2-W3)$	1000	989	gr
Kadar Air Agregat	C	$\frac{(A-B)}{B} \times 100$	0.90	1.11	%
Rata -rata			1.01		%

Hasil pengujian Kadar Air Agregat Kasar yang menggunakan dua sampel yang kemudian dirata-ratakan didapat nilai rata-rata Kadar Air Agregat Kasar adalah sebesar 1,01 %.

4.2.5 Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar sesuai dengan SNI S-04-1998-F, 1989 dan Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang Kadar Lumpur Agregat Kasar. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6: Pengujian kadar lumpur agregat kasar.

Keterangan	Notasi	Persamaan	Benda Uji		Satuan
			I	II	
Berat Wadah	W1		502	505	gr
Berat Wadah + Sampel Awal	W2		1502	1505	gr
Berat Wadah + Sampel Akhir	W3		1491	1499	gr
Berat sampel awal	A	$(W2-W1)$	1000	1000	gr

Tabel 4.6: *Lanjutan.*

Keterangan	Notasi	Persamaan	Benda Uji		Satuan
			I	II	
Berat Sampel Akhir	B	(W3-W1)	989	994	gr
Berat Kotoran Pada Agregat	C	(A-B)	11	6	gr
Persentase Kotoran		$(C/A) \times 100$	1.1	0.6	%
Rata -rata			0.8		%

Dari hasil pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar, maka didapat nilai Kadar Lumpur Agregat Kasar rata-rata adalah sebesar 0,8% dan hasil dari pengujian tersebut memenuhi standar yang telah ditentukan yaitu $< 1\%$.

4.3 Pemeriksaan Agregat Halus

Pemeriksaan Agregat Halus bertujuan untuk memastikan agregat halus yang akan digunakan dalam pembuatan sampel beton dapat memenuhi syarat atau tidak. Agregat halus yang digunakan berasal dari Binjai, dalam pemeriksaan agregat kasar meliputi beberapa pengujian yang akan dilakukan yaitu :

- 1) Pengujian Analisa Saringan.
- 2) Pengujian Berat Jenis.
- 3) Pengujian Berat Isi.
- 4) Pengujian Kadar Air.
- 5) Pengujian Kadar Lumpur

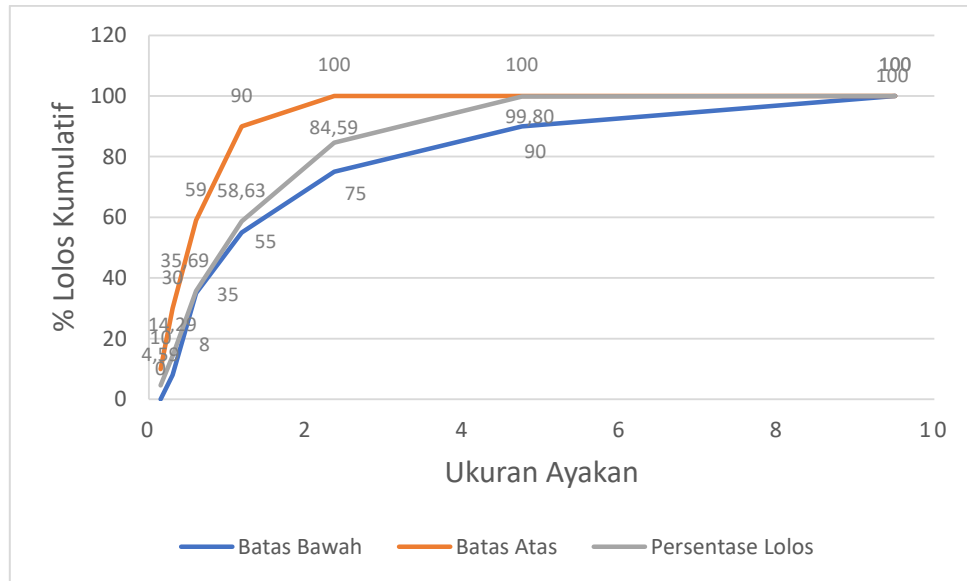
4.3.1 Analisa Saringan Agregat Halus

Alat, bahan dan cara kerja pengujian analisa saringan agregat halus sesuai dengan SNI 03-1968-1990 dan Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang analisa agregat halus. Adapun hasil pengujian tertera pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7: Pengujian analisa saringan agregat halus.

Ukuran Ayakan	Retained Fraction			Berat Tertahan	Cumulative		Batas Zona 2	
	Sampel 1	Sampel 2	Total		Berat Tertahan	Berat Lolos		
mm	gr	gr	gr	%	%	%	Min	Max
9.5	0	0	0	0	0	100	100	100
4.75	3	2	5	0.20	0.20	99.80	90	100
2.36	191	187	378	15.21	15.41	84.59	75	100
1.18	327	318	645	25.96	41.37	58.63	55	90
0.6	281	289	570	22.94	64.31	35.69	35	59
0.3	264	268	532	21.41	85.71	14.29	8	30
0.15	119	122	241	9.70	95.41	4.59	0	10
0.075	49	58	107	4.31	99.72	0.28		
Pan	4	3	7	0.28	100.00	0.00		
Jumlah	1238	1247	2485		302.4145			
MHB	3.02							

Berdasarkan pemeriksaan dapat diketahui nilai Modulus Haslus Butir (MHB) sebesar 3,02. Umumnya agregat kasar memiliki nilai sebesar 1,5-3,8 berdasarkan ASTM C136, maka dari nilai yang didapat agregat kasar yang akan digunakan memenuhi persyaratan. Pada tabel juga tertera ukuran maksimum agregat halus yang digunakan masuk dalam daerah gradasi 2, berikut hasil ukuran maksimum agregat yang tertera dalam bentuk grafik pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 : Grafik agregat halus

4.3.2 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian ataupun pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus berdasarkan SNI 1969 2016 dan Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus. Hasil pengujian terdapat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8: Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus.

FINE AGGREGATE (Agregat Halus) Passing No.4 (Lolos Saringan No. 4)	01	02	AVE
			(Rata-Rata)
<i>Wt of SSD Sample in Air</i> (Berat contoh (SSD) kering permukaan jenuh) (B)	500	500	500
<i>Wt of Flask + Water</i> (Berat Piknometer penuh air) (D)	665	665	665
<i>Wt. of Flask + Water + Sample</i> (Berat contoh SSD di dalam piknometer penuh air) C	965	971	968

Tabel 4.8: *lanjutan.*

<i>FINE AGGREGATE (Agregat Halus) Passing No.4 (Lolos Saringan No. 4)</i>	01	02	AVE
<i>Wt. of Oven Dry Sample</i> (Berat contoh kering oven (110° C) Sampai Konstan) E	488	487	487.5
<i>Bulk SP. Gravity-SSD</i> (Berat jenis contoh SSD) B/ (B+D-C)	2.50	2.58	2.539
<i>Bulk Sp. Gravity-Dry</i> (berat jenis contoh kering) E/B+D-C	2.60	2.69	2.643
Apparent Sp. Gravity-Dry (Berat jenis contoh semu) E/(E+D-C)	2.44	2.51	2.48
<i>Absorption</i>	2.46	2.67	2.564
$(A - B_k) / B_k \times 100 \%$			

Hasil pengujian yang tertera pada tabel dapat diketahui bahwa Berat Jenis Agregat Kasar dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) dengan nilai rata-rata yaitu 2,54. Nilai Berat Jenis yang diizinkan berkisar 2,2 - 2,9 dimana nilai yang didapat diizinkan untuk digunakan. Penyerapan air dari hasil pengujian didapaat sebesar 2,56%.

4.3.3 Berat Isi Agregat Halus

Pengujian Berat Isi Agragat Halus sesuai dengan SNI 03-4804-1998 dan Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang Berat Isi Agregat Halus. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9: Pengujian berat isi agregat halus.

Keterangan	Notasi	Persamaan	Satuan	Cara Lepas	Cara Tusuk	Cara Goyang
Berat Sampel + Wadah	W1		gr	19079	20108	20625
Berat Wadah	W2		gr	5300	5300	5300
Berat Sampel	W3	W1-W3	gr	13779	14808	15325
Volume Wadah	V1		cm ³	10851.84	10851.84	10851.84
Berat Isi		W3/V1	gr/cm ³	1.27	1.36	1.41
Rata-rata				1.35		

Berdasarkan hasil pengujian diatas diketahui rata-rata Berat Isi Agregat Halus adalah sebesar 1,35 gr/cm³. Standar spesifikasi Berat Isi Agregat Kasar yaitu 1,4 s/d 1,9 gr/cm³.

4.3.4 Kadar Air Agregat Halus

Pengujian Kadar Air Agregat Halus sesuai dengan SNI 1971 2011 dan Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang Kadar Air Agregat Halus. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10: Pengujian kadar air agregat halus.

Keterangan	Notasi	Persamaan	Benda Uji		Satuan
			I	II	
Berat Wadah + Sampel Awal	W1		1002	1005	gr
Berat Wadah + Sampel Akhir	W2		987	984	gr
Berat Wadah	W3		502	505	gr
Berat sampel awal	A	(W1-W3)	500	500	gr
Berat Sampel Akhir	B	(W2-W3)	485	479	gr
Kadar Air Agregat	C	$((A-B)/B) \times 100$	3.09	4.38	%
Rata -rata			3.74		%

Hasil pengujian Kadar Air Agregat Halus yang menggunakan dua sampel yang kemudian dirata-ratakan didapat nilai rata-rata Kadar Air Agregat Halus adalah sebesar 3,74 %.

4.3.5 Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus sesuai dengan SNI S-04-1998-F, 1989 dan Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang Kadar Lumpur Agregat Halus. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11: Pengujian kadar lumpur agregat halus.

Keterangan	Notasi	Persamaan	Benda Uji		Satuan
			I	II	
Berat Wadah	W1		502	505	gr
Berat Wadah + Sampel Awal	W2		1502	1505	gr
Berat Wadah + Sampel Akhir	W3		1464	1468	gr
Berat sampel awal	A	$(W2-W1)$	1000	1000	gr
Berat Sampel Akhir	B	$(W3-W1)$	962	963	gr
Berat Kotoran Pada Agregat	C	$(A-B)$	38	37	gr
Persentase Kotoran		$(C/A) \times 100$	3.8	3.7	%
Rata -rata			3.7		%

Dari hasil pengujian, didapat nilai Kadar Lumpur Agregat Halus rata-rata adalah sebesar 3,6% dan hasil tersebut memenuhi standar yang telah ditentukan yaitu $< 5\%$.

4.4 Rencana Campuran Beton

4.4.1 *Mix Design* Beton

Pelaksanaan *Mix Design* dapat dijelaskan sebagai berikut :

- 1 Kuat tekan rencana (f'_c) adalah 20 Mpa dengan umur rencana 14 dan 28 hari.
- 2 Standar deviasi atau nilai tambah berdasarkan SNI 03-2847-2002 yang digunakan adalah 7, dikarenakan belum pernah membuat pengujian beton sebelumnya dan kuat tekan rencana < 21 Mpa.
- 3 Kuat tekan beton rata-rata direncanakan (f'_{cr}) adalah :

$$\begin{aligned} f'_{cr} &= f'_c + m \\ &= 20 + 7 \\ &= 27 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- 4 Jenis semen yang digunakan adalah portland tipe 1.
- 5 Agregat halus yang digunakan adalah pasir alami yang masuk kedalam daerah gradasi zona 2 dan diperoleh dari Binjai.
- 6 Agregat kasar yang digunakan adalah kerikil/batu pecah dengan ukuran maksimum 19 mm diperoleh dari Binjai.
- 7 Faktor Air Semen (FAS) yang digunakan untuk rencana umur beton 14 dan 28 hari dan f'_{cr} 27 Mpa adalah 0,54.
- 8 FAS maksimum untuk kondisi direncanakan beton diluar ruangan tidak terlindung hujan dan matahari adalah 0,6 dengan berat semen minimum 325 kg/m³.
- 9 Nilai slump yang direncanakan untuk perencanaan beton adalah 75-150 mm.
- 10 Kadar air bebas yang digunakan adalah 204,9 kg/m³.
- 11 Jumlah semen yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned} W_{\text{semen}} &= W_{\text{air}} / \text{FAS} \\ &= 204,9 / 0,54 \\ &= 379,44 \text{ kg/m}^3. \end{aligned}$$

Nilai yang didapat lebih besar dari berat semen minimum, maka tidak perlu diubah.

- 12 Persentase agregat halus yang didapat adalah 42,5%.

- 13 Persentase agregat kasar untuk agregat gabungan adalah 100% dikurang persentase agregat halus yaitu 57,5%.
- 14 Berat jenis agregat halus adalah 2,64 dan agregat kasar 2,45 berdasarkan pengujian yang telah dilakukan. Maka berat jenis campuran adalah 2,53.
- 15 Berat isi beton basah didapat berdasarkan perhitungan adalah 2250 kg/m³.
- 16 Kadar agregat campuran :
- $$\begin{aligned}\text{Ag. Campuran} &= \text{Berat isi beton} - W \text{ semen} - W \text{ air} \\ &= 2250 - 379,44 - 204,9 \\ &= 1665,66 \text{ kg/m}^3.\end{aligned}$$
- 17 Kadar agregat kasar dan agregat halus :
- $$\begin{aligned}\text{Ag. Kasar} &= \% \text{ Ag. Kasar} \times \text{Ag. Camp} \\ &= 57,5 \% \times 1665,66 \\ &= 957,75 \text{ kg/m}^3.\end{aligned}$$
- $$\begin{aligned}\text{Ag. Halus} &= \% \text{ Ag. Halus} \times \text{Ag. Camp} \\ &= 42,5 \% \times 1665,66 \\ &= 707,90 \text{ kg/m}^3.\end{aligned}$$
- 18 Perbandingan kadar semen, agregat halus, agregat kasar dan air pada rencana campuran beton untuk 1 m³ :
- | | | | |
|---------------|----------------------------|--------|-------|
| Air | = 204,9 kg/m ³ | = 0,5 | = 0,5 |
| Semen | = 379,44 kg/m ³ | = 1 | = 1 |
| Agregat Halus | = 707,90 kg/m ³ | = 1,86 | = 2 |
| Agregat Kasar | = 957,75 kg/m ³ | = 2,52 | = 3 |

4.5 Kebutuhan Material

4.5.1 Kebutuhan Material Utama

Perencanaan campuran beton telah dilakukan, kemudian dapat diketahui jumlah kebutuhan material yang akan digunakan untuk membuat sampel beton pada setiap 1 benda uji berbentuk silinder.

1 Benda uji silinder :

$$\text{Diameter (D)} = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m.}$$

$$\begin{aligned}\text{Tinggi (t)} &= 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m.} \\ \text{Volume (V)} &= \frac{1}{4}\pi D^2 t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3.\end{aligned}$$

Maka, kebutuhan material untuk 1 benda uji silinder adalah :

$$\begin{aligned}\text{Air} &= 204,9 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3 = 1,08 \text{ kg} \\ \text{Semen} &= 379,44 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3 = 2,01 \text{ kg} \\ \text{Agregat Halus} &= 707,90 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3 = 3,75 \text{ kg} \\ \text{Agregat Kasar} &= 957,75 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3 = 5,07 \text{ kg}\end{aligned}$$

4.5.2 Kebutuhan Serbuk Biji Salak

Bahan untuk substitusi agregat halus yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah limbah biji salak yang berasal dari Desa Huta Koje, Kec. Padangsidempuan Tenggara, Kota Padang Sidiempuan, Sumatera Utara. Kemudian dihaluskan hingga menjadi serbuk yang lolos saringan No. 4, persentase penggunaan serbuk biji salak adalah 3%, 5%, dan 7% dari berat agregat halus seperti yang tertera pada Tabel 3.1. kemudian kebutuhan serbuk biji salak untuk 1 benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12: Kebutuhan serbuk biji salak 1 benda uji.

Variasi	Persentase digunakan (%)	Berat Agregat Halus 1 Benda Uji (Kg)	Berat dibutuhkan (Kg)
BS 3%	3	3,75	0,11
BS 5%	5	3,75	0,19
BS 7%	7	3,75	0,26
Total Berat Diperlukan			0,56

4.5.3 Kebutuhan *Bestmittel*

Bestmittel sebagai substitusi semen yang persentase penggunaannya adalah 0,8% dari berat semen, penggunaan persentase 0,8% adalah berdasarkan penelitian terdahulu dari (Rahmat, Irna Hendriyani, Moh. Syaiful Anwar)

menyatakan bahwa penggunaan *Bestmittel* dengan persentase 0,2%, 0,4% dan 0,6% dari berat semen kuat tekan beton terus meningkat, maka diharapkan persentase 0,8% akan meningkatkan kuat tekan beton. Kebutuhan *Bestmittel* untuk 1 benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 : Kebutuhan *bestmittel* 1 benda uji.

Varia	Persentase digunakan (%)	Berat Semen 1 Benda Uji (Kg)	Berat dibutuhkan (Kg)
BS 3% + B 0.8%	0.8	2.01	0.02
BS 5% + B 0.8%	0.8	2.01	0.02
BS 7% + B 0.8%	0.8	2.01	0.02
Total Berat Diperlukan			0.06

4.5.4 Kebutuhan Material Keseluruhan

Kebutuhan material serbuk biji salak dan *Bestmittel* telah dihitung, maka kebutuhan material keseluruhan yang akan digunakan dalam campuran beton dapat dilihat paa Tabel 4.14.

Tabel 4.14 : Kebutuhan material 4 benda uji

Variasi	Agregat Halus (Kg)	Semen (Kg)	Serbuk Biji Salak (Kg)	<i>Bestmittel</i> (Kg)	Jumlah Komposisi Agregat Halus (Kg)	Jumlah Komposisi Semen (Kg)
BN	15.00	8.04	0.00	0.00	15.00	8.04
BN + B	15.00	7.98	0.00	0.06	15.00	8.04
BS 3%	14.55	8.04	0.45	0.00	15.00	8.04
BS 5%	14.25	8.04	0.75	0.00	15.00	8.04
BS 7%	13.95	8.04	1.05	0.00	15.00	8.04
BS 3% + B 0.8%	14.55	7.98	0.45	0.06	15.00	8.04

Tabel 4.14: *Lanjutan.*

Variasi	Agregat Halus (Kg)	Semen (Kg)	Serbuk Biji Salak (Kg)	Bestmittel (Kg)	Jumlah Komposisi Agregat Halus (Kg)	Jumlah Komposisi Semen (Kg)
BS 5% + B 0.8%	14.25	7.98	0.75	0.06	15.00	8.04
BS 7% + B 0.8%	13.95	7.98	1.05	0.06	15.00	8.04
Total Berat Diperlukan	100.53	56.10	4.50	0.19		

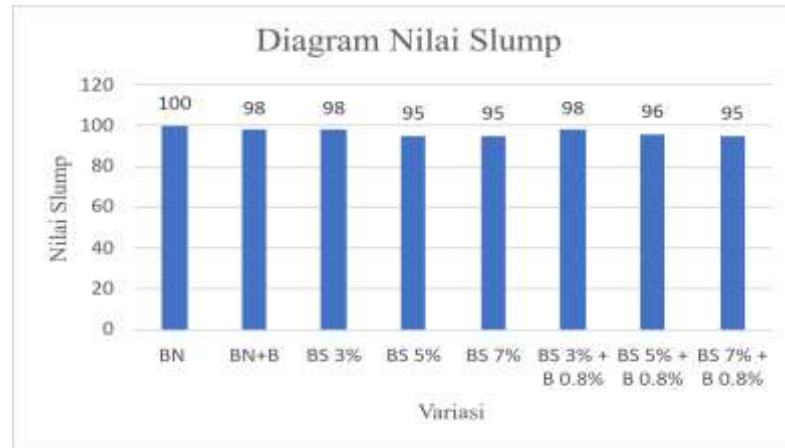
Maka, berat keseluruhan material yang dibutuhkan pada penelitian ini yaitu

:

- 1 Agregat Halus = 100,53 Kg.
- 2 Semen = 56,10 Kg.
- 3 Serbuk Biji Salak = 4,50 Kg.
- 4 *Bestmittel* = 0,19 Kg.

4.6 *Slump Test*

Nilai *Slump* mempengaruhi tingkat kemudahan dalam pekerjaan beton. Penelitian ini menggunakan rencana nilai *slump* 75-100 mm, pengujian *Slump* dilakukan pada sampel Beton Normal dan Beton Variasi. Hasil pengukuran nilai *Slump* yang telah didapat terlihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 : Diagram Nilai *Slump*

Semakin tinggi nilai slump maka dapat diketahui bahwa adukan beton tersebut semakin encer, sebaliknya semakin rendah nilai slump maka adukan beton yang dihasilkan semakin keras. Pada diagram diatas, dapat dilihat nilai *Slump* tertinggi pada beton variasi yaitu BS 3% dan BS 3% + B 0.8%, sedangkan nilai *Slump* terendah pada BS 5%, BS 7%, dan BS 7% + B 0.8%. Maka diketahui pada beton dengan variasi BS, semakin banyak serbuk salak yang digunakan maka akan menurunkan nilai *Slump* dikarenakan serbuk biji salak memiliki tekstur lebih halus dan ringan serta lebih menyerap air. Hal yang sama juga berlaku pada variasi BS + B.

4.7 Pengujian Kuat Tekan Beton

Tujuan dari pengujian kuat tekan beton adalah untuk mengetahui kemampuan dari beton dalam menahan gaya tekan yang diberikan. Pengujian kuaat tekan beton dilakukan pada sampel beton umur 14 dan 28 hari. Pengujian ini berdasarkan SNI 1974-2011. Hasil kuat tekan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.15.

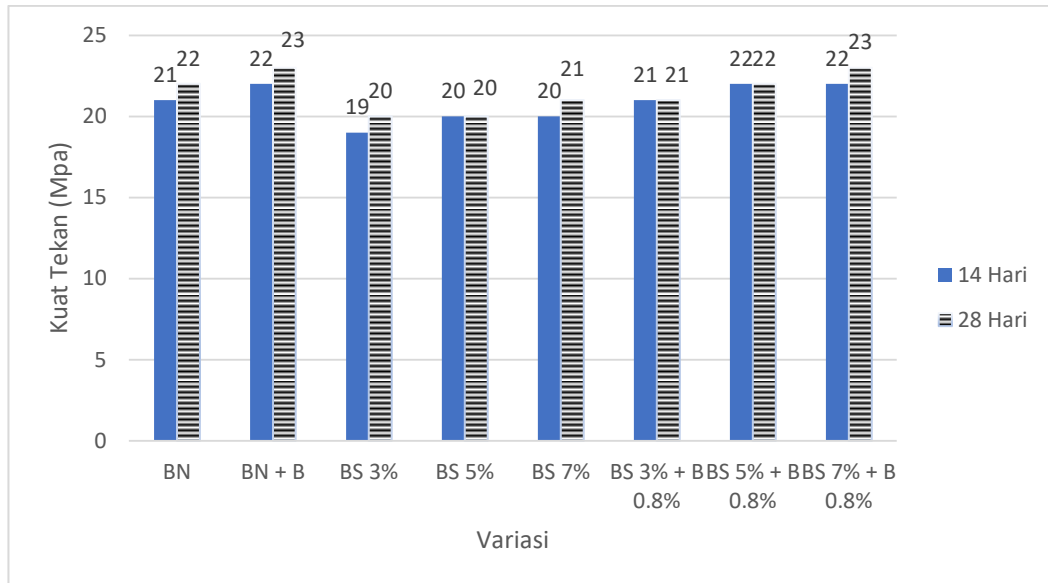
Tabel 4.15 : Hasil kuat tekan.

Varias i	Bend a Uji	Luas (mm ²)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)
-------------	---------------	----------------------------	---------------------------	---------------------	----------------------------------

			14 Har i	28 Har i	14 Har i	28 Har i	14 Har i	28 Har i
BN	1	17662.5	370	410	21	23	21	22
			360	370	20	21		
BN + B 0.8%	2	17662.5	380	400	22	23	22	23
			390	410	22	23		

Tabel 4.15 : *Lanjutan.*

BS 3%	1	17662.5	350	370	20	21	19	20
	2	17662.5	330	340	19	19		
BS 5%	1	17662.5	340	350	19	20	20	20
	2	17662.5	350	370	20	21		
BS 7%	1	17662.5	360	370	20	21	20	21
	2	17662.5	360	380	20	22		
BS 3% + B 0.8%	1	17662.5	370	380	21	22	21	21
	2	17662.5	360	370	20	21		
BS 5% + B 0.8%	1	17662.5	400	410	23	23	22	22
	2	17662.5	370	370	21	21		
BS 7% + B 0.8%	1	17662.5	400	420	23	24	22	23
	2	17662.5	390	400	22	23		



Gambar 4.4: Diagram nilai kuat tekan beton.

Keterangan :

- BN = Beton Normal, serbuk biji salak 0% dan *Bestmittle* 0%.
- BS 3% = Beton dengan 3% substitusi serbuk biji salak pada agregat halus.
- BS 5% = Beton dengan 5% substitusi serbuk biji salak pada agregat halus.
- BS 7% = Beton dengan 7% substitusi serbuk biji salak pada agregat halus.
- BS 3% + B 0,8% = Beton dengan 3% substitusi serbuk biji salak pada agregat halus dan 0,8% substitusi *Bestmittel* pada semen.
- BS 5% + B 0,8% = Beton dengan 5% substitusi serbuk biji salak pada agregat halus dan 0,8% substitusi *Bestmittel* pada semen.
- BS 7% + B 0,8% = Beton dengan 7% substitusi serbuk biji salak pada agregat halus dan 0,8% substitusi *Bestmittel* pada semen.

Kuat tekan tertinggi beton variasi umur 14 hari yaitu BS 5%+B 0,8% dan BS 7%+B 0,8% sedangkan variasi terendah BS 3%. Beton variasi umur 28 hari kuat tekan tertinggi pada 7%+B 0,8% sedangkan yang terendah pada BS 5% dan 7%. Perbandingan kuat tekan beton variasi terhadap BN sesuai urutan variasi pada umur 14 hari yaitu 0,90 : 0,95 : 0,95 : 1 : 1,05 : 1,05 sedangkan pada umur 28 yaitu 0,91 : 0,91 : 0,95 : 1 : 1,05. Kuat tekan beton dengan umur 14 hari memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah dibanding beton dengan umur 28 hari.

4.8 Modulus Elastisitas

Berikut adalah pengujian modulus elastisitas mengikuti aturan SNI 2847 2019 dengan menggunakan persamaan :

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (4.10)$$

$$E_c = W_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f'_c} \quad (\text{Untuk nilai } w_c \text{ di antara } 1400 \text{ dan } 2560 \text{ kg/m}^3) \quad (4.11)$$

Sebelum melakukan perhitungan, harus menentukan berapa berat jenis tiap sampel uji beton dengan menggunakan persamaan :

$$W_c = \frac{W}{V}$$

Dimana : W = Berat benda uji (kg)

V = Volume Silinder = 0,0053 m³ (persamaan 4.9)

Maka berat jenis pada tiap benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16: Berat jenis sampel beton.

Variasi	Benda Uji	Berat (Kg)		Berat Jenis (Kg/m ³)	
		14 Hari	28 Hari	14 Hari	28 Hari
BN	1	12,60	12,74	2377,358491	2403,773585
	2	12,40	12,65	2339,622642	2386,792453
BN + B	1	12,62	12,70	2381,132075	2396,226415
	2	12,50	12,60	2358,490566	2377,358491
BS 3%	1	12,60	12,58	2377,358491	2373,584906
	2	12,64	12,47	2384,905660	2352,830189
BS 5%	1	12,44	12,64	2347,169811	2384,905660
	2	12,24	12,55	2309,433962	2367,924528
BS 7%	1	12,26	12,38	2313,207547	2335,849057
	2	12,43	12,49	2345,283019	2356,603774
BS 3% + B 0.8%	1	12,64	12,60	2384,905660	2377,358491
	2	12,52	12,55	2362,264151	2367,924528
BS 5% + B 0.8%	1	12,44	12,60	2347,169811	2377,358491
	2	12,58	12,48	2373,584906	2354,716981
BS 7% + B 0.8%	1	12,58	12,62	2373,584906	2381,132075
	2	12,37	12,64	2333,962264	2384,905660

Dari tabel di atas, Kita dapat menentukan bahwa persamaan modulus

elastisitas yang akan dipakai adalah persamaan (4.11) dikarenakan semua berat jenis beton dibawah 2560 kg/m^3 . Maka didapat tabel modulus elastisitas tiap sampel beton pada Tabel 4.17.

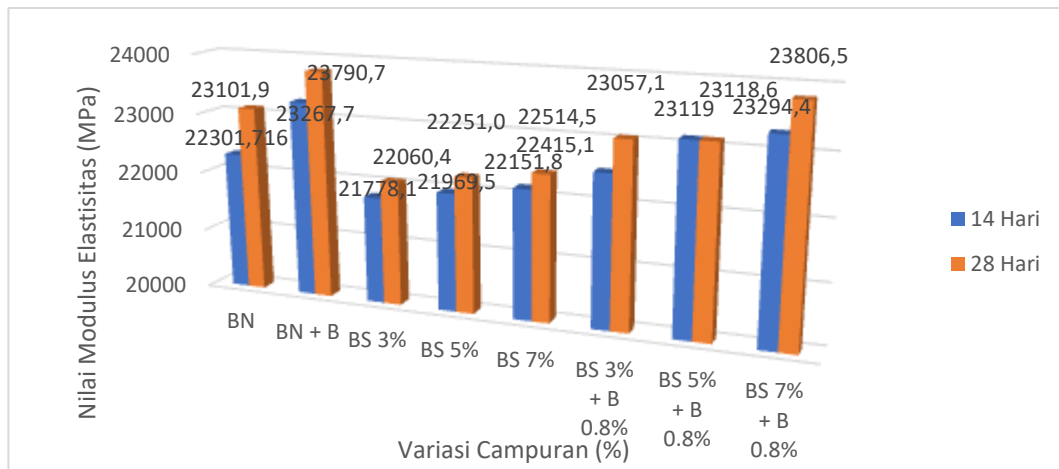
Tabel 4.17: Modulus elastistas sampel beton.

Variasi	Benda Uji	Kuat Tekan (Mpa)		Berat Jenis (Kg/m ³)		Modulus Elastisitas		Elastisitas	
		14 Hari	28 Hari	14 Hari	28 Hari	14 Hari	28 Hari	14 Hari	28 Hari
BN	1	21	23	2377,4	2403,8	22841,3	23904,2	22301,7	23101,9
	2	20	21	2339,6	2386,8	21762,2	22299,6		

Tabel 4.17: Lanjutan.

BN + B	1	22	23	2381,1	2396,2	23434,5	23961,1	23267,7	23790,7
	2	22	23	2358,5	2377,4	23101,0	23620,2		
BS 3%	1	19	20	2377,4	2373,6	21726,4	22290,8	21778,1	22060,4
	2	19	19	2384,9	2367,9	21829,9	21829,9		
BS 5%	1	19	20	2373,6	2384,9	21674,7	22237,7	21969,5	22251,0
	2	20	20	2375,5	2367,9	22264,3	22264,3		
BS 7%	1	21	21	2313,2	2335,8	21923,0	21923,0	22151,8	22415,1
	2	21	22	2345,3	2356,6	22380,6	22907,2		
BS 3% + B 0.8 %	1	21	22	2384,9	2377,4	22950,1	23490,2	22514,5	23057,1
	2	20	21	2362,3	2367,9	22078,8	22624,1		
BS 5% + B 0.8 %	1	23	23	2347,2	2377,4	23450,3	23450,3	23118,6	23118,6
	2	21	21	2373,6	2354,7	22786,9	22786,9		
BS 7% + B	1	23	24	2373,6	2381,1	23847,3	24360,2	23294,4	23806,5
	2	22	23	2334,4	2384,4	22741,4	23252,4		

0.8 %				0	9	6	7		
----------	--	--	--	---	---	---	---	--	--



Gambar 4.5 : Grafik diagram modulus elastistas umur 14 dan 28 hari.

Berdasarkan hasil pengujian nilai modulus elastisitas beton umur 14 hari didapat rata rata nilai modulus elastisitas beton normal yakni sebesar 22301,7 Mpa, beton BN+B sebesar 23267,7 Mpa, beton BS 3% sebesar 21778, 1 Mpa, beton BS 5% sebesar 21969, 5 Mpa, beton BS 7% sebesar 22151, 8 Mpa, BS 3%+ B 0,8% sebesar 22514, 5 Mpa, beton BS 5%+B 0,8% sebesar 23118, 6 Mpa, beton BS 7% +B 0,8% sebesar 23294,4 Mpa. Sedangkan hasil modulus elastisitas beton umur 28 hari didapat rata rata nilai modulus beton normal yakni sebesar 22301,9 Mpa, beton BN+B sebesar 23790,7 Mpa, beton BS 3% sebesar 22060, 4 Mpa, beton BS 5% sebesar 22251, 0 Mpa, beton BS 7% sebesar 22415, 1 Mpa, BS 3%+ B 0,8% sebesar 23057, 1 Mpa, beton BS 5%+B 0,8% sebesar 23118, 6 Mpa, beton BS 7% +B 0,8% sebesar 23806,5 Mpa.

Dari nilai tersebut dapat dilihat apabila beton tersebut ditambah dengan biji salak maka modulus elastisitasnya akan mengalami penurunan, tetapi akan mengalami kenaikan seiring dengan penambahan persenan yang di dapat dari varian biji salak. Semakin tinggi persenan yang di dapat maka modulus elastisitasnya akan semakin naik dan apabila ditambah lagi dengan varian *Bestmittel* maka akan mengalami kenaikan lagi.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Beton dengan serbuk biji salak sebagai substitusi agregat halus mengalami penurunan kuat tekan, didapat nilai modulus elastisitas sebagai berikut:
 - BN sebesar 22301,7 Mpa (14 hari)
 - BN+B sebesar 23267,7 Mpa (14 hari)
 - BS 3%, 5%, 7% didapat modulus elastisitas rata ratanya sebesar 21966,4 Mpa (14 hari)
 - BS 3%+ B 0,8%, BS 5%+B 0,8%, BS 7%+B 0,8% didapat modulus elastisitas rata ratanya sebesar 22975,8 Mpa (14 hari)
 - BN sebesar 22301,9 Mpa (28 hari)
 - BN+B sebesar 23790,7 Mpa (28 hari)
 - BS 3%, 5%, 7% didapat modulus elastisitas rata ratanya sebesar 22242,1 Mpa (28 hari)
 - BS 3%+ B 0,8%, BS 5%+ B 0,8%, BS 7%+ B 0,8% didapat modulus elastisitas rata ratanya sebesar 23327,4 Mpa (28 hari)
2. Penelitian ini menunjukkan bahwa modulus elastisitas beton menurun dengan presentase limbah biji salak tetapi modulus elastisitas akan mengalami kenaikan seiring dengan penambahan persenan yang didapat dari varian biji salak. Semakin tinggi nilai persenan yang didapat maka nilai modulus elastistasnya juga semakin naik.

5.2 Kesimpulan

1. Diharapkan pada penelitian selanjutnya menambahkan persentase serbuk biji salak untuk mengetahui hasil yang lebih teliti terhadap modulus elastisitasnya.
2. Untuk menggunakan masker dan sarung tangan sebagai pelindung saat membuat serbuk biji salak.

Daftar Pustaka

- Ariyani, N., & A, T. S. (2014). Pengaruh Penggunaan Bestmittel untuk Mempercepat Kuat Tekan Beton. *Majalah Ilmiah UKRIM*, 1, 1–11.
- Badan Standarisasi Nasional. (1990). SNI 03-1968-1990, *Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Badan Standarisasi Indonesia, 1–17.
- Badan Standarisasi Nasional. (1998). SNI S-04-1998-F, *Pengujian Kadar Lumpur*. 1998, 0, 1998.
- Badan Standarisasi Nasional. (1998). SNI 03-4804, *Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga udara dalam agregat. Metode Pengujian Bobot Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat*, 1–6.
- Badan Standarisasi. (2000). SNI, 3-2834. *Tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). SNI 03-2461-2002: *Spesifikasi agregat ringan untuk beton ringan struktural*. 1–8.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). SNI 03-2491-2002 *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*. Badan Standar Nasional Indonesia, 14.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). SNI 03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional, 251.
- Badan Standarisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000. *Tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, 3, 2834.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI 1971:2011, *Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan*. Badan Standarisasi Nasional, 1–11.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI 2493:2011 *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*. Badan Standar Nasional Indonesia, 23. www.bsn.go.id
- Badan Standarisasi Nasional. (2014). SNI 7064-2014 *Semen Portland Komposit*. Badan Standardisasi Nasional (BSN), 1–128.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). SNI 03-2847 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2013. *Badan Standarisasi Nasional*, 265.

- Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 1970:2016 *Metode Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standar Nasional Indonesia (pp. 1–22).
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. *Sni 2847-2019*, 8, 720.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. SNI 03-2847-2002. Bandung: Badan Standardisasi Nasional, 251.
- Fernanda, S. R. (2020). Pemanfaatan Limbah Biji Salak Dan Tongkol Jagung Sebagai Campuran Beton Yang Menghasilkan Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Mutu Tinggi Ramah Lingkungan. *Jurnal Proyek Teknik Sipil*, 3(2), 39–45. <https://doi.org/10.14710/potensi.2020.9090>
- Nasional, B. S. (2000). Tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. *Sni*, 3, 2834.
- Prabowo, A. R., & Sofia, D. A. (2024). Analisis Pengaruh Jenis Pasir Sebagai Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton. 6(1), 46–52.
- Prayitno, S., & Rochmadhona Nara Murti, F. (2016). *e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL/ PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BENDRAT, ABU SEKAM PADI DAN BESTMITTEL TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK BELAH DAN MODULUS ELASTISITAS*. September, 909–917.
- Riyono, M. ', Lestari, W., & Juara, A. (2022). Pengaruh Kuat Tekan Beton Dengan Limbah Biji Salak Kering Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar. *Jurnal Teras*, 12(1), 2022.
- Rimen et al. (2023). ANALISIS KUAT TEKAN BETON TERHADAP PENGGUNAAN AGREGAT HALUS (PASIR) SUNGAI SUANI KECAMATAN BAWOLATOMUTU BETON K-250 Ignasius Seven Rimen Laia, Nurmaidah. *Jtsip*, 2(2), 2023. <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/JTSIP>
- Sulistyawati, R. (2009). Pengaruh Penggunaan Zat Additive Bestmittel Terhadap Kuat Tekan Beton. *Teodolita*, 11(2), 34–46.

LAMPIRAN



L1 : Pengujian slump



L2 : Pembuatan benda uji



L3 : Pemasangan bekisting



L4 : Proses perojokan



L5 : Proses curing



L6 : Uji Kuat Tekan