

TUGAS AKHIR

PENGARUH SERBUK CANGKANG TELUR DAN *SILICA FUME*
SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT
TEKAN BETON

(Studi Penelitian)

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

Disusun Oleh :

RISKA DWI ANTIKA

2207210135



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2026

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Riska Dwi Antika

NPM : 2207210135

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Serbuk Cangkang Telur dan Silica Fume Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Beton.

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 29 Agustus 2026

Dosen Pembimbing



Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

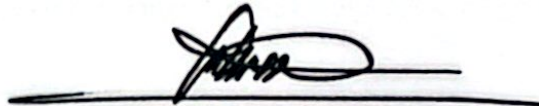
Nama : Riska Dwi Antika
NPM : 2207210135
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Serbuk Cangkang Telur dan Silica Fume Sebagai
Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Beton.
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan 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, 29 Agustus 2026

Mengetahui dan menyetujui

Dosen Pembimbing



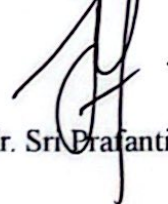
Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.

Dosen Pembimbing I



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

Dosen Pembimbing II



Ir. Sri Drafanti, M.T.

Ketua Prodi Teknik Sipil



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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Riska Dwi Antika

NPM : 2207210135

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Serbuk Cangkang Telur dan Silica Fume Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Beton.

Bidang Ilmu : Struktur

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang berjudul : “ Pengaruh Serbuk Cangkang Telur dan Silica Fume Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Beton.”.

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

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

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

Medan, 29 Agustus 2026

Saya yang menyatakan

A handwritten signature in black ink is written over a yellow revenue stamp. The stamp features a Garuda emblem, the text '10000', 'Rp 10.000', and 'METERAI TEMPEL'. A serial number 'EG981AOX103777968' is visible at the bottom of the stamp.

Riska Dwi Antika

ABSTRAK

PENGARUH SERBUK CANGKANG TELUR DAN *SILICA FUME* SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Riska Dwi Antika
2207210135

Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.

Penggunaan semen sebagai bahan utama beton dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan emisi karbon, sehingga diperlukan upaya pemanfaatan bahan alternatif yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh serbuk cangkang telur (SCT) dan *silica fume* (SF) sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari serta memperoleh komposisi campuran yang memberikan hasil optimum. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan delapan variasi campuran, yaitu beton normal, SCT sebesar 5%, 7,5%, dan 10%, SF sebesar 5%, serta kombinasi SF 5% dengan SCT masing-masing sebesar 5%, 7,5%, dan 10%. Penelitian menggunakan 24 benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian slump dan kuat tekan beton pada umur 28 hari dengan mengacu pada standar SNI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan SCT dan kombinasi SCT dengan SF menyebabkan nilai slump mengalami penurunan dibandingkan beton normal. Nilai kuat tekan beton normal sebesar 25,14 MPa, sedangkan seluruh variasi campuran menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi. Kuat tekan maksimum diperoleh pada campuran SCT 5% + SF 5% dengan nilai sebesar 26,80 MPa atau mengalami peningkatan sebesar 6,60% terhadap beton normal. Berdasarkan hasil tersebut, kombinasi SCT 5% dan SF 5% merupakan variasi optimum dalam penelitian ini dan menunjukkan bahwa penggunaan kedua material tersebut sebagai pengganti sebagian semen dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Kata kunci: serbuk cangkang telur, silica fume, substitusi semen, kuat tekan beton, beton.

ABSTRACT

THE EFFECT OF EGGSHELL POWDER AND SILICA FUME AS PARTIAL CEMENT REPLACEMENTS ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE

Riska Dwi Antika
2207210135

Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.

The use of cement as the primary component of concrete can contribute to increased carbon emissions; therefore, efforts are needed to utilize more environmentally friendly alternative materials. This study was conducted to determine the effect of eggshell powder (SCT) and silica fume (SF) as partial cement replacements on the compressive strength of concrete at 28 days and to identify the mix design that yields optimal results. The experimental method involved eight mix variations: normal concrete; ECP at 5%, 7.5%, and 10%; SF at 5%; and combinations of 5% SF with ECP at 5%, 7.5%, and 10%. The study utilized 24 cylindrical test specimens with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm. The tests conducted included slump tests and compressive strength tests of the concrete at 28 days of age, in accordance with SNI standards. The results showed that increasing the use of SCT and the combination of SCT with SF caused the slump value to decrease compared to normal concrete. The compressive strength of normal concrete was 25.14 MPa, while all mixture variations yielded higher compressive strength values. The maximum compressive strength was obtained in the 5% SCT + 5% SF mixture, with a value of 26.80 MPa—representing a 6.60% increase compared to normal concrete. Based on these results, the combination of 5% SCT and 5% SF is the optimal variation in this study and demonstrates that using these two materials as partial cement replacements can increase the compressive strength of concrete.

Keywords: eggshell powder, silica fume, cement substitution, concrete compressive strength, concrete.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillahirabbil'alamin, dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pengaruh Serbuk Cangkang Telur dan Silica Fume sebagai Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan Beton” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

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

1. Bapak Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan saran, masukan dan koreksi yang sangat berharga dalam penyempurnaan skripsi ini.
3. Ibu Ir. Sri Prafanti, M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan saran, masukan dan koreksi yang sangat berharga dalam penyempurnaan skripsi ini.
4. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan Ibu Rizki Efrida S.T., M.T. selaku Sekretaris Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan memberi masukan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu Teknik Sipil kepada penulis.
7. Seluruh Bapak/Ibu staf administrasi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan pelayanan dan bantuan kepada penulis.
8. Ayah tercinta, Sunardi, yang senantiasa hadir dengan ketulusan, kesabaran, dan kasih sayang dalam mendampingi penulis. Perhatian, pengorbanan, serta keteguhan yang Ayah berikan menjadi sumber semangat dan teladan bagi penulis hingga mampu menyelesaikan skripsi ini.
9. Ibunda tercinta, Tri Patmini, yang selalu memberikan doa, kepercayaan, kasih sayang, dan dukungan tanpa henti. Terima kasih atas segala pengorbanan, perhatian, dan cinta yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan setiap proses dengan penuh keyakinan.
10. Kakak tercinta, Ulfa Agustina, yang senantiasa membantu memenuhi kebutuhan penulis selama proses penyusunan skripsi serta selalu memberikan doa, semangat, dan keyakinan hingga skripsi ini dapat diselesaikan.
11. Firzatullah, selaku partner penulis dalam berbagai kegiatan akademik maupun nonakademik, yang selalu memberikan dukungan, bantuan, dan semangat selama proses penyusunan skripsi ini.
12. Miftahul Jannah, selaku rekan laboratorium sekaligus sahabat, yang telah banyak membantu selama proses penelitian, menjadi tempat berbagi suka dan duka, serta selalu memberikan semangat. Terima kasih atas kerja sama, kesabaran, dan kebersamaan yang telah diberikan sehingga seluruh proses penelitian dapat berjalan dengan baik hingga selesai.
13. Untuk diriku sendiri, terima kasih untuk tetap bertahan, melanjutkan langkah meskipun ragu dan terus berusaha hingga skripsi ini dapat diselesaikan.

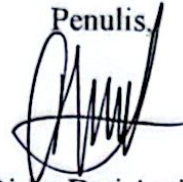
Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak luput dari berbagai kesalahan dan kekurangan, sehingga penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan penelitian yang dilakukan.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis dan juga bagi teman teman mahasiswa Teknik Sipil khususnya. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Medan, 29 Agustus 2026

Penulis,



Riska Dwi Antika

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
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	2
1.6 Sistematika Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.2 Serbuk Cangkang Telur (SCT)	6
2.3 Silica Fume (SF)	7
2.4 Interaksi Antara Serbuk Cangkang Telur dan <i>Silica Fume</i>	8
2.5 Bahan Dasar Dalam Pembentukan Beton	9
2.5.1 Semen	10
2.5.2 Agregat Halus	10
2.5.3 Agregat Kasar	11
2.5.4 Air	11
2.6 Pengujian Kuat Tekan Beton	12

BAB 3 METODE PENELITIAN	13
3.1 Diagram Alir	13
3.2 Tahap Penelitian	14
3.3 Metode Penelitian	15
3.4 Lokasi dan Waktu Penelitian	15
3.5 Sumber dan Pengambilan Data	16
3.5.1 Data Primer	16
3.5.2 Data Sekunder	16
3.6 Alat dan Bahan	17
3.6.1 Alat	17
3.6.2 Bahan	19
3.7 Persiapan Bahan Tambah	19
3.7.1 Serbuk Cangkang Telur	20
3.8 Tahap Pengujian	20
3.8.1 Pengujian Analisa Saringan	20
3.8.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air	21
3.8.3 Pengujian Berat Isi	22
3.8.4 Pengujian Kadar Air	22
3.8.5 Pengujian Kadar Lumpur	22
3.8.6 Perencanaan <i>Mix Design</i>	23
3.8.7 Pembuatan Benda Uji	24
3.8.8 Pengujian Slump Beton	24
3.8.9 Perawatan / Perendaman Benda uji	25
3.8.10 Pengujian Kuat Tekan	25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Umum	28
4.2 Pemeriksaan Agregat Kasar	28
4.2.1 Analisa Saringan	28
4.2.2 Berat Jenis dan Penyerapan Air	28
4.2.3 Berat Isi	29
4.2.4 Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar	29
4.2.5 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar	29

4.3 Pemeriksaan Agregat Halus	30
4.3.1 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus	30
4.3.2 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	30
4.3.3 Berat Isi Agregat Halus	31
4.3.4 Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus	31
4.3.5 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus	31
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	32
5.1 Kesimpulan	32
5.2 Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Cangkang telur.	6
Tabel 2.2 Komposisi kimia semen portland biasa (OPC) tipe 1 dan silica fume.	8

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.	13
Gambar 3.2 Benda Uji Silinder	24
Gambar 3.3 Alat Uji Slump Tes	25
Gambar 3.4 Mesin Uji Kuat Tekan Beton (Compression Testing Machine).	26
Gambar 3.5 Benda Uji Silinder Saat Diuji Tekan.	26

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di dunia konstruksi, beton merupakan salah satu material yang banyak digunakan di seluruh dunia. Hal ini karena keunggulannya, seperti kemampuan menahan beban tekan yang tinggi, kemudahan dalam pembentukan sesuai dengan kebutuhan desain, dan ketahanan yang baik terhadap perubahan cuaca. Oleh karena itu, kuat tekan beton merupakan salah satu parameter penting dalam memenuhi persyaratan konstruksi. Hal ini telah mendorong berbagai studi untuk menghasilkan inovasi yang lebih ramah lingkungan sebagai upaya mengurangi emisi karbon.

Berdasarkan karakteristiknya, serbuk cangkang telur dan *silica fume* memiliki potensi untuk digunakan secara bersamaan sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Kandungan kalsium karbonat pada serbuk cangkang telur dapat berperan sebagai bahan pengisi yang membantu memperbaiki struktur pasta semen, sedangkan *silica fume* berperan sebagai material pozzolanik yang menghasilkan gel C-S-H tambahan melalui reaksi dengan kalsium hidroksida. Kombinasi kedua material tersebut diharapkan dapat meningkatkan kepadatan mikrostruktur beton sehingga mampu memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan penggunaan masing-masing material secara terpisah

Dalam hal ini, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh penggunaan campuran serbuk cangkang telur dan *silica fume* sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton ramah lingkungan. Variasi campuran meliputi beton normal, penggunaan SCT sebesar 5%, 7,5%, dan 10%, penggunaan SF sebesar 5%, serta kombinasi SCT sebesar 5%, 7,5%, dan 10% dengan SF sebesar 5% sebagai pengganti sebagian semen. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 28 hari untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan serbuk cangkang telur dan *silica fume* terhadap kuat tekan beton.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan mengacu pada latar belakang yang telah dijelaskan di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penggantian sebagian semen dengan campuran serbuk cangkang telur dan *silica fume* terhadap kuat tekan beton?
2. Berapa persentase optimum serbuk cangkang telur dan *silica fume* yang dapat menghasilkan kuat tekan beton tertinggi pada umur 28 hari?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk membatasi permasalahan agar penelitian lebih terarah, ruang lingkup penelitian ini meliputi:

1. Penelitian ini difokuskan pada pengaruh penggunaan campuran serbuk cangkang telur dan *silica fume* sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton normal.
2. Pengujian utama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji kuat tekan beton pada umur 28 hari sesuai dengan standar SNI 1974:2011.
3. Penelitian ini tidak membahas aspek lain, seperti kuat tarik belah, modulus elastisitas, atau durabilitas beton secara mendalam.
4. Benda uji yang digunakan berupa silinder beton dengan berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mencapai hal-hal berikut:

1. Untuk menentukan pengaruh penggunaan serbuk cangkang telur dan *silica fume* sebagai bahan pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton
2. Untuk menentukan persentase optimum serbuk cangkang telur dan *silica fume* sebagai pengganti sebagian semen yang dapat menghasilkan kuat tekan tertinggi pada umur 28 hari.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Berkontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi beton, khususnya mengenai penggunaan serbuk cangkang telur dan *silica fume* sebagai pengganti sebagian semen untuk menghasilkan beton yang lebih ramah lingkungan dengan kuat tekan yang baik.
2. Menjadi referensi akademik bagi mahasiswa, peneliti, dan praktisi di bidang sipil mengenai penggunaan serbuk cangkang telur dan *silica fume* sebagai pengganti sebagian semen.
3. Mendukung pemanfaatan limbah cangkang telur sebagai material alternatif yang dapat mengurangi konsumsi semen dan dampak lingkungan dari industri konstruksi.

1.6 Sistematika Penelitian

Agar pembahasan lebih terstruktur, penelitian ini disusun dalam beberapa bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang teori-teori yang berkaitan dengan penjelasan beton, serbuk cangkang telur, *silica fume*, dan metode perhitungan yang digunakan.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini menguraikan tentang tahapan penelitian, pelaksanaan penelitian, teknik pengumpulan data, dan metode analisa data.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil pengujian dan analisa data kekuatan tekan beton dengan bahan pengganti sebagian semen menggunakan serbuk cangkang telur dan *silica fume*.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan bagian akhir dari skripsi yang berisikan kesimpulan dan saran dari hasil pengujian dan analisa data.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Untuk mendukung penyusunan penelitian ini, penulis menyajikan beberapa hasil penelitian terdahulu sebagai bahan referensi. Selain itu, penulis juga menjelaskan antara penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian terdahulu.

Penelitian yang dilakukan oleh che *et al.* (2022) mengkaji penggunaan serbuk cangkang telur sebagai pengganti sebagian semen pada beton mutu M25 (25 MPa). Variasi penggantian semen yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan ESP sebesar 10% menghasilkan kuat tekan optimum pada umur 28 hari, yaitu sebesar 32,40 MPa, lebih tinggi dibandingkan beton normal yang memiliki kuat tekan sebesar 28,65 MPa. Namun, pada persentase penggantian di atas 10%, kuat tekan beton mengalami penurunan. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa penggunaan serbuk cangkang telur sebesar 10% sebagai pengganti sebagian semen dapat meningkatkan kuat tekan beton dan berpotensi dimanfaatkan sebagai material alternatif yang ramah lingkungan.

Penelitian yang dilakukan oleh Ashariyanto *et al.* (2022) mengkaji pengaruh penggunaan serbuk cangkang telur sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton. Variasi serbuk cangkang telur yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, dan 20%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan beton meningkat seiring dengan penambahan serbuk cangkang telur hingga variasi 10%, yaitu sebesar 16,941 MPa, lebih tinggi dibandingkan beton normal sebesar 14,582 MPa. Akan tetapi, penggunaan serbuk cangkang telur sebesar 20% menyebabkan kuat tekan beton menurun menjadi 10,829 MPa. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa penggunaan serbuk cangkang telur sebesar 10% merupakan variasi yang menghasilkan kuat tekan beton tertinggi.

Penelitian yang dilakukan oleh Pushpan *et al.* (2023) mengkaji pemanfaatan serbuk cangkang telur sebagai bahan pengganti sebagian semen pada beton dengan mutu rencana 20 MPa. Variasi penggantian semen yang digunakan adalah 10%,

20%, 30%, 40%, dan 50% dari berat semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan serbuk cangkang telur mampu meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal hingga kadar optimum tertentu. Pada umur 28 hari, kuat tekan beton normal sebesar 26,35 MPa meningkat menjadi 29,20 MPa pada penggunaan ESP sebesar 20%, yang merupakan nilai optimum dalam penelitian tersebut. Peningkatan kuat tekan tersebut menunjukkan bahwa kandungan kalsium karbonat yang tinggi pada serbuk cangkang telur dapat berkontribusi dalam meningkatkan kepadatan matriks beton dan meningkatkan kualitas ikatan pasta semen, sehingga berpotensi digunakan sebagai material alternatif pengganti sebagian semen yang ramah lingkungan.

Penelitian yang dilakukan oleh Arman *et al.* (2023) mengkaji pengaruh penambahan *silica fume* terhadap kuat tekan beton. Variasi *silica fume* yang digunakan adalah 0%, 4%, 7%, dan 10% dari berat semen dengan mutu rencana beton K-250 atau setara dengan 25 MPa. Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari menunjukkan bahwa beton normal memiliki kuat tekan sebesar 27,02 MPa. Penambahan *silica fume* sebesar 4% meningkatkan kuat tekan beton menjadi 27,45 MPa. Namun, pada penambahan *silica fume* sebesar 7%, kuat tekan beton menurun menjadi 24,76 MPa, dan kembali menurun pada variasi 10% menjadi 19,75 MPa. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, penambahan *silica fume* sebesar 4% merupakan variasi optimum karena menghasilkan kuat tekan tertinggi, yaitu sebesar 27,45 MPa.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Faisal *et al.* (2024) mengkaji pengaruh penggunaan *silica fume* terhadap komposisi campuran beton dan kuat tekan beton. Penelitian tersebut menggunakan beton mutu normal K-300 dengan variasi penambahan *silica fume* sebesar 4%, 6%, dan 8% dari berat semen. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan pengujian kuat tekan beton pada umur 7, 14, dan 28. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *silica fume* dapat meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal. Pada umur 28 hari, beton normal memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 303 kg/cm², sedangkan beton dengan penambahan *silica fume* 4% memperoleh kuat tekan sebesar 313 kg/cm², *silica fume* 6% sebesar 324 kg/cm², dan *silica fume* 8% sebesar 334 kg/cm². Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan *silica fume*

memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kuat tekan beton karena *silica fume* memiliki kandungan silika tinggi dan ukuran partikel yang sangat halus sehingga mampu memperbaiki mikrostruktur beton.

Dari studi sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa penggunaan sebagian pengganti semen, terutama serbuk cangkang telur dan *silica fume*, memengaruhi karakteristik beton. Pada tingkat penggantian sekitar 10% - 20% masih dapat menghasilkan kekuatan tekan optimal. Di sisi lain, penggunaan SCT melebihi batas optimal dapat menyebabkan penurunan kekuatan tekan akibat peningkatan porositas dan penurunan kohesi dalam matriks beton. *Silica fume* telah terbukti meningkatkan kekuatan tekan beton melalui mekanisme pozzolanik dan pengisian pori-pori mikro, dengan tingkat penggantian optimal berkisar antara 4% - 8% tergantung pada komposisi beton dan kondisi pengujian. Perbedaan hasil antara studi menunjukkan bahwa kinerja beton sangat dipengaruhi oleh perbedaan bahan, perbandingan campuran, dan teknik pengujian, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengeksplorasi kombinasi dan proporsi terbaik bahan pengganti semen guna mencapai kinerja beton yang maksimal dan berkelanjutan.

2.2 Serbuk Cangkang Telur (SCT)

Serbuk cangkang telur merupakan limbah biomaterial yang tinggi akan kalsium karbonat (CaCO_3) dan telah banyak diteliti sebagai bahan tambah ramah lingkungan dalam beton (Harmiyati *et al.*, 2024). c

Tabel 2.1: Komposisi Kimia Cangkang telur (Sumber: Sorisi *et al.*, 2020).

Mineral	% dari berat total	g/berat total
Kalsium (Ca)	37,30	2,30
Magnesium (Mg)	0,38	0,02
Fosfor (P)	0,35	0,02
Karbonat (CO_3)	58,00	3,50
Mangan (Mn)	7	ppm

Cangkang telur diperkirakan mengandung sekitar 94% kalsium karbonat (CaCO_3), sehingga berpotensi menjadi alternatif yang cukup baik untuk menggantikan bahan dalam produksi semen kapur (Rathinavel *et al.*, 2023).

Tingginya kandungan CaCO_3 tersebut menjadikan serbuk cangkang telur berpotensi digunakan sebagai bahan pengganti parsial semen, terutama karena ukuran partikelnya yang halus serta sifat kimianya yang dapat memengaruhi proses hidrasi semen (Shiferaw *et al.*, 2019). Permukaan ESP mampu menarik ion kalsium (Ca^{2+}), yang mendukung tahap awal pembentukan hidrat silikat kalsium (C–S–H) selama proses hidrasi semen.

Terlepas dari kontribusi positif terhadap proses hidrasi, penggunaan serbuk cangkang telur sebagai pengganti sebagian semen tetap memengaruhi sifat beton segar, khususnya *workability*. Berbagai studi menunjukkan bahwa peningkatan persentase SCT dalam campuran beton dapat menyebabkan penurunan *workability*, yang ditunjukkan dengan berkurangnya nilai slump seiring dengan peningkatan kadar SCT (Majeed *et al.*, 2025). Namun, tingkat penyerapan air yang relatif tidak tinggi dari SCT memungkinkan bahan ini masih dapat digunakan dalam proporsi tertentu tanpa menimbulkan permasalahan serius terhadap *workability* beton (Mushtaq *et al.*, 2025).

2.3 Silica Fume (SF)

Silica fume (SF) merupakan material pozzolanik berukuran sangat halus yang digunakan dalam beton karena mampu bertindak sebagai *microfiller* (Professor *et al.*, 2020). Selama proses hidrasi semen, kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang terbentuk bereaksi dengan silika amorf dari *silica fume* sehingga menghasilkan tambahan gel hidrat silikat kalsium (C–S–H), yang berkontribusi terhadap peningkatan kuat tekan beton (Damdelen *et al.*, 2025). Beton yang mengandung *silica fume* memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap serangan asam, sulfat, dan bahan kimia agresif dibandingkan beton normal (Jagan & Neelakantan, 2021).

Selain meningkatkan kuat tekan beton, penambahan *silica fume* juga diketahui memperbaiki mikrostruktur beton melalui pengurangan porositas total dan peningkatan kepadatan pasta semen (Gleize *et al.*, 2003). Hal ini disebabkan oleh ukuran partikel *silica fume* yang sangat halus sehingga mampu mengisi rongga-rongga kecil dalam pasta semen, serta mendorong pembentukan produk hidrasi C–S–H yang lebih rapat dibandingkan tanpa penambahan *silica fume*.

(Chaudhary & Sinha, 2020). Penggunaan *silica fume* dapat menghasilkan beton dengan struktur yang lebih rapat, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan kepadatan dan kuat tekan beton (Zulkarnain *et al.*, 2026).

Penggunaan *silica fume* sebagai bahan tambahan pada beton dilaporkan dapat menurunkan workability beton segar, yang ditunjukkan oleh berkurangnya nilai slump seiring dengan meningkatnya kadar *silica fume* dalam campuran (Hamada *et al.*, 2023). Peningkatan persentase *silica fume* dapat mengurangi *workability* dan membuat beton menjadi lebih kental karena ukuran partikelnya yang sangat halus serta luas permukaan spesifik yang tinggi sehingga meningkatkan kebutuhan air dalam campuran (Safitri *et al.*, 2023). Pengaruh tersebut bergantung pada kadar *silica fume* yang digunakan, di mana penurunan slump lebih terlihat pada variasi kadar tinggi (Damdelen *et al.*, 2025).

Tabel 2.2: Komposisi kimia semen portland biasa (OPC) tipe 1 dan *silica fume* (Sumber: Cea *et al.*, 2025).

Constituent	OPC (Mass %)	<i>Silica Fume</i>
SiO_2	21,9	93,0
Al_2O_3	4,9	0,4
Fe_2O_3	3,7	0,5
CaO	62,3	0,7
MgO	2,0	0,5
K_2O	0,5	0,8
Na_2O	0,3	-
SO_3	2,2	-
<i>Loss on ignition (LOI)</i>	1,78	1,5
Sum	99,5	97,4

2.4 Interaksi Antara Serbuk Cangkang Telur dan *Silica Fume*

Serbuk cangkang telur merupakan limbah biomaterial yang tinggi akan kalsium karbonat ($CaCO_3$) dan telah banyak diteliti sebagai bahan pengganti sebagian semen (Harmiyati *et al.*, 2024). . Sementara itu, *silica fume* merupakan material pozzolanik berukuran sangat halus yang berfungsi sebagai *microfiller*

dalam campuran beton (Professor *et al.*, 2020). Penggunaan simultan kedua bahan ini diharapkan dapat meningkatkan kinerja beton, di mana serbuk cangkang telur menyumbang kalsium, sementara *silica fume* bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) untuk membentuk hidrat silikat kalsium tambahan (C–S–H) (Siddique & Khan., 2011).

Othman *et al.* (2026) menunjukkan bahwa penggabungan SCT dengan bahan aditif, seperti *silica fume* (SF), mampu menghasilkan komposit dengan sifat mekanik yang lebih baik pada aplikasi mortar maupun beton. Penggunaan SF sebagai pengganti sebagian semen dapat meningkatkan kinerja material berbasis semen melalui peningkatan kepadatan mikrostruktur dan aktivitas pozzolanik. Selain itu, SCT dilaporkan memberikan peningkatan kuat tekan yang lebih baik dibandingkan fly ash dan rice husk ash ketika digunakan dalam proporsi kecil, yaitu sekitar 5–15%. Namun, penggunaan SCT pada kadar yang lebih tinggi cenderung menyebabkan penurunan kinerja struktural beton. Oleh karena itu, penggunaan SCT sebagai pengganti sebagian semen umumnya dibatasi hingga 15%, karena pada persentase yang lebih tinggi kuat tekan beton cenderung mengalami penurunan.

Sohu *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa kombinasi material kaya kalsium dan material pozzolanik kaya silika dalam sistem binder biner maupun ternary dapat meningkatkan reaksi pozzolanik dan mempercepat pembentukan hidrat kalsium silikat (C–S–H), sehingga berkontribusi pada perbaikan mikrostruktur dan kinerja mekanik beton. Namun demikian, penelitian tersebut juga menegaskan bahwa penggunaan material substitusi semen dalam kadar yang berlebihan dapat menimbulkan efek pengenceran (*dilution effect*) akibat berkurangnya kandungan klinker aktif dan keterbatasan ketersediaan Ca(OH)_2 , yang pada akhirnya berdampak negatif terhadap kinerja beton.

2.5 Bahan Dasar Dalam Pembentukan Beton

Dalam proses pembuatan beton, terdapat beberapa bahan dasar yang akan dijelaskan oleh penulis, yaitu:

2.5.1 Semen

Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland adalah jenis semen hidraulik yang diproduksi dengan cara menggiling klinker portland, yang terutama terdiri dari silikat kalsium hidrolis, dan dicampur dengan satu atau lebih jenis kristal senyawa sulfat kalsium sebagai bahan tambah, serta bahan tambah lain juga dapat ditambahkan (Badan Standarisasi Nasional, 2004).

Secara fungsional, semen merupakan bubuk halus yang berperan sebagai bahan pengikat hidrolis dalam campuran beton dan akan bereaksi secara kimia ketika dicampur dengan air (Ali *et al.*, 2023). Secara umum, kinerja semen ditentukan oleh reaksi hidrasi yang terjadi ketika semen dicampur dengan air, yang menghasilkan produk hidrasi berperan dalam menentukan sifat mekanik beton (Li *et al.*, 2024). Salah satu jenis semen yang paling banyak digunakan dalam konstruksi adalah *Ordinary Portland Cement* (OPC).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semen OPC memiliki waktu pengeringan akhir yang lebih singkat dan relatif lebih stabil terhadap perubahan suhu dan kelembaban dibandingkan dengan semen PCC (Azra Nazirah Nafiah *et al.*, 2025). *Ordinary Portland Cement* (OPC) menghasilkan produk hidrasi utama berupa hidrat silikat kalsium (C–S–H) dan hidroksida kalsium (CH), yang juga dikenal sebagai *portlandite*, yang terbentuk melalui reaksi hidrasi antara komponen alit (C₃S) dan belit (C₂S) (Borno *et al.*, 2025). Fase C–S–H berfungsi sebagai bahan pengikat utama yang memberikan kekuatan pada beton, sementara *portlandite* berperan dalam menjaga keseimbangan kimia selama proses pengerasannya (Pushpan *et al.*, 2023).

Penelitian menunjukkan bahwa beton yang menggunakan *Ordinary Portland Cement Type I* (OPC) umumnya memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton yang menggunakan *Portland Pozzolan Cement* (PPC), sehingga OPC dianggap lebih efektif dalam mencapai kualitas beton yang diinginkan (Batubara & Pangaribuan, 2023).

2.5.2 Agregat Halus

Agregat halus merupakan salah satu komponen utama dalam campuran beton yang berfungsi mengisi rongga antar agregat kasar serta meningkatkan

kepadatan campuran (Kencanawati *et al.*, 2023). Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2847-2002), agregat halus berupa pasir alami didefinisikan sebagai hasil pelapukan alami batuan atau sebagai produk yang dihasilkan oleh industri pengolahan batu, dengan ukuran butir maksimum 5,0 mm. Berdasarkan sumber asalnya, agregat ini dibagi menjadi tiga jenis utama, yaitu pasir tambang, pasir sungai, dan pasir buatan yang dihasilkan dari proses penghancuran batu (Setiawan & Subhan, 2022).

Berdasarkan (SK SNI S-04-1989-F) agregat halus untuk beton harus memenuhi kriteria tertentu, baik dari segi asal material, kekuatan butiran, maupun kebersihannya. Pasir yang digunakan dapat berasal dari proses alami atau hasil pemecahan batuan, dengan butiran yang kuat dan tahan terhadap pengaruh lingkungan. Kandungan lumpur dibatasi agar tidak melebihi 5% dari berat kering agregat, dan penggunaan pasir laut dibatasi kecuali atas izin lembaga pengujian material yang berwenang.

2.5.3 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah material berbutir kasar yang digunakan sebagai salah satu bahan penyusun utama dalam beton, baik yang berasal dari proses alami maupun hasil pemecahan batuan (Adriansyah, 2024). Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2847:2002), agregat kasar berupa kerikil yang dihasilkan dari pelapukan alami batuan atau batu pecah yang diperoleh dari industri pengolahan batu, dengan ukuran butiran antara 4,75 mm dan 40 mm.

Berdasarkan (SK SNI S-04-1989-F), agregat kasar untuk beton harus memenuhi persyaratan teknis tertentu. Agregat kasar dapat berupa kerikil alami atau batu pecah hasil pemecahan batuan dengan ukuran butir umumnya lebih besar dari 5 mm. Agregat harus memiliki butiran yang kuat, keras, dan tidak berpori, dengan kandungan butiran pipih dibatasi maksimal 20% dari berat agregat. Selain itu, kandungan lumpur pada agregat kasar tidak boleh melebihi 1% dari berat kering agregat.

2.5.4 Air

Air digunakan sebagai bahan pencampur dalam beton untuk mengikat semen dan agregat, dan pada umumnya air layak minum memenuhi syarat sebagai

air pencampur beton selama bebas dari partikel tersuspensi, zat terlarut berlebih, dan bahan organik (Dari *et al.*, 2024). Menurut BS EN 1008:2002, kualitas air yang digunakan sebagai campuran dalam produksi beton dapat memengaruhi waktu pengeringan, meningkatkan kekuatan beton, dan melindungi tulangan baja dari korosi. Hal ini didukung oleh hasil penelitian yang menunjukkan bahwa kualitas air mempengaruhi kekuatan dan kualitas keseluruhan beton (Mbuh *et al.*, 2024).

Rasio air – semen merupakan faktor penting yang memengaruhi kinerja beton, terutama dalam menentukan permeabilitas dan kuat tekan material (Soltani *et al.*, 2022). Penambahan air yang berlebihan dalam campuran beton dapat meningkatkan porositas dan menurunkan kuat tekan, serta memperbesar potensi terjadinya bleeding (Soltani *et al.*, 2022). Oleh sebab itu, pengaturan proporsi campuran beton yang optimal, terutama rasio semen – air, menjadi faktor krusial untuk menjamin kelancaran proses pencetakan, kestabilan viskositas campuran, dan pencapaian kinerja beton yang optimal (Saifudin *et al.*, 2020).

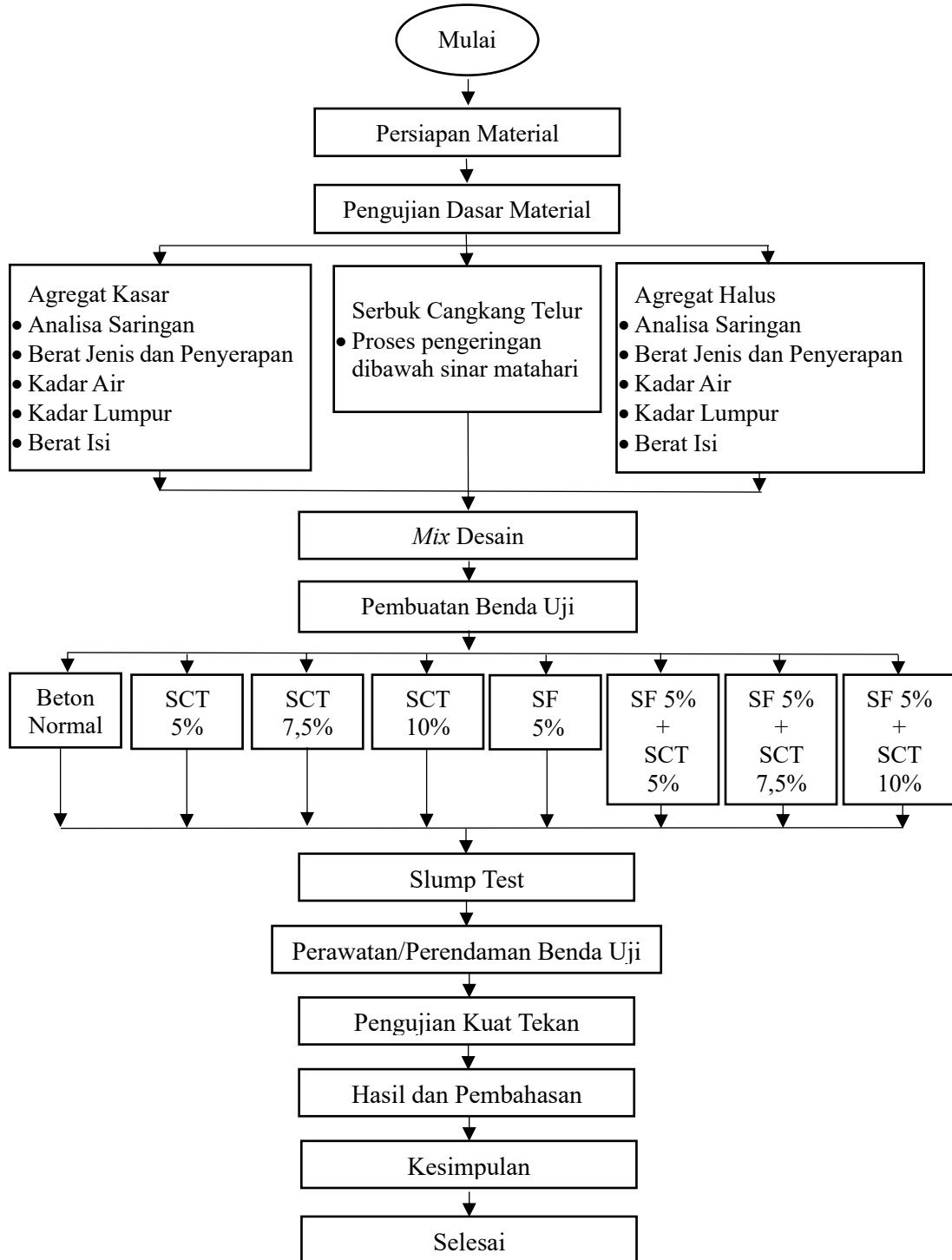
2.6 Pengujian Kuat Tekan Beton

Untuk mengetahui mutu dan kualitas beton yang dihasilkan, diperlukan pengujian kuat tekan sebagai salah satu parameter utama dalam evaluasi kinerja beton (Syahrul & Amir, 2023). Menurut SNI 1974:2011, pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan benda uji silinder yang diberi beban tekan secara aksial hingga mencapai beban maksimum.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1: Diagram Alir Penelitian.

3.2 Tahap Penelitian

1. Mulai

Tahap awal penelitian meliputi penentuan metode, variabel penelitian, serta mempersiapkan kebutuhan penelitian yang digunakan dalam penelitian.

2. Persiapan Material

Pada tahap meliputi persiapan bahan penelitian berupa semen, agregat halus, agregat kasar, air, *Silica Fume* (SF), dan Serbuk Cangkang Telur (SCT) sebelum digunakan dalam campuran beton.

3. Pengujian Dasar Material

Pengujian agregat dilakukan terhadap agregat halus dan agregat kasar sebelum digunakan dalam campuran beton. Pengujian ini meliputi analisis saringan, berat jenis dan penyerapan air, kadar air, kadar lumpur, serta berat isi. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik agregat dan memastikan kesesuaiannya terhadap persyaratan mutu beton sesuai standar yang berlaku.

4. Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Campuran beton diformulasikan berdasarkan standar SNI 03-2834-2000, dengan variasi substitusi sebagian semen menggunakan Serbuk Cangkang Telur (SCT) sebesar 5%, 7,5%, dan 10%. Selain itu, dibuat variasi campuran dengan penambahan *silica fume* sebesar 5% pada setiap variasi SCT. Seluruh proporsi campuran kemudian dihitung untuk menghasilkan beton dengan mutu yang direncanakan.

5. Pembuatan Benda Uji

- a. Menyiapkan dan mencampurkan material beton sesuai dengan komposisi campuran yang telah direncanakan.
- b. Melakukan pengujian slump untuk mengetahui tingkat kelecakan campuran beton.
- c. Menuangkan campuran beton ke dalam cetakan silinder dan melakukan pemadatan.
- d. Mengeluarkan benda uji dari cetakan setelah ± 24 jam untuk selanjutnya dilakukan perawatan (*curing*).

6. Perawatan / Perendaman Benda Uji

Perawatan benda uji dilakukan dengan metode *water curing*, yaitu merendam benda uji dalam air setelah dikeluarkan dari cetakan pada umur ± 24 jam. Perawatan dilakukan hingga benda uji mencapai umur 28 hari untuk menjaga proses hidrasi semen berlangsung secara optimal.

7. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada benda uji umur 28 hari menggunakan mesin uji tekan untuk memperoleh nilai kuat tekan beton sebagai data penelitian.

8. Analisa dan Pembahasan

Data hasil pengujian kuat tekan beton diolah dan dianalisis dengan membandingkan hasil setiap campuran beton yang diteliti, kemudian digunakan sebagai dasar pembahasan dan penarikan kesimpulan.

9. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data, disusun kesimpulan mengenai pengaruh SCT dan SF terhadap kuat tekan beton serta persentase optimum yang dihasilkan.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium. Metode ini dilakukan melalui tahapan persiapan material, pengujian karakteristik material, perancangan campuran beton, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian kuat tekan beton, serta analisis data hasil pengujian. Data yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisis sebagai dasar pembahasan serta penarikan kesimpulan penelitian.

3.4 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, meliputi pembuatan benda uji dan pengujian kuat tekan beton. Seluruh rangkaian kegiatan penelitian berlangsung pada periode April–Juni 2026.

3.5 Sumber dan Pengambilan Data

3.5.1 Data Primer

Data primer diperoleh dari hasil pemeriksaan material dan pengujian beton yang dilakukan secara langsung. Pengumpulan data dilakukan pada setiap tahapan pengujian yang telah direncanakan. Pemeriksaan material, perancangan campuran beton, pembuatan benda uji, pengujian slump, perawatan benda uji dan pengujian kuat tekan dilaksanakan di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

1. Analisa Saringan (SNI ASTM C136-2012)
2. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (SNI 1970-2016)
3. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (SNI 1969-2016)
4. Berat Isi (SNI 03-4804-1998)
5. Kadar Air (SNI 1971:2011)
6. Kadar Lumpur (SNI 03-2461-1991/2002)
7. Perancangan Campuran Beton (SNI 03-2834-2000)
8. Uji Slump (SNI 1972-2008)
9. Perawatan/Perendaman Benda Uji (SNI 2493:2011)
10. Uji Kekuatan Tekanan Beton (SNI 1974-2011)

3.5.2 Data Sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini diperoleh dari berbagai sumber pustaka yang relevan, seperti buku, jurnal ilmiah, Standar Nasional Indonesia (SNI), serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan teknologi beton, serbuk cangkang telur dan *silica fume*. Data tersebut digunakan sebagai landasan teori dalam penyusunan tinjauan pustaka, acuan dalam perancangan campuran beton, pelaksanaan pengujian, serta analisis hasil penelitian. Selain itu, data sekunder juga digunakan sebagai untuk menentukan metode penelitian yang sesuai serta membandingkan hasil penelitian yang diperoleh dengan hasil penelitian terdahulu. Dengan demikian, data sekunder berperan penting dalam mendukung analisis dan dasar ilmiah penelitian.

3.6 Alat dan Bahan

Untuk mencapai hasil penelitian yang optimal, penelitian ini menggunakan peralatan dan bahan yang sesuai dengan standar dan peraturan yang berlaku. Peralatan dan bahan berikut ini digunakan dalam penelitian ini.

3.6.1 Alat

Sebagian besar peralatan yang diperlukan untuk penelitian ini sudah tersedia di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah. Namun, beberapa peralatan pendukung, seperti masker dan sarung tangan, harus disediakan secara mandiri. Berikut adalah peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini:

1. Timbangan Digital

Alat ini digunakan untuk menimbang semua bahan yang membentuk beton, termasuk semen, agregat halus, agregat kasar, air, *silica fume*, dan serbuk cangkang telur.

2. *Mixer* Beton

Alat ini digunakan untuk mencampur semua bahan beton hingga tercampur secara merata.

3. Cetakan Silinder Beton (Diameter 15 cm; Tinggi = 30 cm)

Digunakan sebagai cetakan untuk membentuk benda uji beton berbentuk silinder.

4. Tongkat Pemadat (Diameter 16 mm; Panjang 600 mm)

Tongkat ini digunakan untuk menusuk berulang kali beton pada setiap lapisan, sehingga udara yang terjebak dapat keluar. Proses pemadatan ini sangat penting untuk menghasilkan beton yang padat dan kuat.

5. Tabung Ukur

Tabung ukur digunakan untuk memastikan bahwa volume air sesuai dengan desain campuran sehingga kelecakan dan kuat tekan beton tetap sesuai rencana.

6. Palu Karet

Palu karet digunakan untuk mengetuk sisi cetakan beton guna membantu proses pemadatan campuran mengurangi rongga udara pada benda uji.

7. Saringan

Saringan digunakan untuk menentukan distribusi ukuran agregat halus dan agregat kasar:

- Agregat halus : No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, PAN
- Agregat Kasar : 1 ½”, 3/4”, 3/8”, No.4, PAN

8. Ember

Ember digunakan untuk menampung atau memindahkan bahan selama proses pembuatan beton.

9. Sekop

Sekop digunakan untuk memindahkan agregat dari timbangan atau wadah sebelum pencampuran.

10. Sendok Perata

Sendok perata digunakan untuk memindahkan dan meratakan campuran beton ke dalam cetakan.

11. Pan

Berfungsi sebagai wadah pada saat pengadukan beton.

12. *Stopwatch*

Digunakan untuk mengukur waktu pengujian pada beton.

13. Piknometer

Alat yang digunakan untuk pengujian berat jenis.

14. Oven

Digunakan untuk mengeringkan sampel beton .

15. Bak Perendam

Untuk merendam benda uji beton yang telah dilepas dari cetakan.

16. Plastik 10 kg

Untuk wadah material yang telah siap untuk di *mixer*.

17. Minyak dan Kuas

Untuk melumasi cetakan silinder agar saat melepas cetakan beton tidak sulit.

18. Satu Set alat Slump Tes

Yang terdiri dari kerucut *abrams*, penggaris dan plat.

19. Mesin Uji Kuat Tekan (*Compression Testing Machine*)

Alat yang digunakan untuk mengukur kuat tekan beton

3.6.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat beton:

1. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen Portland Tipe sesuai SNI 2049-1-2020 yang diperoleh dari PT. Wijaya Karya Beton Tbk (WIKABETON) Tembung.

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan berupa pasir alam yang diperoleh dari toko bangunan setempat dan digunakan sebagai material pengisi dalam campuran beton.

3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan berupa pasir alam yang diperoleh dari toko bangunan setempat dan digunakan sebagai material pengisi dalam campuran beton.

4. Air

Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan digunakan untuk proses pencampuran serta perawatan benda uji beton.

5. Serbuk Cangkang Telur

Serbuk Cangkang Telur yang digunakan dalam penelitian diperoleh melalui pembelian *marketplace* diperoleh melalui pembelian *marketplace* dalam bentuk bubuk halus dan digunakan sebagai pengganti sebagian semen.

6. *Silica Fume*

Silica fume yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui pembelian *marketplace* dalam bentuk bubuk halus dan digunakan sebagai pengganti sebagian semen sebesar 5%.

3.7 Persiapan Bahan Tambah

Sebelum proses pencampuran dilakukan, terdapat bahan tambahan yang perlu dipersiapkan terlebih dahulu agar dapat digunakan, yaitu Serbuk Cangkang Telur. Berikut adalah metode persiapan bahan tambahan tersebut:

3.7.1 Serbuk Cangkang Telur

Serbuk Cangkang Telur (SCT) yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari *marketplace* dalam kondisi siap pakai. Oleh karena itu, proses pengumpulan, pencucian, dan penggilingan awal tidak dilakukan dalam penelitian ini. Meskipun demikian, serbuk cangkang telur tetap melalui beberapa tahapan persiapan sebelum digunakan dalam campuran beton untuk memastikan keseragaman dan kualitas material.

Tahapan persiapan serbuk cangkang telur adalah sebagai berikut:

1. Serbuk cangkang telur yang diperoleh dari *marketplace* terlebih dahulu diperiksa secara visual untuk memastikan tidak terdapat kotoran asing atau gumpalan besar.
2. Serbuk cangkang telur yang telah dihaluskan kemudian dijemur hingga kering sebelum digunakan dalam proses pencampuran beton, untuk menghilangkan kelembapan yang mungkin terserap selama proses penyimpanan dan pengiriman.
3. Setelah proses pengeringan, serbuk didinginkan pada suhu ruang dan disimpan dalam wadah kedap udara guna mencegah penyerapan kelembapan sebelum digunakan.
4. Serbuk cangkang telur selanjutnya diayak menggunakan saringan No. 200.
5. Selesai.

3.8 Tahap Pengujian

Tahap pengujian dilakukan untuk memperoleh data yang digunakan dalam analisis penelitian. Pengujian meliputi pengujian agregat, pengujian slump, dan pengujian kuat tekan beton. Seluruh pengujian dilakukan sesuai dengan prosedur dan standar yang berlaku.

3.8.1 Pengujian Analisa Saringan

Pengujian analisa saringan dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran butiran agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan serangkaian saringan bertingkat sesuai SNI ASTM C136:2012. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan kurva gradasi agregat untuk keperluan perencanaan campuran beton.

$$a. \% \text{ Tertahan} = \frac{\text{Berat Tertahan}}{\text{Berat Total Sampel}} \times 100\% \quad (3.1)$$

$$b. \% \text{ Tertahan Komulatif} = \sum(\% \text{ Tertahan}) \quad (3.2)$$

Artinya seluruh persentase tertahan dijumlahkan secara berurutan.

$$c. \% \text{ Lolos} = 100\% - \% \text{ Tertahan Komulatif} \quad (3.3)$$

3.8.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air dilakukan untuk menentukan berat jenis curah (*bulk specific gravity*), permukaan jenuh kering (*SSD specific gravity*), berat jenis semu (*apparent specific gravity*), serta nilai penyerapan air pada agregat halus dan agregat kasar. Pengujian ini mengikuti standar SNI 1969:2016 untuk agregat kasar dan SNI 1970:2016 untuk agregat halus.

a. Agregat Kasar

Menghitung berat jenis dan penyerapan dengan persamaan:

$$\text{Berat Jenis Curah} \quad S_d = \frac{A}{(B-C)} \quad (3.4)$$

$$\text{Berat Jenis Curah Kondisi SSD} \quad S_s = \frac{B}{(B-C)} \quad (3.5)$$

$$\text{Berat Jenis Semu} \quad S_a = \frac{A}{(A-C)} \quad (3.6)$$

$$\text{Penyerapan} \quad S_w = \left[\frac{B-A}{A} \right] \times 100\% \quad (3.7)$$

Di mana:

A = Berat benda uji kering oven (gram)

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

C = Berat benda uji di dalam air (gram)

b. Agregat Halus

Menghitung berat jenis dan penyerapan:

$$\text{Berat Jenis Curah} \quad S_d = \frac{A}{(B+S-C)} \quad (3.8)$$

$$\text{Berat Jenis Curah Kondisi SSD} \quad S_s = \frac{S}{(B+S-C)} \quad (3.9)$$

$$\text{Berat Jenis Semu} \quad S_a = \frac{A}{(B+A-C)} \quad (3.10)$$

$$\text{Penyerapan Air} \quad S_w = \left[\frac{S-A}{A} \right] \times 100\% \quad (3.11)$$

Di mana:

A = Berat benda uji kering oven (gram)

B = Berat piknometer yang berisi air (gram)

C = Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram)

S = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan/SSD (gram).

3.8.3 Pengujian Berat Isi

Metode pengujian ini melibatkan penentuan densitas volume agregat dalam keadaan padat atau gembur, serta perhitungan rongga antar partikel pada agregat halus, kasar atau campuran agregat halus dan kasar. Seluruh proses pengujian ini dilakukan sesuai dengan persyaratan SNI 03-4804-1998.

Menghitung berat isi dengan persamaan:

$$\text{Volume Wadah} = \frac{1}{4} \pi d^2 t \quad (3.12)$$

$$\text{Berat Contoh} = (\text{berat wadah} + \text{isi}) - (\text{berat wadah}) \quad (3.13)$$

$$\text{Berat isi} = \frac{\text{Berat Contoh}}{\text{Volume Wadah}} \quad (3.14)$$

3.8.4 Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air bertujuan untuk menentukan kadar air yang terkandung dalam agregat halus dan agregat kasar sesuai SNI 1971:2011. Nilai diperoleh berdasarkan perbandingan berat agregat sebelum dan sesudah pengeringan.

Menghitung kadar air dengan persamaan:

$$\text{Kadar Air} = \frac{\text{berat SSD} - \text{berat kering oven}}{\text{berat kering oven}} \times 100\% \quad (3.15)$$

3.8.5 Pengujian Kadar Lumpur

Keberadaan lumpur dalam agregat tidak dapat dihindari karena bahan-bahan ini berasal dari sumber alam. Namun, keberadaan lumpur akan mempengaruhi kandungan air dalam campuran beton, yang pada gilirannya akan mempengaruhi kekuatan beton. Uji ini mengikuti standar seperti SNI 03-2461-2002.

Menghitung kadar lumpur dengan persamaan:

$$L = \frac{(A-C)}{A} \times 100\% \quad (3.16)$$

Di mana:

L = Persentase lumpur dalam agregat (%)

A = Berat agregat sebelum dicuci (kg)

C = berat agregat setelah dicuci dan kering oven (kg)

3.8.6 Perencanaan *Mix Design*

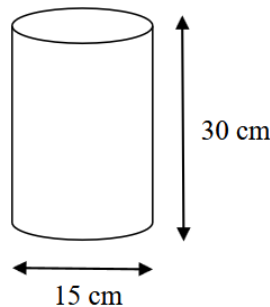
Mix design merupakan proses perencanaan komposisi campuran beton untuk menentukan jumlah masing-masing bahan penyusun agar diperoleh mutu beton yang diinginkan. Perancangan campuran beton dalam penelitian ini mengacu pada (SNI-03-2834, 2000).

Parameter perencanaan campuran beton:

1. Mutu beton rencana ($f'c$)
↪ 25 MPa
2. Metode perancangan campuran beton
↪ SNI 03-2834-2000
3. Jenis semen
↪ Semen Portland Tipe I
4. Bahan pengganti sebagian semen
↪ - Serbuk cangkang telur (SCT)
- *Silica Fume* (SF)
5. Nilai slump
↪ 60 mm – 180 mm
6. Bentuk dan ukuran benda uji
↪ Silinder
- Diameter ($\emptyset$) → 15 cm
- Tinggi (t) → 30 cm
7. Umur pengujian beton
↪ 28 hari
8. Jumlah Sampel
↪ 24 sampel

3.8.7 Pembuatan Benda Uji

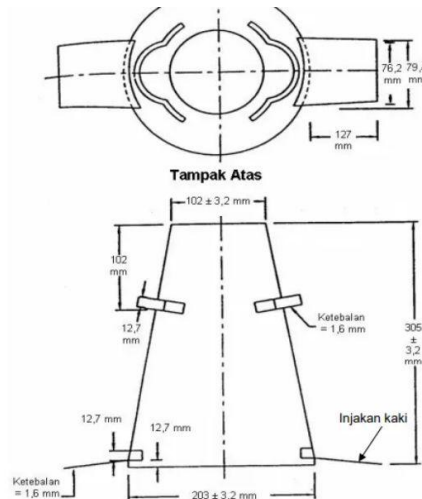
Pembuatan benda uji dilakukan setelah seluruh material dicampur sesuai proporsi yang ditentukan pada tahap mix design berdasarkan SNI 03-2834-2000. Campuran beton kemudian dimasukkan ke dalam cetakan silinder dan dipadatkan untuk mengurangi rongga udara di dalam campuran. Setelah proses pencetakan selesai, benda uji didiamkan selama 24 jam sebelum dilepas dari cetakan dan selanjutnya dirawat (*curing*) hingga umur 28 hari. Pada penelitian ini digunakan 24 benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.



Gambar 3.2: Benda Uji Silinder

3.8.8 Pengujian Slump Beton

Pengujian slump dilakukan untuk mengetahui tingkat konsistensi dan kemudahan pengerjaan (*workability*) beton segar sebelum proses pengecoran. Nilai slump diperoleh dari selisih tinggi antara kerucut Abrams dan tinggi beton setelah cetakan diangkat secara vertikal. Hasil pengujian digunakan untuk memastikan bahwa campuran beton memenuhi dengan nilai slump yang direncanakan. Pengujian ini mengacu pada SNI 1972:2008.



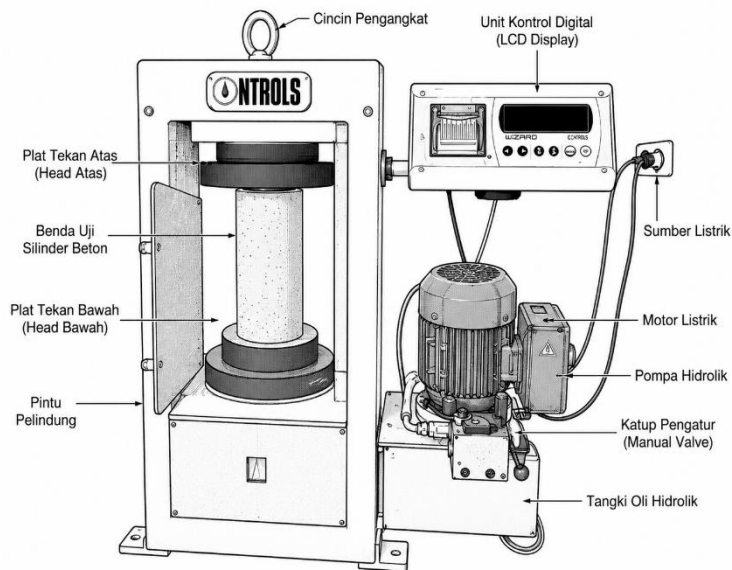
Gambar 3.3: Alat Uji Slump Tes (Sumber: SNI 1972:2008).

3.8.9 Perawatan / Perendaman Benda uji

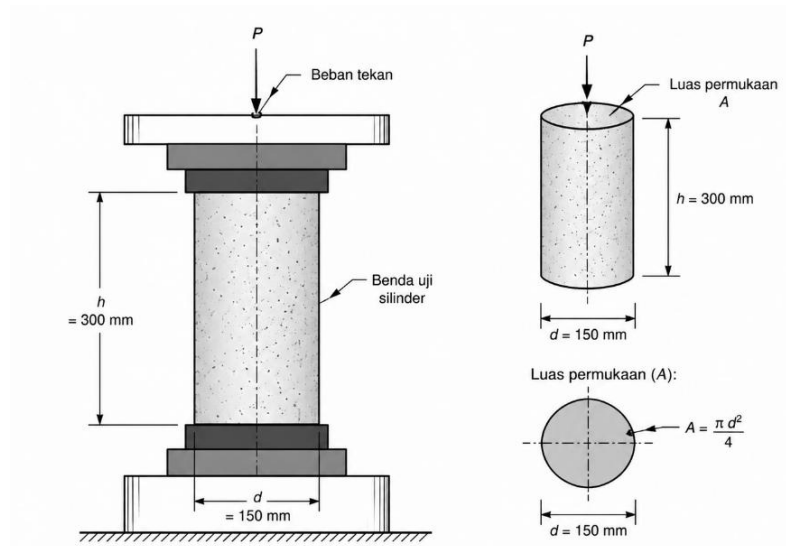
Perawatan benda uji (*curing*) dilakukan dengan metode perendaman dalam bak yang berisi air bersih setelah benda uji dilepas dari cetakan. Benda uji direndam hingga mencapai umur pengujian yang telah ditentukan, yaitu 28 hari. Metode perawatan ini bertujuan untuk menjaga kelembapan beton agar proses hidrasi semen dapat berlangsung secara optimal. Perendaman benda uji dilakukan sesuai dengan ketentuan SNI 2493:2011 tentang Tata Cara Perawatan Beton.

3.8.10 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk menentukan nilai kuat tekan beton pada masing-masing variasi campuran. Pengujian dilakukan terhadap benda uji silinder pada umur 28 hari menggunakan mesin uji tekan (*Compression Testing Machine*). Benda uji diberikan beban tekan secara aksial hingga mencapai beban maksimum atau mengalami keruntuhan. Pengujian ini mengacu pada SNI 1974:2011 tentang metode pengujian kuat tekan beton.



Gambar 3.4: Mesin Uji Kuat Tekan Beton (*Compression Testing Machine*).



Gambar 3.5: Benda Uji Silinder Saat Diuji Tekan.

Nilai kuat tekan beton dihitung berdasarkan beban maksimum yang diterima benda uji selama pengujian. Perhitungan kuat tekan beton menggunakan persamaan berikut:

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3.17)$$

Di mana:

f'_c = Kekuatan tekan beton (Mpa)

P = Gaya tekan aksial (N)

Adapun langkah – Langkah pengujian kuat tekan :

1. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam.
2. Permukaan benda uji dibersihkan.
3. Benda uji diletakkan pada plat tekan mesin CTM.
4. Beban diberikan secara bertahap hingga benda uji runtuh.
5. Beban maksimum dicatat

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

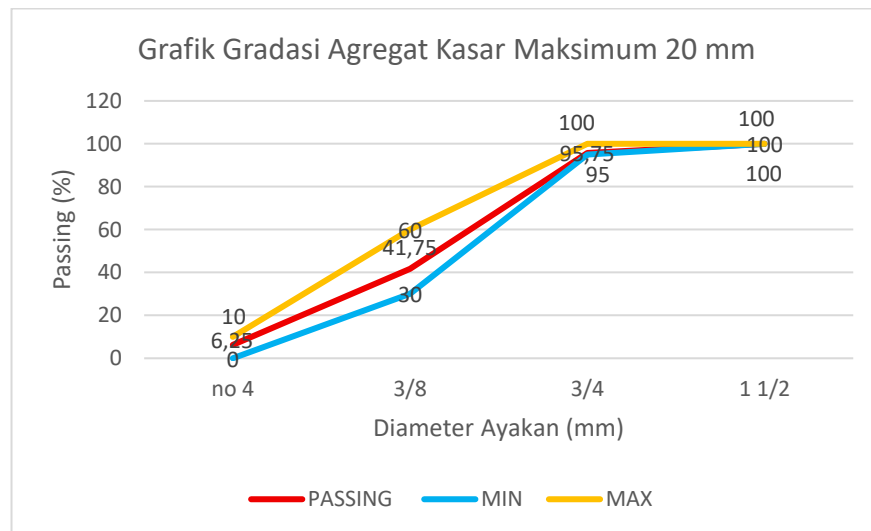
4.1 Umum

Bab ini menyajikan hasil pengujian material penyusun beton, hasil pengujian slump, dan hasil pengujian kuat tekan beton. Data yang diperoleh dianalisis untuk mengetahui pengaruh penggunaan Serbuk Cangkang Telur (SCT) dan *Silica Fume* (SF) sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton.

4.2 Pemeriksaan Agregat Kasar

4.2.1 Analisa Saringan

Pengujian ini dilaksanakan berdasarkan SNI ASTM C136:2012. Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar disajikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1: Gradasi Agregat Kasar.

4.2.2 Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dilakukan berdasarkan nilai berat jenis kering, berat jenis SSD, berat jenis semu, serta penyerapan air agregat kasar. Pengujian ini dilaksanakan berdasarkan SNI 1969:2016. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar didapat

dengan nilai rata-rata berat jenis kering agregat kasar sebesar 2,63, berat jenis SSD sebesar 2,65, dan berat jenis semu sebesar 2,67. Nilai penyerapan air yang diperoleh sebesar 0,42%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai berat jenis memenuhi hubungan berat jenis kering < berat jenis SSD < berat jenis semu, yang sesuai dengan karakteristik agregat normal.

4.2.3 Berat Isi

Hasil pengujian pada berat isi menunjukkan nilai rata-rata berat isi agregat kasar sebesar 1,96 gr/cm³. Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 03-4804-1998 dengan metode cara lepas, cara tusuk, dan cara penggoyangan. Nilai berat isi yang diperoleh melebihi batas minimum SII No.52-1980 sebesar 1,2 gr/cm³, sehingga agregat kasar yang digunakan memenuhi persyaratan untuk campuran beton.

4.2.4 Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

Pengujian kadar air agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 1971:2011 untuk mengetahui kandungan air dalam agregat yang digunakan pada penelitian. Hasil pengujian kadar air agregat kasar diperoleh nilai kadar air agregat kasar sebesar 1,10 % pada Sampel I dan 1,14% pada Sampel II. Dari kedua hasil pengujian tersebut diperoleh nilai kadar air rata-rata sebesar 1,12%. Nilai ini menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan masih mengandung sejumlah air pada saat pengujian. Data kadar air tersebut digunakan sebagai dasar dalam melakukan koreksi kebutuhan air pada perencanaan campuran beton agar proporsi campuran yang digunakan sesuai dengan hasil perhitungan mix design.

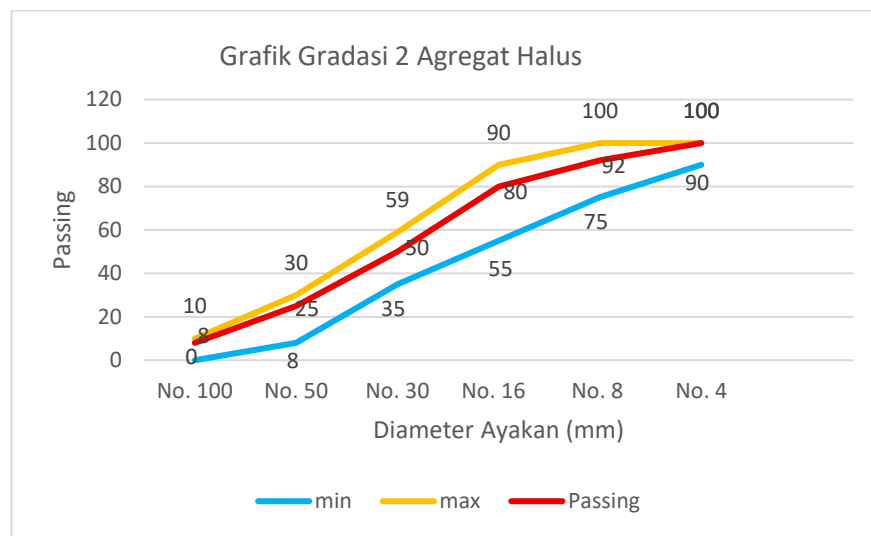
4.2.5 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

Hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar berdasarkan SNI 03-2461-1991/2002 diperoleh nilai kadar lumpur agregat kasar rata-rata sebesar 0,69%. Nilai tersebut masih berada dibawah batas maksimum 1% sesuai SK SNI S-04-1989-F, sehingga agregat kasar memenuhi persyaratan.

4.3 Pemeriksaan Agregat Halus

4.3.1 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian analisis saringan agregat halus dilaksanakan berdasarkan SNI ASTM C136:2012 diperoleh nilai Modulus Kehalusan (FM) agregat halus sebesar 2,45. Nilai tersebut memenuhi persyaratan agregat halus karena masih berada dalam rentang yang diizinkan, yaitu 1,5 – 3,8. Berdasarkan gradasinya, agregat halus yang digunakan termasuk dalam Zona II.



Gambar 4.2:Grafik Gradasi Agregat Halus.

4.3.2 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh nilai rata-rata berat jenis kering agregat halus sebesar 2,36, berat jenis SSD sebesar 2,42, dan berat jenis semu sebesar 2,49. Nilai penyerapan air yang diperoleh sebesar 2,14%. Nilai berat jenis SSD yang lebih besar dibandingkan berat jenis kering menunjukkan adanya penyerapan air ke dalam pori agregat pada kondisi jenuh kering permukaan (SSD). Pengujian ini dilaksanakan sesuai prosedur yang ditetapkan dalam SNI 1970:2016, yang digunakan untuk menentukan berat jenis curah kering, berat jenis SSD, berat jenis semu, dan penyerapan air agregat halus.

4.3.3 Berat Isi Agregat Halus

Pengujian berat isi agregat halus dilakukan untuk mengetahui nilai berat isi agregat dalam kondisi gembur dan padat. Pengujian ini dilaksanakan berdasarkan SNI 03-4804-1998. Hasil pengujian berat isi agregat halus diperoleh nilai rata-rata berat isi agregat halus sebesar 1,88 gr/cm³. nilai tersebut lebih besar dari batas minimum 1,2 gr/cm³ yang diisyaratkan dalam SII No. 52-1980, sehingga agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan sebagai bahan penyusun campuran beton. Dengan demikian, pasir tersebut layak digunakan sebagai salah satu bahan penyusun campuran beton pada penelitian ini.

4.3.4 Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus

Pengujian kadar air agregat halus diperoleh nilai kadar air rata-rata sebesar 4,42%. Nilai ini menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan masih mengandung sejumlah air pada saat pengujian. Data kadar air tersebut digunakan sebagai dasar dalam melakukan koreksi kebutuhan air pencampur pada perencanaan campuran beton (*mix design*), sehingga faktor air semen yang direncanakan dapat tercapai sesuai kebutuhan penelitian. Pengujian ini dilakukan sesuai SNI 1971:2011.

4.3.5 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian kadar lumpur agregat halus dilakukan untuk mengetahui persentase material halus yang terkandung dalam agregat halus. Pengujian ini dilaksanakan berdasarkan SNI 03-2461-1991/2002. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai kadar lumpur agregat halus sebesar 2,61% pada Sampel I dan 2,69% pada Sampel II, sehingga diperoleh nilai rata-rata sebesar 2,65%. Nilai tersebut masih berada dibawah batas maksimum kadar lumpur agregat halus sebesar 5% yang diisyaratkan dalam SK SNI S-04-1989-F. Dengan demikian, agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan dan layak digunakan sebagai bahan penyusun campuran beton dalam penelitian ini.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pemanfaatan serbuk cangkang telur (SCT) dan silica fume (SF) sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggantian sebagian semen dengan serbuk cangkang telur, *silica fume*, maupun kombinasi keduanya memberikan pengaruh terhadap kuat tekan beton umur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran yang digunakan dalam penelitian ini menghasilkan peningkatan tekan dibandingkan beton normal, dengan peningkatan berkisar antara 2,19% hingga 6,60%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan SCT dan SF sebagai bahan pengganti sebagian semen mampu meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal.
2. Variasi dengan kuat tekan tertinggi pada penelitian ini diperoleh pada kombinasi SCT 5% + SF 5% pada umur 28 hari. Nilai tersebut meningkat dibandingkan beton normal, sehingga kombinasi SCT 5% + SF 5% terbukti memberikan peningkatan kuat tekan beton yang paling baik pada penelitian ini.

5.2 Saran

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

1. Penelitian selanjutnya dapat melakukan pengujian pada umur beton yang lebih panjang, seperti 56 hari atau 90 hari, untuk mengetahui perkembangan kuat tekan beton yang menggunakan serbuk cangkang telur dan *silica fume* sebagai pengganti sebagian semen.
2. Selain pengujian kuat tekan, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji sifat beton lainnya, seperti kuat tarik belah, kuat lentur, daya serap

air, dan durabilitas beton sehingga diperoleh informasi yang lebih lengkap mengenai pengaruh penggunaan serbuk cangkang telur dan *silica fume*.

3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai proses pengolahan serbuk cangkang telur, seperti pengaruh ukuran butiran atau proses kalsinasi, untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kinerja beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriansyah, M. R. (2024). Analisis Perbandingan Kuat Tekan Beton Antara Campuran Agregat Kasar Batu Pecah (Split) dan Agregat Kasar Batu Alam Sungai Noling. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 24(1), 47–54. <https://doi.org/10.35965/eco.v24i1.4188>
- Ali, P., Pujiastuti, H., Hidayati, N., & Yustissiani, E. (2023). Studi Kuat Tekan Beton Mutu Sedang Dengan Campuran Abu Sekam Padi dan Limbah Beton. *SIGMA: Jurnal Teknik Sipil*, 3(2), 1–10.
- Arman, A., Mulyati, M., Nugroho, F., Fakhri, F., & Fadhil Azman, H. (2023). Pengaruh Penambahan Silika Fume Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknologi Dan Vokasi*, 2(1), 9–16. <https://doi.org/10.21063/jtv.2024.2.1.9-16>
- Ashariyanto, Y., Intan, A., Diana, N., & Desharyanto, D. (2022). Pengaplikasian Serbuk Cangkang Telur sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan Beton Application of Eggshell Powder as a Partial Substitute for Cement Against Compressive Strength of Concrete. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 4(2), 114–119. <https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p114-119>
- Azra Nazirah Nafiah, Legasari, L., Anaser, N., & Safaruddin, S. (2025). Pengaruh Suhu Dan Kelembapan Terhadap Nilai Setting Time Pada Semen Pcc (Portland Composite Cement) Dan Opc (Ordinary Portland Cement). *PARADIGM: Journal Of Multidisciplinary Research and Innovation*, 3(01), 32–41. <https://doi.org/10.62668/paradigm.v3i1.1403>
- Badan Standarisasi Nasional. (2004). SNI 15-2049 Semen Portland. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 10(1), 1–128.
- Batubara, S., & Pangaribuan, W. (2023). Pengujian Kuat Tekan Beton Karakteristik Menggunakan Semen Opc Type I, Ppc Dan Pcc. *Jurnal Insinyur Profesional*, 3(1), 122–126. <https://doi.org/10.24114/jip.v3i1.42996>
- Borno, I. B., Haque, M. I., & Ashraf, W. (2025). Decalcification Kinetics of Calcium Silicate Hydrates: Role of Al Content, Crystallinity, and Initial pH. *Npj Materials Degradation*, 9(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41529-025-00669-5>
- Chaudhary, S. K., & Sinha, A. K. (2020). Effect of Silica Fume on Permeability and Microstructure of High Strength Concrete. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 6(9), 1697–1703. <https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091575>

- Damdelen, Ö., Mosaberpanah, M. A., Olabimtan, S. B., Anthony, M. D., & Oluwole, B. O. (2025). Binary effect of silica fume and waste glass powder as a cement replacement for a sustainable concrete. *Discover Concrete and Cement*, 2, 1–30. <https://doi.org/10.1007/s44416-025-00028-2>
- Dari, W., Kurniawan, D., & Zuheldi. (2024). *Mechanical Property Testing of Concrete Using*.
- Deepika, S., Chandra, A., Y, S. R., & C, R. K. (2019). Experimental Study On Egg Shell Powder (ESP) Concrete With Partial Replacement Of Micro Silica. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 67(6), 4–9.
- Faisal, M., Abrar, A., & Srihandayani, S. (2024). Analisis Penggunaan Silica Fume Terhadap Campuran Komposisi Rancangan Mutu Beton Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari. *JURNAL SLUMP TeS* :, 2(2), 2–9.
- Hamada, H. M., Abed, F., Binti Katman, H. Y., Humada, A. M., Al Jawahery, M. S., Majdi, A., Yousif, S. T., & Thomas, B. S. (2023). Effect of Silica Fume on the Properties of Sustainable Cement Concrete. *Journal of Materials Research and Technology*, 24, 8887–8908. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.05.147>
- Harmiyati, Syahputri13, D., & Purnomo, D. (2024). Pengaruh Cangkang Telur Terhadap Kuat Tekan, Porositas, Dan Permeabilitas Pada Beton Porous Sebagai Material Green Building. *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS)*, 1(2), 16–17. <https://doi.org/10.62603/konteks.v1i2.26>
- Jagan, S., & Neelakantan, T. R. (2021). Effect of Silica Fume on the Hardened and Durability Properties of Concrete. *International Review of Applied Sciences and Engineering* 12, 12(1), 1–6. <https://doi.org/10.1556/1848.2020.00129>
- Kencanawati, N. N., Rawiana, S., Rofaida, A., & Febriyanti, N. A. (2023). Identifikasi Karakteristik Fisik Agregat Halus dan Korelasinya pada Sifat Beton Segar. *REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development*, 4(2), 109–114. <https://doi.org/10.22487/renstra.v4i2.574>
- Li, X., Grassl, H., Hesse, C., & Dengler, J. (2024). Unlocking the Potential of Ordinary Portland Cement with Hydration Control Additive Enabling Low-Carbon Building Materials. *Communications Materials*, 5(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s43246-023-00441-9>
- Majeed, A., Umair, M., Jamal, Y., Khan, G. S., Aleem, A., & Mehmood, A. (2025). An Analysis of the Strength and Durability of Eggshell Powder-Modified Concrete Structures. *Sesjournal*, 3(5), 829–829. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15552804>
- Mbuh, K. M., Nsahlai, N. L., Penka, B. J., & Fru, C. P. (2024). Analysis of the Influence of Water Qualities on the Strength of Concrete. *Journal of*

Engineering and Applied Science, 71(1), 1–14.
<https://doi.org/10.1186/s44147-024-00432-8>

Mushtaq, J., Danish, P., Salem, I. Ben, Shahmir, N. G., Gilani, T. A., Wani, T., & Gull, I. (2025). Analyzing the Influence of Eggshell Powder (ESP) as Partial Replacement with Cement in Concrete. *Environmental Research and Technology*, 8(3), 593–602. <https://doi.org/10.35208/ert.1549955>

Noorfauzi, A. R., Gaby, S. R. P., & Attamimi, T. A. (2025). Silica Fume Sebagai Bahan Pengikat Tambahan Beton: Tinjauan Sistematis Peningkatan Kinerja Dan Keberlanjutan. *Jurnal Rekayasa Konstruksi*, 4(1), 17–27. <https://doi.org/10.34128/jrk.v4i1.47>

Othman, N. S., Nor, N., Noor, S., Saliah, M., & Nujid, M. (2026). A Bibliographic Analysis and Review of the Chemical Properties in Concrete : Eggshell Powder and Silica Fume. *Journal of Advanced Research in Micro and Nano Engineering*, 1(1), 124–139. <https://doi.org/10.37934/armne.42.1.124139124>

Professor, A., College, N., & Hyderabad. (2020). Effect of Silica Fume on the Mechanical Properties of Concrete: A Study on Strength and Durability. *International Journal of Engineering, Science and Humanities*, 10(02), 8–12. <https://www.ijesh.com/j/article/view/123>

Pushpan, S., Ziga-Carbarín, J., Rodríguez-Barboza, L. I., Sanal, K. C., Acevedo-Dávila, J. L., Balonis, M., & Gómez-Zamorano, L. Y. (2023). Strength and Microstructure Assessment of Partially Replaced Ordinary Portland Cement and Calcium Sulfoaluminate Cement with Pozzolans and Spent Coffee Grounds. *Materials*, 16(14). <https://doi.org/10.3390/ma16145006>

Rathinavel, N., Kannadasan, K., Mohamed Ismail, A. A., Degife Mammo, W., & Alagar, M. (2023). Impact of Eggshell Powder on the Mechanical and Thermal Properties of Lightweight Geopolymer. *Advances in Civil Engineering*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/6655921>

Safitri, M., Rosidawani, R., & Hanafiah, H. (2023). Sifat Fisik dan Mekanik Aerated Concrete Dengan Variasi Silica Fume. *Syntax Literate ; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 8(12), 6913–6923. <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v8i12.14563>

Saifudin, M. I., Zainuri, M., Wahab, M. S., Ibrahim, M. H., Marwah, O. M. F., & Saude, N. (2020). Emerging Natura IFiber-Reinforced Cement Materials and Technology for 3D Concrete Printing: A Review. *International Journal of Integrated Engineering*, 12(3), 161–177. <https://doi.org/10.30880/ijie.2020.12.03.020>

Senthilkumar, S., Sargunan, K., & Elango, S. (2023). Assessment of Strength of Concrete containing ESP and IESP as Partial Cement Replacement. *Journal*

of *Environmental Nanotechnology*, 12(3), 1–9.
<https://doi.org/10.13074/jent.2023.09.232469>

Setiawan, D., & Subhan, A. (2022). Perbandingan Kuat Tekan Beton Antara Penggunaan Agregat Gunung Jebrod Dengan Agregat Sungai Cisokan. *Konstruksia*, 13(2), 125. <https://doi.org/10.24853/jk.13.2.125-134>

Shiferaw, N., Habte, L., Thenepalli, T., & Ahn, J. W. (2019). Effect of Eggshell Powder on the Hydration of Cement Paste. *MDPI*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/ma12152483>

SNI-03-2834. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Beton Normal*.

SNI 1969:2016. (2016). Sni 1969 : 2016. *Metode Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar*, Jakarta : Badan Standarisasi Nasional, 1–23.

SNI 1970:2016. (2016). *Pdf-Sni-1970-2016-Metode-Uji-Berat-Jenis-Dan-Penyerapan-Air-Agregat-Halus_Compress.Pdf*.

SNI 1971:2011. (2011). Sni 03-1971-2011. *Standar Nasional Indonesia*, Badan Standardisasi Nasional. www.bsn.go.id

SNI ASTM C136:2012. (2012). Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–24.

Sohu, S., Bheel, N., Jhatial, A. A., Ansari, A. A., & Shar, I. A. (2022). Sustainability and mechanical property assessment of concrete incorporating eggshell powder and silica fume as binary and ternary cementitious materials. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(39), 58685–58697. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19894-5>

Soltani, M., Moayedfar, R., & Wenb, P. C. Y. (2022). Evaluating the Effect of Aggregate Size, Cement Content and Water-Cement Ratio on Performance of Pervious Concrete. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, 21(1), 63–79. <https://doi.org/10.7409/rabdim.022.004>

Syahrul, & Amir. (2023). Analisa Nilai Konversi Mutu Beton Pengujian Kekuatan Tekan dan Hammer Test. *Sebatik*, 27(2), 472–479. <https://doi.org/10.46984/sebatik.v27i2.2407>

Zulkarnain, F., Hasibuan, D. K., & Siregar, Z. (2026). The Effect of Fly Ash and Silica Fume As Filler Materials on The Tensile Strength and Modulus of Elasticity of Self-Compacting Concrete. *Teknologi*, 18(1). <https://doi.org/10.24853/jurtek.18.1.49-56>

Zulkarnain, F., Ichwan, M., Siregar, Z., & Muthusamy, K. (2025). The use of Coconut Shell Fragments and Sikament-NN as a Variation of Concrete Mix Composition on the Compressive Strength of Concrete The use of Coconut

Shell Fragments and Sikament- NN as a Variation of Concrete Mix Composition on the Compressive Strengt. *Journal of Physics: Conference Series*, 2989(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2989/1/012019>

LAMPIRAN

❖ Lampiran Dokumentasi



Gambar L.1: Pengujian Berat Jenis Agregat Halus Menggunakan Piknometer.



Gambar L.2: Penimbangan Sampel .



Gambar L.3: Pengeringan Sampel Menggunakan Oven.



Gambar L.4: Bahan Silica Fume.



Gambar L.5: Bahan Serbuk Cangkang Telur.



Gambar L.6: Penyaringan Serbuk Cangkang Telur.



Gambar L.7: Pemanasan Pycnometer Untuk Menghilangkan Gelembung Udara.



Gambar L.8: Pencampuran Material Menggunakan Mixer.



Gambar L.9: Persiapan Alat Uji Slump.



Gambar L.10: Pengujian Slump



Gambar L.11: Pemasukan Adonan Beton Kedalam Cetakan Silinder.



Gambar L.12: Cetakan Yang Sudah Diisi Adonan Beton.



Gambar L.13: Perendaman Beton



Gambar L.14: Penimbangan Benda Uji Setelah Direndam.



Gambar L.15: Mesin Alat Kuat Tekan.



Gambar L.16: Memasukkan Benda Uji Ke Mesin Kuat Tekan.



Gambar L.17: Pengujian Kuat Tekan.



Gambar L.18: Pengantaran Benda Uji Ke Lokasi Uji Tekan.



Gambar L.19: Benda Uji 24 Sampel

Calibration Certificate

031-8091444 / 08123447757 (WA)

www.primatotalSaintifika.co.id

Parum, Grog Pameas Gedangan,
Blok D No.2, Groggung, Sidoarjo - Jawa Timur

PT. PRIMA TOTAL SAINTIFIKA

Kantor Akreditasi Nasional
LK - 399 - IDN

Certificate Number
1875/Sert-PTS/04/26

Page : 1 of 1

Order Number : 0761.0426.008-2
Received Date : 09 April 2026
Customer : PT. Wijaya Karya Beton Tbk.
Address : Jl. Raya Binjai KM.15,5, No.1, Diski 20351 Medan - Sumatera Utara

Equipment Name : Compression Machine
Manufacture : CONTROLS
Type / Model : WIZARD 2
Serial Number : 16009090
Capacity : 2000 kN
Resolution : 0,1 kN

Environment Condition of Calibration
Room Temperature : (29,9 ± 1,3) °C
Room Humidity : (84 ± 4,6) %RH
Calibration Date : 09 April 2026
Calibration Method : IK-7.2.1-G-01 ref. JIS B 7721 - 2009
Calibration Location : PT. Wijaya Karya Beton Tbk.

Calibration Report : Metode Tekan / Compression

Instrument Indication (kN)	Standard Indication (kN)	Correction (kN)	Uncertainty U95% (kN)
0	0,0	0,0	± 7,0
200	203,2	3,2	
400	403,5	3,5	
600	604,7	4,7	
800	805,8	5,8	
1000	1005,9	5,9	
1200	1206,3	6,3	
1400	1406,9	6,9	
1600	1607,3	7,3	
1800	1807,6	7,6	

CHART OF FORCE CORRELATION

The Uncertainty is taken at a Confidence Level 95 % and Coverage Factor (k) = 2

Standard Calibration Used :

Name	Mark/Type	Serial Number	Traceable to SI through
Load Cell	MATEST / LI-SW1	LI-SW1-001	LK-013-IDN

Calibrated By : ARD
Typist : SAR

Issuance Date
14 April 2026

 Wahidin Eka Putra
Director

— End of Certified —

This certificate applies only for the item specified above.
It is prohibited to reproduce or publish part of this certificate without written from PT. PRIMA TOTAL SAINTIFIKA.
We warrant our results to be accurate and valid for 12 months after issued by PT. PRIMA TOTAL SAINTIFIKA. So, use the required certificate, please.
visit service@primatotalSaintifika.com

Gambar L.20: Sertifikat Kalibrasi Mesin Kuat Tekan.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA IDENTITAS DIRI

Nama Lengkap	: Riska Dwi Antika
Tempat, Tanggal Lahir	: Medan, 01 Januari 2003
Jenis Kelamin	: Perempuan
Agama	: Islam
Alamat	: Jl. Stm Gg. Rahmat No 13
No. Hp	: +6283195873059
Nama Ayah	: Sunardi
Nama Ibu	: Tri Patmini

RIWAYAT PENDIDIKAN

NPM	: 2207210135
Program Studi	: Teknik Sipil
Fakultas	: Teknik
Perguruan Tinggi	: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi	: Jl. Kapten Muchtar Basri, No. 3, Medan, 20238

PENDIDIKAN FORMAL

Sekolah Dasar	: SD 060812	2009 – 2015
Sekolah Menengah Pertama	: SMP Negeri 3 Medan	2015 – 2018
Sekolah Menengah Atas	: SMA Negeri 5 Medan	2018 – 2021