

**PENGARUH ABU SEKAM PADI DAN SERBUK KACA SEBAGAI
BAHAN PENAMBAH TERHADAP KUAT TEKAN BETON NORMAL**

(Skripsi)

Oleh

ALDI RAFSANJANI MUDIA

2215011090



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

ABSTRACT

THE EFFECT OF RICE HUSK ASH AND GLASS POWDER AS ADDITIVE MATERIALS ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF NORMAL CONCRETE

By

ALDI RAFSANJANI MUDIA

Concrete is the most widely used construction material, while cement production contributes approximately 7% of global CO₂ emissions. This study aimed to analyze the effect of rice husk ash (RHA) and glass powder (GP) on cement setting time, slump value, and compressive strength of normal concrete with a design strength of K-300 ($f'_c = 25$ MPa). Rice husk ash was added at 8%, 10%, and 12% of cement weight, while glass powder was added at 2.5% of fine aggregate weight. Cube specimens measuring $15 \times 15 \times 15$ cm were tested at 28 and 56 days using the SNI 7656:2012 mix design method.

The results showed that all variations satisfied the cement setting time requirements based on SNI 15-2049-2004. The addition of glass powder improved the workability of concrete, while the use of rice husk ash above 8% reduced slump values due to the water absorption characteristics of fine particles. Normal concrete achieved a compressive strength of 25.68 MPa at 28 days, whereas the variations containing rice husk ash demonstrated better compressive strength development at 56 days due to the pozzolanic reaction. The GP2.5RH10 variation showed the highest compressive strength among all rice husk ash variations, with an increase of 3.72 MPa from 28 to 56 days.

It can be concluded that the combination of 2.5% glass powder and 10% rice husk ash provided the most balanced performance in terms of workability and long-term compressive strength potential.

Keywords: Compressive strength, glass powder, normal concrete, pozzolanic reaction, rice husk ash, workability.

ABSTRAK

PENGARUH ABU SEKAM PADI DAN SERBUK KACA SEBAGAI BAHAN PENAMBAH TERHADAP KUAT TEKAN BETON NORMAL

Oleh

ALDI RAFSANJANI MUDIA

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan, namun produksi semen sebagai bahan utama beton menyumbang sekitar 7% emisi CO₂ global. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan abu sekam padi (ASP) dan serbuk kaca (SK) terhadap waktu pengikatan semen, nilai slump, dan kuat tekan beton normal mutu K-300 ($f'_c = 25$ MPa). Abu sekam padi digunakan sebesar 8%, 10%, dan 12% dari berat semen, sedangkan serbuk kaca digunakan sebesar 2,5% dari berat agregat halus. Pengujian dilakukan pada benda uji kubus $15 \times 15 \times 15$ cm umur 28 dan 56 hari dengan metode mix design SNI 7656:2012.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh variasi masih memenuhi syarat waktu pengikatan semen berdasarkan SNI 15-2049-2004. Penambahan serbuk kaca meningkatkan workability beton, sedangkan penggunaan abu sekam padi di atas 8% menurunkan nilai slump akibat sifat penyerapan air partikel halus. Kuat tekan beton normal mencapai 25,68 MPa pada umur 28 hari, sedangkan variasi dengan ASP menunjukkan perkembangan kuat tekan yang lebih baik pada umur 56 hari akibat reaksi pozzolanik. Variasi GP2,5RH10 menunjukkan nilai kuat tekan terbesar di antara seluruh variasi dengan abu sekam padi dan terdapat peningkatan yaitu sebesar 3,72 MPa dari umur 28 ke 56 hari.

Disimpulkan bahwa kombinasi serbuk kaca 2,5% dan abu sekam padi 10% memberikan hasil paling optimal terhadap workability dan potensi peningkatan kuat tekan jangka panjang.

Kata kunci: Abu sekam padi, beton normal, kuat tekan, reaksi pozzolanik, serbuk kaca, workability.

**PENGARUH ABU SEKAM PADI DAN SERBUK KACA SEBAGAI
BAHAN PENAMBAH TERHADAP KUAT TEKAN BETON NORMAL**

Oleh :

ALDI RAFSANJANI MUDIA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi

**: PENGARUH ABU SEKAM PADI DAN
SERBUK KACA SEBAGAI BAHAN
PENAMBAH TERHADAP KUAT TEKAN
BETON NORMAL**

Nama Mahasiswa

: Aldi Rafsanjani Mudia

Nomor Pokok Mahasiswa : 2215011090

Program Studi

: Teknik Sipil

Fakultas

: Teknik



Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

Hasti Riakara Husni, S.T., M.T.
NIP 19740530 200012 2 001

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ketua Prodi Teknik Sipil

Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP 19691111 200003 1 002

Dr. Suyadi, S.T., M.T.
NIP 19741225 200501 1 003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

: Ir. Laksmi Irianti, M.T.

Ketua

: Hasti Riakara Husni, S.T., M.T.

Sekretaris

Penguji

Bukan Pembimbing : Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP 19691030 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 05 Juni 2026

SURAT PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ALDI RAFSANJANI MUDIA
Nomor Pokok Mahasiswa : 2215011090
Judul Skripsi : PENGARUH ABU SEKAM PADI DAN SERBUK
KACA SEBAGAI BAHAN PENAMBAH
TERHADAP KUAT TEKAN BETON NORMAL
Jurusan : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan semua tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti Kaidah Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung.

Bandar Lampung, 5 Juni 2026

Penulis



Aldi Rafsanjani Mudia
NPM 2215011090

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 16 Juni 2003, sebagai anak kedua dari pasangan Bapak Mukhtar dan Ibu Badriah. Penulis memiliki tiga orang saudara, yaitu kakak bernama Tutia Rahmayani Mudia, adik perempuan bernama Tara Amaliyani Mudia, dan adik laki-laki bernama Muhammad Alfaiz Mudia. Penulis memulai jenjang pendidikan taman kanak-kanak di TK Palm Kids yang diselesaikan pada tahun 2009, dilanjutkan pendidikan dasar di SDS Palm Kids yang diselesaikan pada tahun 2015, kemudian dilanjutkan pendidikan tingkat pertama di SMPN 9 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2018, dan dilanjutkan menempuh pendidikan tingkat atas di SMAN 15 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2021.

Pada tahun 2022, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Prodi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung sebagai anggota Departemen Kerohanian dan Keolahragaan tahun 2024 Periode 1, Kemudian sebagai Kepala Departemen Kerohanian dan Keolahragaan pada tahun 2024 Periode 2.

Penulis pernah menjadi asisten dosen mata kuliah Analisis Statis Tertentu tahun 2024, Statika tahun 2024, dan Statika tahun 2025. Penulis pernah menyambi magang sebagai konsultan perencanaan di Dinas Perumahan Kawasan Permukiman dan Cipta Karya Provinsi Lampung dalam merencanakan Pembangunan/Rehabilitas beberapa sekolah di Provinsi Lampung pada tahun 2024. Penulis juga telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode 1 di Desa

Mekar Harjo, Kecamatan Selagai Lingga, Lampung Tengah selama 30 hari, Januari-Februari 2025. Di tahun yang sama, penulis juga telah melakukan kerja praktik di Proyek Penanganan Long Segment (Pemeliharaan Rutin, Pemeliharaan Berkala, Peningkatan/Rekonstruksi) Ruas Sp. Tugu Radin Intan - Exit Toll Kalianda (R.077) Kecamatan Kalianda selama 3 bulan. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul “Pengaruh Abu Sekam Padi Dan Serbuk Kaca Sebagai Bahan Penambah Terhadap Kuat Tekan Beton Normal”.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamiin

Puji dan syukur tercurahkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wasallam.

Kupersembahkan karya ini kepada:

Kedua Orang Tuaku Tercinta

Yang senantiasa memberikan yang terbaik dan melantunkan doa yang selalu menyertaiku. Kuucapkan pula terima kasih sebesar-besarnya karena telah mendidik dan membesarkanku dengan penuh kasih sayang, dukungan, serta pengorbanan yang belum dapat terbalaskan.

Dosen Pembimbing dan Penguji

Yang sangat berjasa dan selalu memberikan ilmu serta motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.

Seluruh Keluarga Besar Teknik Sipil Angkatan 2022

Yang selalu memberikan semangat dan dukungan.

Almamater Tercinta, Universitas Lampung dan Jurusan Teknik Sipil

Tempat bernaung dan mengembangkan ilmu sebagai bekal kehidupan.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(QS. Al-Baqarah: 286)

"Jadilah baik. Sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang berbuat baik.”

(QS. Al-Baqarah: 195)

"Tiada kesuksesan tanpa rida orang tua. Doa mereka adalah jembatan menuju mimpiku, dan restu mereka adalah kunci dari setiap langkahku."

"Setiap langkahku sampai di titik ini, adalah jawaban dari doa-doa orang tuaku."

“With great power comes great responsibility.”

(Uncle Ben)

“Teruslah berolahraga, apapun gerakannya.”

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah senantiasa memberikan rahmat dan anugerah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Abu Sekam Padi Dan Serbuk Kaca Sebagai Bahan Penambah Terhadap Kuat Tekan Beton Normal”** dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis mendapatkan bantuan, dukungan, bimbingan, dan pengarahan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan petunjuk, kekuatan, kesabaran, dan pertolongan yang tiada henti, serta senantiasa memberikan berkah ilmu kepada setiap hamba-Nya.
2. Bapak Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Suyadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Lampung.
4. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
5. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama atas kesediannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, ide-ide, dan saran serta kritik dalam proses penyusunan skripsi ini.
6. Ibu Hasti Riakara Husni, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Kedua atas kesediannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, ide-ide, dan saran serta kritik dalam proses penyusunan skripsi ini.

7. Bapak Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil, selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan arahan kepada penulis guna penyempurnaan skripsi ini.
8. Ibu Dr. Ir. Rahayu Sulistiyorini, S.T., M.T., selaku Pembimbing Akademik yang memberikan bimbingan dan arahan selama perkuliahan.
9. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis, serta seluruh karyawan jurusan atas bantuannya kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
10. Kedua orang tua tercinta, Ibu Badriah dan Bapak Mukhtar yang telah dengan tulus, penuh kasih sayang, dan kesabaran dalam memberikan dorongan, dukungan, nasihat serta doa yang tidak pernah putus sehingga penulis dapat menyelesaikan segala proses perkuliahan.
11. Kakak dan adik - adik tersayang Tutia Rahmayani Mudia, Tara Amaliyani Mudia, dan Muhammad Alfaiz Mudia yang selalu menemani, mengingatkan, menghibur dan memberi dukungan untuk penulis.
12. Seluruh anggota keluarga besar Abdullah dan Zainuddin yang telah memberikan dukungan serta doa demi lancarnya penulisan skripsi ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
13. Diri sendiri yang sudah kuat, pantang menyerah, dan berusaha keras untuk bertahan sejauh ini.
14. Rekan teman lab dan skripsi, Aditya Ridho Pratama atas kerjasama dan bantuan selama proses penyusunan skripsi ini
15. Seluruh keluarga besar Laboratorium Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu dan mendukung kelancaran pelaksanaan penelitian ini.
16. Tour Lambar (Kobul, Falih, Akhdan, Yanyil, Ridho, Bapet, Irsyat, Ikker, Zikri, Zaki, Abay, Noy, Wais, Kul, Vetto) yang selalu menghibur, menemani, membantu untuk penulis.
17. Gilbran dan Aden telah menemani penulis dan menyediakan tempat untuk mengerjakan Tugas Besar bersama-sama.

18. Rekan-rekan Teknik Sipil Universitas Lampung Angkatan 2022, yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu penulis secara langsung ataupun tidak langsung.

Penulis menyadari akan keterbatasan pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki penulis sehingga masih terdapat kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak dan berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Bandar Lampung, 5 Juni 2026

Penulis,

Aldi Rafsanjani Mudia

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
1.6. Hipotesis Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Beton Normal	7
2.2. Material Penyusun Beton	8
2.2.1. Semen Portland Komposit (PCC).....	8
2.2.2. Agregat Halus	10
2.2.3. Agregat Kasar	12
2.2.4. Air	13
2.3. Abu Sekam Padi	14
2.4. Serbuk Kaca	15
2.5. Waktu Pengikat Semen.....	16
2.6. Perawatan Beton (<i>Curing</i>).....	17
2.7. Pengujian Kuat Tekan.....	17
2.8. Penelitian Sebelumnya	19
2.8.1. Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton.....	19

2.8.2.	Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi sebagai Bahan Tambahan Terhadap Kuat Tekan Beton	20
2.8.3.	<i>Effectiveness of Rice Husk Ash and Glass Powder Waste as Partial Replacements of Cement in Concrete Construction</i>	21
III.	METODE PENELITIAN	22
3.1.	Pendahuluan	22
3.2.	Peralatan dan Bahan	25
3.2.1.	Alat	25
3.2.2.	Bahan	27
3.3.	Pengujian Material	29
3.3.1.	Agregat Halus	29
3.3.2.	Agregat Kasar	30
3.3.3.	Semen	31
3.3.4.	Serbuk Kaca	31
3.4.	Pembuatan Benda Uji	31
3.5.	Pengujian <i>Workability</i> Beton Segar	35
3.6.	Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>)	36
3.7.	Pengujian Benda Uji Menggunakan CTM	36
3.8.	Perhitungan dan Analisis Data	37
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1.	Hasil Pengujian Material	39
4.1.1.	Pengujian Material Agregat Halus	39
4.1.2.	Pengujian Material Agregat Kasar	44
4.1.3.	Pengujian Material Semen	48
4.1.4.	Pengujian Material Serbuk Kaca	49
4.2.	Perhitungan <i>Mix Design</i>	52
4.2.1.	Perencanaan Campuran Beton Mutu K-300 (25MPa)	52
4.3.	Kebutuhan Material Campuran Beton	55
4.4.	Komposisi Material Pengujian Waktu Pengikatan Semen	56
4.5.	Hasil Pengujian Waktu Pengikatan Semen	56
4.6.	Kelecekan Adukan Beton (<i>Workability</i>)	61
4.7.	Kuat Tekan Beton	63

V. KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1. Kesimpulan.....	69
5.2. Saran.....	70

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

LAMPIRAN A (Data Hasil Penelitian)

LAMPIRAN B (Foto Penelitian)

LAMPIRAN C (Lembar Asistensi)

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram alir penelitian.....	24
2. Pengujian kadar air agregat halus	40
3. Pengujian kadar lumpur agregat halus	40
4. Pengujian berat volume agregat halus.....	41
5. Pengujian berat jenis agregat halus	42
6. Pengujian gradasi agregat halus	43
7. Grafik zona gradasi agregat halus (zona 2).....	44
8. Pengujian kadar air agregat kasar	45
9. Pengujian kadar lumpur agregat kasar	45
10. Pengujian berat volume agregat kasar.....	46
11. Pengujian berat jenis agregat kasar	47
12. Pengujian gradasi agregat kasar	48
13. Pengujian berat jenis semen	49
14. Pengujian gradasi serbuk kaca	50
15. Grafik zona gradasi serbuk kaca (zona 2).....	51
16. Perkiraan air campuran dan persyaratan kandungan udara untuk berbagai <i>slump</i> dan ukuran agregat maksimum.....	52
17. Nilai faktor air semen.....	52
18. Volume agregat kasar per satuan volume beton	53
19. Waktu pengikatan awal & akhir semen.....	59
20. Hubungan kadar tambahan abu sekam padi dan serbuk kaca terhadap nilai <i>slump</i> beton	62
21. Hubungan kadar tambahan abu sekam padi dan serbuk kaca terhadap nilai kuat tekan beton	65
22. Peningkatan nilai kuat tekan beton dari umur 28 hari ke 56 hari.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Susunan Oksida Semen Portland	9
2. Senyawa Dari Semen Portland.....	9
3. Gradasi Agregat Halus Pada Adukan	11
4. Gradasi Agregat Kasar	13
5. Batasan Maksimum Kandungan Zat Kimia Dalam Air	14
6. Kandungan Senyawa Abu Sekam Padi	15
7. Kandungan Senyawa Kimia Serbuk Kaca	16
8. Perbandingan Kuat Tekan Antara Silinder Dan Kubus.....	18
9. Komposisi Dan Kode Benda Uji Waktu Pengikatan Semen.....	32
10. Komposisi Dan Kode Benda Uji Beton Kubus.....	32
11. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus	43
12. Hasil Perhitungan Gradasi Agregat Halus.....	43
13. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus	47
14. Hasil Perhitungan Gradasi Agregat Halus.....	48
15. Hasil Pengujian Gradasi Serbuk Kaca	50
16. Hasil Perhitungan Gradasi Serbuk Kaca	50
17. Kesimpulan Hasil Pengujian Material	51
18. Komposisi Kebutuhan Material Beton Kubus Mutu Normal	55
19. Komposisi Kebutuhan Material Dalam Sebuah Benda Uji Pasta Untuk Pengujian Waktu Pengikatan Semen.....	56
20. Hasil Pengujian Konsistensi Normal Untuk Semua Variasi	57
21. Waktu Pengikatan Awal & Akhir Semen	58
22. Nilai <i>Slump</i> Adukan Beton Mutu K-300 Umur 28 Dan 56 Hari.....	61
23. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari Dan 56 Hari	64

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembangunan infrastruktur di Indonesia maupun di dunia. Berdasarkan SNI 2847:2013, beton adalah campuran dari semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, air, serta bahan tambahan (*admixture*) yang berfungsi untuk memodifikasi sifat beton sesuai kebutuhan tertentu. Beton memiliki keunggulan berupa kekuatan tekan yang tinggi, biaya relatif murah, dan bahan penyusunnya mudah diperoleh (Ode dkk., 2024). Dalam sektor infrastruktur seperti jembatan, jalan raya, maupun bangunan gedung, beton menyumbang sekitar 80% dari total material konstruksi yang digunakan.

Kinerja beton sangat dipengaruhi oleh kualitas bahan penyusunnya, terutama semen sebagai pengikat utama. Namun, proses hidrasi semen sering kali menghasilkan panas tinggi dan menyumbang pada pembentukan retakan serta peningkatan emisi karbon dioksida. Industri semen diperkirakan menyumbang sekitar 7% dari total emisi CO₂ global setiap tahun (Pranadiarso dkk., 2024). Oleh karena itu, upaya pengembangan beton ramah lingkungan tidak hanya berfokus pada penggantian sebagian bahan, tetapi juga pada penambahan bahan yang dapat meningkatkan kinerja mekanik dan durabilitas beton tanpa mengurangi efisiensi produksi.

Bahan penambah beton adalah material yang ditambahkan pada saat pencampuran untuk mengubah sifat beton segar maupun beton keras agar sesuai dengan karakteristik yang diinginkan (Ode dkk., 2024). Dalam konteks

teknologi beton modern, penggunaan bahan penambah telah menjadi tren penting untuk meningkatkan kuat tekan, ketahanan terhadap lingkungan agresif, serta efisiensi penggunaan semen (Erfanda, 2019). Adopsi bahan penambah berbasis limbah juga mendukung prinsip ekonomi sirkular dan pembangunan berkelanjutan.

Salah satu bahan penambah alami yang potensial adalah abu sekam padi (ASP), yaitu limbah pertanian yang mengandung silika amorf dalam jumlah tinggi. ASP memiliki sifat pozzolanik, yang berarti mampu bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen untuk membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H). Senyawa ini berperan penting dalam peningkatan kekuatan dan kerapatan beton (Farhan dkk., 2023). Indonesia sebagai negara agraris menghasilkan sekam padi dalam jumlah besar; dari 53,14 juta ton gabah kering giling tahun 2024, sekitar 20% di antaranya berupa sekam (Badan Pusat Statistik, 2024). Pemanfaatan abu sekam padi sebagai bahan penambah beton dapat meningkatkan performa beton sekaligus mengurangi limbah pertanian yang berpotensi mencemari lingkungan.

Selain abu sekam padi, limbah industri berupa serbuk kaca juga memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam beton. Kandungan silika yang tinggi pada serbuk kaca berfungsi sebagai bahan pengisi yang dapat meningkatkan kerapatan campuran serta menunjukkan aktivitas pozzolanik dalam proses pembentukan C-S-H (Amiwarti & Mahipal, 2019). Berbagai penelitian melaporkan bahwa penggunaan serbuk kaca memberikan performa terbaik pada kadar sekitar 2,5%, di mana partikel halusya mampu mengisi pori-pori mikro secara optimal sehingga meningkatkan homogenitas serta kuat tekan beton (Ode dkk., 2024). Meski begitu, penambahan melebihi kadar optimum dapat menimbulkan potensi reaksi alkali-silika (ASR) dan mengganggu distribusi gradasi agregat, yang akhirnya berpengaruh pada penurunan sifat mekanik beton (Pranadiarso dkk., 2024). Oleh karena itu, pengaturan proporsi serbuk

kaca menjadi aspek penting agar manfaat yang diperoleh tetap maksimal tanpa mengurangi ketahanan struktur.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan efek sinergis antara abu sekam padi dan serbuk kaca sebagai bahan penambah beton. Kombinasi keduanya mampu meningkatkan kuat tekan dan memperbaiki ikatan antarpartikel agregat dalam beton (Amiwarti & Mahipal, 2019). Penambahan kedua material tersebut juga memperbaiki *workability* dan mengurangi kebutuhan air tanpa penggunaan *chemical admixture* tambahan. Reaksi pozzolanik dari silika amorf pada abu sekam padi dan serbuk kaca menghasilkan struktur C–S–H yang lebih padat, menjadikan beton lebih tahan terhadap penetrasi air dan serangan sulfat (Farhan dkk., 2023).

Walaupun penelitian mengenai bahan penambah alami terus berkembang, studi yang mengkaji proporsi optimum antara ASP dan serbuk kaca sebagai bahan penambah beton masih terbatas. Sebagian besar penelitian terdahulu hanya berfokus pada efek masing-masing bahan secara tunggal, bukan sebagai kombinasi. Padahal, kedua material tersebut memiliki kandungan silika tinggi dengan reaktivitas yang saling melengkapi. Kombinasi keduanya berpotensi menghasilkan beton dengan kekuatan dan keawetan lebih baik dibandingkan penggunaan tunggal.

Mengingat pentingnya upaya mengurangi emisi karbon dan memanfaatkan limbah industri serta pertanian secara produktif, penelitian mengenai pemanfaatan abu sekam padi dan serbuk kaca sebagai bahan penambah beton menjadi relevan. Melalui penambahan kedua bahan ini, diharapkan dapat diperoleh beton dengan kekuatan tekan tinggi, permeabilitas rendah, serta ketahanan jangka panjang yang lebih baik. Selain itu, pemanfaatan bahan lokal ini juga dapat menekan biaya produksi dan mendukung pembangunan berkelanjutan di sektor konstruksi.

Berdasarkan uraian di atas, penambahan abu sekam padi dan serbuk kaca ke dalam campuran beton diharapkan dapat meningkatkan kinerja beton dari segi mekanik maupun durabilitasnya. Reaksi pozzolanik dari kedua material tersebut membantu pembentukan struktur mikro yang lebih rapat, memperkuat matriks semen, dan meningkatkan kekuatan beton tanpa meningkatkan konsumsi semen secara signifikan. Oleh karena itu, kajian mengenai proporsi optimum bahan penambah abu sekam padi dan serbuk kaca penting dilakukan sebagai langkah menuju pengembangan beton berperforma tinggi dan ramah lingkungan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penambahan abu sekam padi dan serbuk kaca terhadap kuat tekan dan nilai *slump* beton mutu normal serta pengaruh abu sekam padi terhadap waktu pengikatan semen?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh penambahan abu sekam padi dan serbuk kaca terhadap kuat tekan dan nilai *slump* beton mutu normal serta untuk mengetahui pengaruh abu sekam padi terhadap waktu pengikatan semen.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mutu beton yang direncanakan memiliki K-300 ($f'c = 24,9$ MPa) pada umur beton 28 dan 56 hari.
2. Perhitungan campuran beton normal (*mix design*) menggunakan metode SNI 7656:2012.

3. Abu sekam padi digunakan sebagai bahan penambah dalam campuran beton dengan variasi tertentu berdasarkan berat semen dan serbuk kaca sebagai bahan penambah agregat halus sebesar 2,5% dari berat agregat halus.
4. Penelitian ini menguji waktu pengikatan semen menggunakan alat Vicat guna memperoleh data waktu pengikatan semen akibat variasi penambahan abu sekam padi.
5. Penelitian ini melakukan uji waktu pengikatan semen dengan alat Vicat pada 12 sampel.
6. Penelitian ini menguji nilai *slump* menggunakan kerucut Abrams guna memperoleh ketinggian *slump* akibat penambahan abu sekam padi dan serbuk kaca dalam campuran beton.
7. Penelitian ini melakukan uji *slump* pada 30 sampel yang terbagi ke dalam lima variasi. Setiap variasi terdiri dari 6 sampel.
8. Penelitian ini membandingkan kuat tekan beton mutu normal tanpa bahan penambah abu sekam padi dan serbuk kaca terhadap kuat tekan beton mutu normal yang menggunakan kedua bahan penambah tersebut.
9. Benda uji yang digunakan berupa kubus beton berukuran 15 cm × 15 cm × 15 cm, dengan jumlah 30 sampel beton kubus, di mana tiap variasi terdiri dari 6 sampel.
10. Bahan pembuat beton berupa semen PCC merek Semen Baturaja, agregat halus berasal dari Gunung Sugih, agregat kasar yang didapatkan dari Tanjungan dan air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi terkait kadar optimum penggunaan abu sekam padi dan serbuk kaca sebagai bahan penambah dalam campuran adukan beton mutu normal.

2. Memberikan informasi dampak penambahan abu sekam padi terhadap waktu pengikatan semen dalam campuran beton mutu normal.
3. Memberikan informasi mengenai pengaruh penambahan abu sekam padi dan serbuk kaca terhadap nilai *slump* beton.

1.6. Hipotesis Penelitian

Penggunaan abu sekam padi sebagai bahan penambah sebagian semen dan serbuk kaca sebagai bahan penambah agregat halus dalam campuran beton mutu normal diharapkan dapat meningkatkan kekuatan beton serta memperbaiki struktur mikronya tanpa menurunkan *workability*. Penambahan kedua bahan ini juga mampu menurunkan porositas beton, meningkatkan durabilitas terhadap lingkungan agresif, dan membantu mengurangi penggunaan semen portland secara langsung, sehingga mendukung konsep pembangunan berkelanjutan serta pemanfaatan limbah industri dan pertanian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton Normal

Beton merupakan material konstruksi yang paling luas penggunaannya di dunia karena memiliki kekuatan tinggi, mudah dibentuk, tahan terhadap cuaca, serta ekonomis. Beton termasuk bahan komposit yang tersusun atas campuran semen sebagai pengikat, agregat halus dan kasar sebagai pengisi, air, serta bahan tambahan (*admixture*) bila diperlukan. Semua bahan tersebut setelah dicampur dan mengalami proses hidrasi akan membentuk massa padat yang menyerupai batu (Sumajouw dkk., 2014). Material ini diaplikasikan hampir di seluruh elemen struktur, mulai dari pondasi, kolom, balok, dan pelat hingga pada konstruksi jembatan serta bangunan bertingkat.

Menurut Prasetya (2007), beton normal adalah jenis beton yang memiliki berat isi antara 2200–2500 kg/m³ dan menggunakan agregat alam seperti pasir dan batu pecah. Beton jenis ini umumnya memiliki kuat tekan antara 17 MPa sampai 41 MPa, tergantung pada kualitas bahan penyusunnya serta proporsi campuran yang digunakan. Beton normal menjadi pilihan paling umum dalam pekerjaan konstruksi karena proses pembuatannya relatif sederhana, bahan bakunya mudah ditemukan, dan memiliki sifat mekanis yang cukup baik untuk memenuhi kebutuhan struktural pada bangunan konvensional.

Kuat tekan beton merupakan parameter utama yang digunakan untuk menilai mutu beton. Besarnya kuat tekan dipengaruhi oleh berbagai faktor, di antaranya faktor air-semen (FAS), kualitas material penyusun, gradasi agregat, metode pencampuran, serta cara perawatan atau *curing*. Apabila rasio air terhadap semen terlalu kecil, beton yang dihasilkan akan memiliki porositas rendah dan

kekuatan tinggi, namun daya lekat atau *workability*-nya menjadi rendah, sehingga sulit dikerjakan di lapangan. Sebaliknya, jika rasio air-semen terlalu besar, campuran menjadi lebih mudah dikerjakan, tetapi menurunkan kekuatan beton akibat meningkatnya jumlah rongga udara dalam struktur beton.

Selain rasio air-semen, mutu semen, kebersihan agregat, serta tingkat homogenitas campuran juga berperan penting terhadap kekuatan beton yang dihasilkan. Semakin baik mutu bahan serta semakin teliti proses pencampuran dan perawatannya, maka semakin besar pula kemungkinan beton mencapai kekuatan rencana (f_c') yang diharapkan. Oleh karena itu, dalam pembuatan beton normal diperlukan pengawasan mutu yang ketat mulai dari pemilihan bahan, proses pencampuran, hingga tahap pengujian, agar beton yang dihasilkan memiliki karakteristik fisik dan mekanis sesuai dengan spesifikasi teknis yang ditetapkan (Panennungi & Pertiwi, 2018).

2.2. Material Penyusun Beton

Pada proses pembuatan beton normal, terdapat beberapa komponen utama penyusun, yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, dan air. Dalam penelitian ini, akan dibahas secara khusus mengenai bahan-bahan pembentuk beton tersebut beserta bahan tambahan yang digunakan, yaitu abu sekam padi dan serbuk kaca, yang menjadi objek kajian utama. Secara keseluruhan, beton tersusun atas sejumlah material utama yang memiliki fungsi berbeda namun saling melengkapi untuk membentuk material dengan kekuatan dan daya tahan yang tinggi. Adapun bahan-bahan penyusun beton meliputi:

2.2.1. Semen Portland Komposit (PCC)

Semen merupakan bahan pengikat hidrolis utama yang berperan sangat penting dalam pembuatan beton. Ketika semen bereaksi dengan air, akan terjadi proses hidrasi yang menghasilkan senyawa-senyawa hidrat, berfungsi untuk merekatkan butiran agregat sehingga membentuk

massa padat dan keras. Di Indonesia, jenis semen yang paling umum digunakan adalah Semen Portland Komposit (PCC), yang penggunaannya telah diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-7064-2004.

Secara kimiawi, semen portland tersusun atas beberapa oksida utama yang berperan dalam proses pembentukan kekuatan beton, yaitu kalsium oksida (CaO), silikon dioksida (SiO₂), aluminium oksida (Al₂O₃), dan besi oksida (Fe₂O₃). Keempat senyawa ini merupakan komponen dominan dalam struktur kimia semen. Selain itu, terdapat pula oksida minor dengan persentase lebih kecil dari total berat semen, seperti magnesium oksida (MgO), sulfur trioksida (SO₃), natrium oksida (Na₂O), dan kalium oksida (K₂O). Rincian komposisi kimia tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan Tabel 2 menyajikan senyawa utama beserta rumus kimia dan kadar rata-ratanya.

Tabel 1. Susunan Oksida Semen Portland

Oksida	Persentase (%)
Kapur (CaO)	60-65
Silika (SiO ₂)	7-25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3-8
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5-6
Magnesia (MgO)	0,5-4
Sulfur (SO ₃)	1-2
Potash (Na ₂ O + K ₂ O)	0,5-1

(Sumber: (Lilies Widodojoko, 2010))

Tabel 2. Senyawa Dari Semen Portland

Nama Komposisi	Rumus Kimia	Kadar Rerata (%)
Tricacium Silika (C3S)	3CaO. SiO ₂	50
Dicalcium Silika (C2S)	2CaO. SiO ₂	25
Tricalcium Alumina (C3A)	3CaO. Al ₂ O ₃	12
Tetracalcium Alumina Ferrit (C4AF)	4CaO. Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	8
Calcium Sulfat Dihidrat	CaSO ₄ .2H ₂ O	3,5

(Sumber: (Lilies Widodojoko, 2010))

2.2.2. Agregat Halus

Berdasarkan SNI 03-6820-2002, agregat halus didefinisikan sebagai agregat dengan ukuran butiran maksimum 4,76 mm, yang dapat berasal dari bahan alam maupun hasil pengolahan mekanis. Dalam campuran beton, agregat halus umumnya berupa pasir alam hasil pelapukan atau desintegrasi alami batuan, namun dapat pula berupa pasir buatan yang diperoleh melalui proses pemecahan batu dengan alat khusus.

Sementara itu, menurut SNI 03-6861.1-2002 tentang Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam), terdapat sejumlah persyaratan teknis yang harus dipenuhi oleh pasir atau agregat halus agar layak digunakan sebagai bahan penyusun beton maupun bahan bangunan lainnya. Persyaratan tersebut antara lain:

- 1) Butiran agregat halus harus tajam dan keras, dengan indeks kekerasan kurang dari 2,2.
- 2) Kandungan lumpur pada pasir tidak boleh melebihi 5%, jika lebih dari itu, pasir harus dicuci hingga kadar lumpur berkurang di bawah batas tersebut.
- 3) Agregat halus harus memiliki ketahanan terhadap larutan garam sulfat, dengan ketentuan:
 - a) Bila diuji menggunakan natrium sulfat, bagian yang hancur maksimal 12%.
 - b) Bila diuji dengan magnesium sulfat, bagian yang hancur tidak boleh melebihi 10%.
- 4) Pasir tidak boleh mengandung bahan organik berlebihan, yang dapat dibuktikan melalui uji warna Abrans-Harder menggunakan larutan NaOH 3%.
- 5) Pasir harus terdiri atas butiran dengan ukuran bervariasi dan memiliki modulus kehalusan antara 2,5 hingga 3,8.
- 6) Pasir wajib menunjukkan reaksi negatif terhadap alkali, terutama untuk beton dengan tingkat keawetan tinggi.

- 7) Pasir laut tidak diperbolehkan digunakan sebagai agregat halus pada semua mutu beton, kecuali dengan izin khusus dari lembaga pemerintah terkait.
- 8) Untuk agregat halus yang digunakan pada pekerjaan plesteran atau spesi, harus memenuhi persyaratan pasir pemasangan.
- 9) Agregat halus juga harus memiliki gradasi butiran yang sesuai dengan batasan ideal sebagaimana diatur dalam standar.

Menurut SNI 03-6820, 2002 ada beberapa unsur perusak yang dapat terjadi pada agregat halus, seperti:

- 1) Partikel yang mudah pecah
- 2) Mengandung zat organik
- 3) Partikel ringan yang terapung pada cairan
- 4) Lumpur
- 5) Kotoran yang dapat merusak warna

Salah satu kriteria penting dalam menghasilkan beton bermutu baik adalah gradasi agregat halus yang tepat, sebagaimana diatur dalam SNI 03-6820-2002. Gradasi tersebut dibedakan menjadi dua jenis, yaitu gradasi pasir alam dan gradasi pasir olahan, yang masing-masing memiliki ketentuan tersendiri sebagaimana ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 3. Gradasi Agregat Halus Pada Adukan

Saringan	Persen lolos (%)	
	Pasir alam	Pasir olahan
No. 4 (4,76 mm)	100	100
No. 8 (2,36 mm)	99–100	95–100
No. 16 (1,18 mm)	70–100	70–100
No. 30 (600 μ m)	40–75	40–75
No. 50 (300 μ m)	10–35	20–40
No. 100 (150 μ m)	2–15	10–25
No. 200 (75 μ m)	0	0–10

(Sumber : SNI 03-6820-2002)

2.2.3. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan salah satu komponen utama dalam campuran beton yang memiliki peran penting terhadap sifat-sifat mekanik beton, terutama dalam menentukan kekuatan tekan dan kekuatan lenturnya. Proporsi agregat kasar dalam campuran beton cukup besar, yaitu mencapai sekitar 60–70% dari total volume beton, sehingga mutu dan karakteristik agregat kasar sangat berpengaruh terhadap kualitas akhir beton yang dihasilkan (Sumajouw dkk., 2014). Secara umum, agregat kasar adalah material yang memiliki ukuran butiran lebih dari 5 mm. Baik beton mutu biasa maupun beton mutu tinggi, keduanya memerlukan pengawasan kualitas agregat kasar sesuai dengan standar yang tercantum dalam ASTM C33, yang mencakup beberapa ketentuan sebagai berikut:

- 1) Agregat kasar harus terdiri dari partikel padat dan tidak berpori, serta memiliki ketahanan terhadap pengaruh cuaca seperti panas matahari dan hujan agar tidak mudah retak atau hancur. Apabila agregat mengandung butiran pipih, maka jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari total berat agregat, karena hal tersebut dapat memengaruhi kekompakan dan kekuatan beton.
- 2) Kandungan lumpur pada agregat kasar tidak boleh lebih dari 1% dari berat keringnya. Lumpur yang dimaksud adalah partikel halus yang mampu lolos melalui ayakan berukuran 0,063 mm. Jika kadar lumpur melebihi batas tersebut, maka agregat harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.
- 3) Agregat kasar harus bebas dari zat-zat berbahaya yang dapat menurunkan mutu beton, seperti senyawa alkali reaktif atau bahan kimia lain yang dapat memicu reaksi merugikan pada struktur beton.
- 4) Agregat kasar harus memiliki variasi ukuran butiran yang sesuai, dan bila diuji dengan serangkaian ayakan, maka harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a) Tidak boleh ada material yang tertinggal di atas ayakan 31,5 mm.
- b) Pada ayakan 4 mm, jumlah material yang lolos harus berada dalam kisaran 90% hingga 98%.
- c) Selisih antara jumlah sisa material pada dua ayakan berurutan harus berada dalam rentang 10% hingga 60% dari total berat agregat.

Selain ketentuan dalam ASTM C33, gradasi agregat kasar juga diatur dalam SNI 03-2834-2000, yang memberikan pedoman mengenai distribusi ukuran butir agregat kasar yang ideal untuk menghasilkan beton dengan kepadatan dan kekuatan optimum, sebagaimana tercantum pada tabel berikut.

Tabel 4. Gradasi Agregat Kasar

Ukuran saringan (Aayakan)				% Lolos saringan		
mm	SNI	ASTM	inch	Ukuran Maks 10 mm	Ukuran Maks 20 mm	Ukuran Maks 30 mm
75,0	76	3 in	3,00			100–100
37,5	38	1 1/2 in	1,50		100–100	95–100
19,0	19	3/4 in	0,75	100–100	95–100	35–70
9,5	9,6	3/8 in	0,3750	50–50	30–100	10–40
4,75	4,8	no.4	0,1870	0–10	0–10	0–5

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2.2.4. Air

Air merupakan salah satu komponen esensial dalam campuran beton karena berfungsi sebagai media reaksi hidrasi semen sekaligus pelumas yang mempermudah proses pencampuran dan pemadatan beton. Kualitas air yang digunakan harus diperhatikan dengan cermat, sebab air yang tidak memenuhi standar dapat mengganggu proses pengerasan dan menurunkan kekuatan beton. Oleh karena itu, air yang digunakan

untuk pembuatan beton harus bersih dan terbebas dari zat-zat kimia berbahaya, seperti minyak, asam, garam, maupun bahan organik, yang dapat menghambat atau merusak proses reaksi hidrasi semen (ASTM C1602, 2006).

Menurut ketentuan ASTM C1602 (2006), air yang digunakan dalam campuran beton tidak boleh mengandung unsur kimia tertentu melebihi batas konsentrasi yang telah ditetapkan. Standar ini mengatur secara rinci kriteria dan ambang batas kandungan zat kimia dalam air, yang disajikan pada Tabel 5, guna memastikan bahwa air tersebut layak digunakan dalam pembuatan beton tanpa menurunkan kualitas maupun durabilitasnya.

Tabel 5. Batasan Maksimum Kandungan Zat Kimia Dalam Air

No	Kandungan unsur kimia	Konsentrasi maksimum (ppm)
1	Chlorida (Cl) Beton Prategang	500
2	Chlorida (Cl) Beton Berulang	1000
3	Sulfat (SO ₄)	3000
4	Alkali (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O)	600
5	Total solid	50000

(Sumber: Silica Fume Association, 2022)

2.3. Abu Sekam Padi

Abu sekam padi (ASP) adalah produk hasil pembakaran dari limbah pertanian berupa sekam padi yang memiliki kandungan silika tinggi. Sekam padi sendiri merupakan lapisan luar yang melindungi butir padi, dengan proporsi sekitar 20% dari total berat padi setelah digiling. Proses pembakaran sekam padi pada suhu 600–700°C menghasilkan abu yang sebagian besar terdiri dari silika amorf (SiO₂) yang bersifat pozzolanik (shaio, 2021). Untuk menilai potensi pozzolanik dari abu sekam padi yang digunakan sebagai penambah semen, perlu dilakukan analisis terhadap komposisi kimia yang terkandung di

dalamnya. Komposisi kimia tersebut memberikan indikasi kemampuan ASP dalam bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) yang dihasilkan selama proses hidrasi semen. Reaksi antara abu sekam padi dan kalsium hidroksida ini akan membentuk senyawa pozzolan yang berperan dalam meningkatkan kekuatan serta kerapatan beton. Berdasarkan hasil analisis Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro (2022), komposisi kimia dari abu sekam padi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Kandungan Senyawa Abu Sekam Padi

KANDUNGAN SENYAWA	PERSENTASE KANDUNGAN (%)
SiO_2 (<i>Silikon Dioksida</i>)	91,13
C (<i>Karbon</i>)	5,19
K_2O (<i>Kalium Oksida</i>)	1,50
CaO (<i>Kalsium Oksida</i>)	0,92
FeO (<i>Ferros Oksida</i>)	0,67
MgO (<i>Magnesium Oksida</i>)	0,59

(Sumber: Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro, 2022)

2.4. Serbuk Kaca

Kaca merupakan salah satu material yang memiliki karakteristik unik bila dibandingkan dengan jenis keramik lainnya. Keunikan ini terutama disebabkan oleh proses pembentukan kaca yang melibatkan silika (SiO_2) sebagai komponen utamanya. Struktur amorf yang dimiliki kaca membuatnya memiliki sifat fisik dan kimia yang berbeda dari material kristalin pada umumnya. Kandungan silika yang tinggi memberikan kontribusi besar terhadap ketahanan kaca terhadap abrasi, perubahan cuaca, serta pengaruh zat kimia, sehingga material ini dikenal memiliki daya tahan (durabilitas) tinggi dan stabilitas kimia yang baik (Apriwelni & Wirawan, 2020).

Selain itu, kaca memiliki permukaan halus dan bersifat non-porous, sehingga tidak mudah menyerap air maupun zat lain dari lingkungan sekitar. Karakteristik tersebut menjadikan serbuk kaca berpotensi digunakan sebagai

bahan substitusi dalam campuran beton, terutama sebagai penambah agregat halus. Pemanfaatan serbuk kaca diharapkan dapat meningkatkan kekuatan mekanik beton, menambah ketahanan terhadap lingkungan agresif, sekaligus membantu mengurangi limbah kaca yang sulit terurai secara alami di alam.

Selanjutnya, komposisi unsur kimia pada serbuk kaca memiliki peranan penting dalam menentukan tingkat reaktivitasnya terhadap semen serta bahan pengikat lainnya. Kandungan oksida-oksida logam dan silika di dalamnya memberikan gambaran mengenai kemampuan serbuk kaca berpartisipasi dalam reaksi hidrasi semen maupun reaksi pozzolan. Rincian mengenai komposisi kimia serbuk kaca yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Kandungan Senyawa Kimia Serbuk Kaca

KANDUNGAN SENYAWA	PERSENTASE (%)
SiO ₂ (<i>Silikon Dioksida</i>)	61,72
Al ₂ O ₃ (<i>Aluminium Oksida</i>)	3,45
Fe ₂ O ₃ (<i>Ferri Oksida</i>)	0,18
CaO (<i>Kalsium Oksida</i>)	2,59

(Sumber: N. Hanafiah, 2011)

2.5. Waktu Pengikat Semen

Waktu pengikatan semen adalah periode yang dibutuhkan semen untuk mulai mengalami pengerasan setelah bereaksi dengan air hingga mencapai kekuatan yang cukup untuk menahan tekanan. Periode ini mencerminkan proses hidrasi antara senyawa aktif dalam semen dengan air yang membentuk senyawa pengeras. Pengujian waktu pengikatan bertujuan mengetahui durasi yang dibutuhkan semen untuk mencapai kekakuan awal dan akhir sesuai standar SNI 15-2049:2004, yang menetapkan waktu pengikatan awal minimum 45 menit dan waktu pengikatan akhir maksimum 375 menit untuk semen jenis PCC (Nasution dkk., 2019). Pengujian dilakukan setelah semen mencapai konsistensi normal, yaitu saat jarum Vicat menembus sedalam 10 ± 1 mm, sedangkan waktu pengikatan awal ditentukan ketika jarum mencapai kedalaman 25 ± 1 mm. Waktu pengikatan awal menandai dimulainya

pengerasan, sedangkan waktu pengikatan akhir menunjukkan saat semen telah mengeras sepenuhnya (Arianto dkk., 2013).

2.6. Perawatan Beton (*Curing*)

Perawatan beton (*curing*) merupakan tahap krusial setelah proses pengecoran yang bertujuan untuk mempertahankan kelembapan dan suhu beton agar reaksi hidrasi semen berlangsung optimal. Hidrasi yang berjalan dengan baik sangat menentukan pembentukan struktur mikroskopis beton sehingga beton menjadi padat, kuat, serta tahan terhadap retak dan pengaruh lingkungan. Menurut Mulyono (2015), kehilangan air secara cepat dapat menyebabkan pengerasan tidak sempurna dan menurunkan kuat tekan beton. Oleh karena itu, perawatan harus dilakukan segera setelah beton mulai mengeras, dengan menjaga permukaan tetap lembap melalui penyiraman air, penutupan dengan bahan basah, atau penggunaan bahan kimia pelapis (*curing compound*).

Berdasarkan SNI 2847:2019, waktu perawatan minimum untuk beton normal adalah tujuh hari dan dapat diperpanjang hingga empat belas hari untuk beton yang mengandung bahan tambahan pozzolan. Hasil penelitian Kusuma dkk. (2023) menunjukkan bahwa perawatan beton secara rutin selama 14 hari dapat meningkatkan kuat tekan hingga 18% dibandingkan beton yang tidak menjalani perawatan. Hal ini menegaskan bahwa tahap curing memiliki pengaruh signifikan terhadap mutu dan durabilitas beton.

2.7. Pengujian Kuat Tekan

Salah satu aspek utama dalam penentuan mutu beton adalah kuat tekan, karena parameter ini menunjukkan kemampuan beton menahan beban tekan sebelum terjadi kerusakan. Nilai kuat tekan beton akan meningkat seiring bertambahnya umur beton, hingga mencapai kekuatan optimal pada usia 28 hari. Pengujian kuat tekan dapat dilakukan baik di laboratorium maupun di lapangan, dengan menggunakan benda uji berbentuk kubus maupun silinder. Menurut

Panennungi dan Pertiwi (2018), terdapat perbedaan hasil antara pengujian benda uji silinder dan kubus, yang hubungannya dijelaskan dalam ISO Standard 3893:1977 mengenai perbandingan nilai kuat tekan kedua jenis benda uji tersebut. Perbandingan kuat tekan antara silinder dan kubus dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan Kuat Tekan Antara Silinder Dan Kubus

Kuat Tekan Silinder (MPa)	Kuat Tekan Kubus (MPa)
2	2,5
4	5
6	7,5
8	10
10	12,5
12	15
16	20
20	25
25	30
30	35
35	40
40	45
45	50
50	55

(Sumber: ISO Standard 3893-1977 dalam (Panennungi & Pertiwi, 2018))

Pada umumnya, kekuatan penuh beton tercapai pada usia 28 hari (Panennungi & Pertiwi, 2018).

Berdasarkan standar SNI 1974:2011, penentuan kuat tekan beton dilakukan melalui pengujian tekan (*compressive test*) dengan menggunakan pembebanan statik monotone. Dalam pengujian tersebut, beban diberikan secara kontinu dan merata melalui pusat berat benda uji. Dengan demikian, kuat tekan beton dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$f'c = P/A$$

Keterangan:

$F'c$ = Kuat Tekan Beton (MPa)

P = Gaya Tekan Maksimum (N)

A = Luas Penampang Benda Uji (mm^2)

2.8. Penelitian Sebelumnya

2.8.1. Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton

Penelitian yang dilakukan oleh Ode dkk. (2024) ini menilai pengaruh substitusi sebagian agregat halus dengan serbuk kaca pada beton mutu tinggi. Sampel beton berbentuk kubus dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm dibuat dengan variasi kadar serbuk kaca sebesar 0%, 2,5%, dan 5%. Hasil *slump test* menunjukkan bahwa penambahan serbuk kaca meningkatkan nilai *slump* dari 8 cm pada beton normal menjadi 8,8 cm pada kadar 2,5% dan 10,8 cm pada kadar 5%, yang menandakan beton menjadi lebih encer dan mudah dikerjakan.

Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari menunjukkan bahwa beton dengan 2,5% serbuk kaca menghasilkan kuat tekan rata-rata 252,26 kg/cm^2 , lebih tinggi dibanding beton normal sebesar 233,16 kg/cm^2 . Namun, pada kadar 5% serbuk kaca, kuat tekan menurun menjadi 192,80 kg/cm^2 , meskipun masih memenuhi standar minimal kuat tekan 200 kg/cm^2 . Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan serbuk kaca sebagai substitusi agregat halus paling optimal pada kadar 2,5% untuk meningkatkan performa beton mutu tinggi, sedangkan penambahan lebih tinggi dapat menurunkan kualitas beton akibat perubahan sifat fisik campuran.

2.8.2. Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi sebagai Bahan Tambahan Terhadap Kuat Tekan Beton

Penelitian yang dilakukan oleh Farhan dkk. (2023) ini membahas pemanfaatan limbah abu sekam padi sebagai bahan tambahan dalam campuran beton untuk meningkatkan kekuatan tekan. Abu sekam padi yang digunakan berasal dari Kabupaten Kerinci dan ditambahkan ke dalam beton dengan variasi kadar 0%, 6%, 8%, 10%, dan 12% dari berat semen. Beton yang diuji berbentuk silinder dengan mutu rencana $f_c' 20$ MPa. Hasil uji laboratorium menunjukkan adanya peningkatan kekuatan tekan secara linear pada campuran dengan tambahan abu sekam padi sebesar 6%, 8%, dan 10%, dengan nilai optimum mencapai 29,32 MPa. Kandungan silika (SiO_2) dalam abu sekam padi yang tinggi, yaitu 91,13%, berperan penting dalam memperkuat ikatan antara partikel semen dan agregat, sehingga menghasilkan beton yang lebih padat dan kuat.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa abu sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan ramah lingkungan untuk meningkatkan mutu beton. Peningkatan kekuatan tekan tertinggi diperoleh pada penambahan 10% abu sekam padi, yang menunjukkan kenaikan sebesar 25,41% dibanding beton normal tanpa campuran abu sekam padi. Namun, pada kadar 12%, kekuatan beton mulai menurun meskipun masih lebih tinggi daripada beton tanpa tambahan. Hasil ini sesuai dengan temuan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi dalam rentang 7,5–10% mampu menghasilkan kekuatan tekan optimum, karena partikel halus silika membantu mengisi pori-pori beton dan memperkuat struktur mikro material.

2.8.3. Effectiveness of Rice Husk Ash and Glass Powder Waste as Partial Replacements of Cement in Concrete Construction

Penelitian yang dilakukan oleh Pranadiarso dkk. (2024) meneliti efektivitas penggunaan abu sekam padi (*Rice Husk Ash/RHA*) dan serbuk kaca (*Glass Powder Waste/GPW*) sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Sampel uji berupa beton silinder dengan ukuran 15 cm × 30 cm dibuat dengan variasi campuran GPW dan RHA masing-masing sebesar 0%, 3%, 5%, 10%, dan 15%. Pengujian dilakukan pada umur beton 7 dan 28 hari untuk menilai kuat tekan dan berat jenis beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada umur 28 hari, campuran dengan proporsi 5% GPW dan RHA menghasilkan kekuatan tekan tertinggi sebesar 33,1 MPa. Namun, penambahan campuran di atas persentase tersebut justru menurunkan kuat tekan dan berat jenis beton, meskipun nilai densitasnya masih termasuk dalam kategori beton normal.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan abu sekam padi dan serbuk kaca dapat meningkatkan kinerja beton jika digunakan pada kadar optimum. Kombinasi bahan tersebut berperan dalam memperbaiki struktur mikro beton melalui reaksi pozzolan antara silika amorf dalam abu sekam padi dan serbuk kaca dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen. Hasil ini menunjukkan bahwa campuran GPW dan RHA pada kadar 3–5% efektif meningkatkan kekuatan tekan beton, sedangkan kadar yang lebih tinggi menyebabkan penurunan performa akibat berkurangnya kandungan semen aktif. Temuan ini menegaskan potensi pemanfaatan limbah industri dan pertanian sebagai bahan bangunan ramah lingkungan, dengan tetap memperhatikan proporsi yang tepat agar mutu beton tetap terjaga.

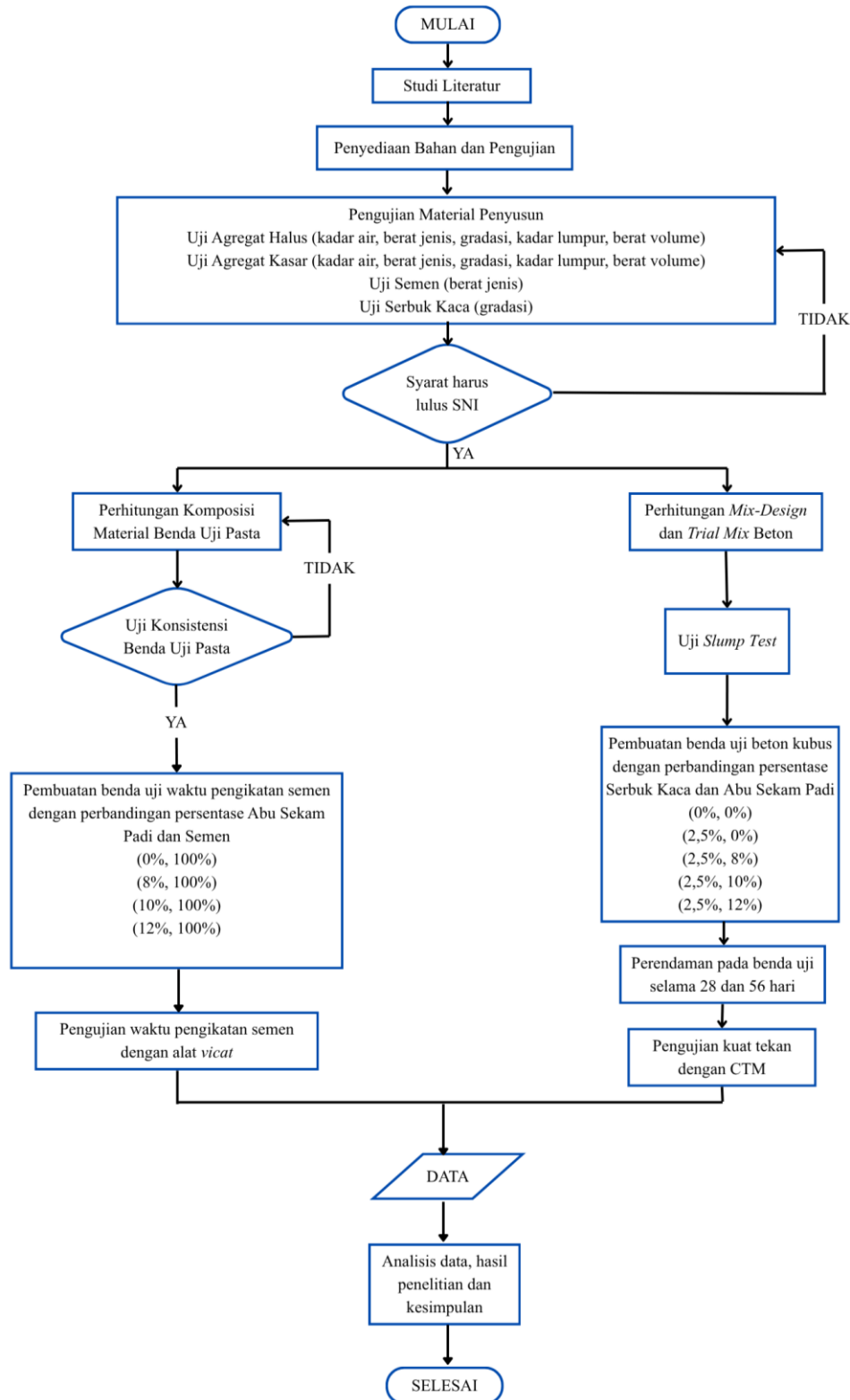
III. METODE PENELITIAN

3.1. Pendahuluan

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental melalui serangkaian pengujian laboratorium untuk memperoleh data dan hasil penelitian yang akurat. Variasi campuran yang digunakan meliputi penambahan serbuk kaca (*glass powder*) sebesar 2,5% dari berat agregat halus serta penggunaan abu sekam padi (*rice husk ash*) dengan variasi 8%, 10%, dan 12% dari berat semen. Selain itu, kombinasi antara *glass powder* dan *rice husk ash* juga diterapkan dengan variasi 0% + 0%, 2,5% + 0%, 2,5% + 8%, 2,5% + 10%, dan 2,5% + 12%. Seluruh variasi tersebut difungsikan sebagai bahan penambah semen dan agregat halus dalam beton mutu normal K-300. Penelitian ini juga mencakup pembuatan benda uji untuk mengamati waktu pengikatan semen pada variasi abu sekam padi 0%, 8%, 10%, dan 12%, serta pembuatan benda uji berbentuk kubus berukuran 15 cm × 15 cm × 15 cm yang akan diuji kuat tekannya pada umur 28 dan 56 hari.

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung. Tahapan penelitian mencakup kegiatan studi literatur, persiapan alat dan bahan, serta pengujian karakteristik material berdasarkan standar SNI. Setelah seluruh bahan memenuhi syarat sesuai standar, dilakukan perhitungan komposisi material untuk pembuatan benda uji pasta yang selanjutnya diuji tingkat konsistensinya. Apabila hasil uji konsistensi telah memenuhi ketentuan, tahap berikutnya yaitu pengujian waktu pengikatan semen dilakukan untuk mengetahui pengaruh substitusi bahan terhadap sifat awal pasta semen.

Langkah selanjutnya mencakup kegiatan *mix design* dan *trial mix* guna memperoleh proporsi campuran beton yang paling optimal. Setelah nilai *slump* memenuhi target yang diharapkan, dilakukan pembuatan benda uji beton kubus. Benda uji pasta digunakan untuk pengujian waktu pengikatan semen, sedangkan benda uji kubus beton dilakukan proses perawatan (*curing*) hingga mencapai umur 28 dan 56 hari sebelum diuji kuat tekannya dengan alat *Compression Testing Machine* (CTM). Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk menentukan pengaruh penambah semen dan agregat halus terhadap waktu pengikatan semen serta kuat tekan beton. Secara keseluruhan, seluruh tahapan kegiatan penelitian digambarkan dalam bentuk diagram alir yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

3.2. Peralatan dan Bahan

Dalam pelaksanaan penelitian ini, tahap awal yang dilakukan adalah menyiapkan seluruh peralatan dan bahan yang akan digunakan selama proses pengujian. Pada penelitian ini, jenis alat dan bahan disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing pengujian agar hasil yang diperoleh akurat serta memenuhi standar yang berlaku.

3.2.1. Alat

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Oven

Oven berfungsi sebagai alat untuk mengeringkan material sebelum dilakukan proses pengujian agar kadar air pada bahan berada dalam kondisi standar yang diperlukan.

b. Satu set saringan

Penelitian ini menggunakan seperangkat saringan dengan ukuran diameter bertingkat, yaitu 37,5 mm, 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, 0,02 mm, serta pan. Alat ini berfungsi untuk memisahkan agregat halus dan kasar sesuai dengan gradasi yang dibutuhkan dalam campuran beton.

c. Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur berat masing-masing bahan yang akan digunakan pada penelitian. Jenis timbangan yang digunakan adalah timbangan digital dengan kapasitas maksimum 30 kg dan tingkat ketelitian hingga 0,1 gram agar hasil pengukuran lebih akurat.

d. Piknometer

Piknometer digunakan untuk menentukan berat jenis (densitas) agregat halus serta mengukur kandungan zat organik yang terdapat di dalamnya.

e. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan sebagai alat untuk menakar volume air yang dibutuhkan dalam pengujian kadar lumpur serta pengujian berat jenis agregat halus (*specific gravity*).

f. Cetakan kerucut pasir

Cetakan kerucut pasir digunakan untuk menentukan kondisi jenuh kering permukaan (SSD) pada agregat halus. Alat ini memastikan kadar air pada pasir sesuai kondisi standar sebelum digunakan dalam pembuatan beton

g. Bejana Silinder

Bejana silinder digunakan untuk pengujian berat jenis agregat halus dan kasar. Dalam penelitian ini digunakan dua ukuran, yaitu bejana 5 liter untuk agregat halus dan bejana 10 liter untuk agregat kasar.

h. *Concrete Mixer*

Concrete mixer digunakan untuk mencampur seluruh bahan penyusun beton hingga homogen, sehingga campuran yang dihasilkan memiliki konsistensi dan sebaran material yang merata.

i. Satu set alat *slump test*

Perangkat *slump test* terdiri atas kerucut Abrams dengan diameter atas 102 mm, diameter bawah 203 mm, tinggi 305 mm, serta pelat dasar berukuran 900 × 900 mm dengan ketebalan 3 mm. Alat ini digunakan untuk mengukur tingkat kelecakan (*workability*) beton melalui uji *slump*.

j. Meteran

Meteran digunakan untuk mengukur tinggi penurunan (*slump*) saat melakukan pengujian *slump test*, sehingga hasilnya dapat dibandingkan dengan nilai target yang direncanakan.

k. Cetakan benda uji

Cetakan benda uji berfungsi untuk membentuk beton sesuai ukuran standar yang digunakan dalam pengujian kuat tekan. Pada penelitian ini digunakan cetakan berbentuk kubus dengan dimensi $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$.

l. Bak perendam

Bak perendam berfungsi untuk melakukan proses *curing* beton dengan menjaga kelembapan agar reaksi hidrasi semen berjalan optimal, sehingga beton dapat mencapai kekuatan tekan yang diinginkan.

m. *Compression Testing Machine* (CTM)

Compression Testing Machine (CTM) digunakan untuk mengukur kuat tekan beton. Alat ini memiliki kapasitas beban maksimum 3000 kN dan digunakan untuk menguji kekuatan benda uji kubus setelah masa perawatan selesai.

n. Peralatan Vicat

Peralatan Vicat digunakan untuk menentukan konsistensi pasta semen serta mengukur waktu pengikatan awal dan akhir semen. Alat ini berfungsi untuk menilai karakteristik fisik semen sebelum dicampurkan dalam adukan beton.

o. Peralatan bantu

Peralatan bantu merupakan perlengkapan tambahan yang digunakan untuk menunjang kelancaran proses penelitian. Alat-alat ini meliputi stamper, kode warna, sekop, sendok semen, ember, kontainer, kereta dorong, *stopwatch*, wadah pengukur, dan alat tulis.

3.2.2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Semen PCC

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen jenis PCC (*Portland Composite Cement*) dengan merek Baturaja. Semen tersebut diperoleh dari toko bangunan dalam kondisi tertutup rapat dan dikemas dalam karung dengan berat 50 kg untuk menjaga mutu serta mencegah penggumpalan akibat kelembapan udara.

b. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari daerah Gunung Sugih, Lampung Tengah. Material ini diuji berdasarkan ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI) melalui serangkaian pengujian, antara lain kadar air, berat jenis, daya serap (absorpsi), kadar lumpur, gradasi butiran, dan kandungan zat organik. Seluruh pengujian tersebut dilakukan untuk memastikan kualitas agregat halus memenuhi persyaratan sebagai bahan penyusun beton.

c. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Tanjung, Lampung Selatan, dengan ukuran maksimum butiran sebesar 19 mm. Material ini diuji berdasarkan standar SNI, meliputi pengujian kadar air, gradasi, berat jenis, daya serap (absorpsi), serta berat volume agregat, guna memastikan kelayakan agregat kasar sebagai komponen utama dalam campuran beton.

d. Abu sekam padi (*Rice Husk Ash*)

Abu sekam padi yang digunakan pada penelitian ini berfungsi sebagai bahan penambah semen dalam campuran beton, dengan variasi kadar 8%, 10%, dan 12% dari berat semen. Pemanfaatan abu sekam padi diharapkan mampu meningkatkan sifat mekanis beton serta memberikan nilai tambah terhadap pemanfaatan limbah pertanian. Penelitian ini menggunakan abu sekam biochar dengan merek BioE.

e. Serbuk kaca (*Glass Powder*)

Serbuk kaca digunakan sebagai bahan penambah agregat halus dengan proporsi sebesar 2,5% dari berat agregat halus. Material ini diperoleh melalui proses penghalusan limbah kaca dengan cara ditumbuk hingga lolos saringan no 12 dan digunakan untuk memperbaiki kekuatan serta karakteristik beton secara keseluruhan.

3.3. Pengujian Material

Prosedur pelaksanaan penelitian material dibagi ke dalam beberapa jenis pengujian yang dijelaskan secara rinci sebagai berikut.

3.3.1. Agregat Halus

Prosedur pelaksanaan pengujian material untuk agregat halus dilakukan beberapa pengujian sebagai berikut:

a. Kadar Air

Tujuan pengujian kadar air adalah untuk mengetahui kandungan air dalam agregat halus melalui metode pengeringan. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C70-94 dan SNI 03-1971-1990.

b. Berat Jenis dan Penyerapan

Pengujian berat jenis dan penyerapan bertujuan untuk menentukan nilai berat jenis agregat halus pada kondisi SSD (*Surface Saturated Dry*) serta mengetahui kemampuan material dalam menyerap air. Pengujian ini mengacu pada ASTM C128-97, ASTM C128-01, ASTM C33-03, dan SNI 1970:2008.

c. Gradasi

Pengujian gradasi dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran (gradasi) agregat halus serta untuk menghitung nilai

modulus kehalusan (*fineness modulus*). Standar yang digunakan adalah ASTM C33-03 dan ASTM C136-01.

d. Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur bertujuan untuk menentukan persentase kandungan lumpur dalam agregat halus. Pengujian ini mengacu pada ASTM C117-03.

e. Berat Volume

Pengujian berat volume dilakukan untuk mengetahui berat isi agregat halus yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat material dalam kondisi kering terhadap volumenya. Pengujian ini mengacu pada ASTM C29 M-97.

3.3.2. Agregat Kasar

Prosedur pelaksanaan pengujian material pada agregat kasar dilakukan melalui beberapa jenis pengujian sebagai berikut:

a. Kadar Air

Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui kandungan air dalam agregat kasar dengan metode pengeringan sesuai ketentuan ASTM. Pengujian ini mengacu pada ASTM C566-97 dan SNI 03-1971-1990.

b. Berat Jenis dan Penyerapan

Pengujian berat jenis dan penyerapan dilakukan untuk menentukan nilai berat jenis agregat kasar pada kondisi SSD (*Surface Saturated Dry*) serta mengetahui kemampuan agregat dalam menyerap air. Pengujian ini mengacu pada ASTM C127-01, ASTM C33-03, ASTM C136, dan SNI 1969:2008.

c. Gradasi

Pengujian gradasi bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran agregat kasar serta menghitung nilai modulus kehalusan (*Fineness Modulus*). Standar yang digunakan adalah ASTM C33-03 dan ASTM C136-01.

d. Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur dilakukan untuk menentukan persentase kandungan lumpur dalam agregat kasar. Pengujian ini mengacu pada ASTM C117-03.

e. Berat Volume

Pengujian berat volume bertujuan untuk mengetahui berat isi agregat kasar, yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat material dalam kondisi kering terhadap volumenya. Pengujian ini mengacu pada ASTM C29 M-97.

3.3.3. Semen

Prosedur pelaksanaan pengujian material untuk semen dilakukan melalui pengujian berat jenis bertujuan untuk menentukan nilai berat jenis semen berdasarkan perbandingan antara berat volume kering material pada suhu ruang dengan berat volume air suling pada suhu 4°C. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C188-95 dan SNI 15-2531-1991.

3.3.4. Serbuk Kaca

Pelaksanaan pengujian material serbuk kaca sebagai bahan pengganti agregat halus adalah uji gradasi yang bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran (gradasi) serbuk kaca untuk menghitung nilai modulus kehalusan (*fineness modulus*). Standar yang digunakan adalah ASTM C33-03 dan ASTM C136-01.

3.4. Pembuatan Benda Uji

Setelah proses perencanaan campuran dilakukan secara teliti, tahap berikutnya adalah pembuatan benda uji. Benda uji yang dibuat merupakan campuran semen yang ditambahkan dengan abu sekam padi, kemudian

digunakan untuk melakukan pengujian waktu pengikatan awal semen pada setiap variasi campuran yang telah ditentukan. Pengujian ini menggunakan alat Vicat untuk memperoleh data mengenai karakteristik waktu pengikatan semen akibat pengaruh penambahan abu sekam padi sebagai bahan penambah semen. Hasil dari pengujian tersebut disajikan dalam Tabel 9.

Tabel 9. Komposisi Dan Kode Benda Uji Waktu Pengikatan Semen

NO	KODE SAMPLE	RICE HUSK ASH (%)	SEMEN (%)	JUMLAH SAMPLE (BUAH)
1	RH0	0	100	3
2	RH8	8	100	3
3	RH10	10	100	3
4	RH12	12	100	3
JUMLAH				12

Keterangan:

RH : *Rice Husk Ash*

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini berupa beton berbentuk kubus dengan ukuran $15 \times 15 \times 15$ cm yang digunakan untuk pengujian kuat tekan. Penelitian ini melibatkan tiga variasi kategori benda uji yang masing-masing akan diuji pada umur 28 hari dan 56 hari. Hasil serta data dari pengujian tersebut disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Komposisi Dan Kode Benda Uji Beton Kubus

NO	KODE SAMPLE	GLASS POWDER (%)	AGREGAT HALUS (%)	RICE HUSK ASH (%)	SEMEN (%)	JUMLAH SAMPEL	
						UMUR 28 HARI (BUAH)	UMUR 56 HARI (BUAH)
1	GP0RH0	0	100	0	100	3	3
2	GP2,5RH0	2,5	100	0	100	3	3
3	GP2,5RH8	2,5	100	8	100	3	3
4	GP2,5RH10	2,5	100	10	100	3	3
5	GP2,5RH12	2,5	100	12	100	3	3
JUMLAH						15	15
TOTAL SAMPLE						30	

Keterangan:

GP : *Glass Powder*

RH : *Rice Husk Ash*

Tahapan-tahapan dalam pembuatan benda uji untuk pengujian waktu pengikatan awal semen adalah sebagai berikut:

A. Benda Uji Waktu Pengikatan Awal Semen

1. Menimbang semen sebanyak 400 gram sebagai bahan utama untuk pembuatan pasta uji.
2. Berdasarkan rancangan campuran, jumlah semen yang digunakan disesuaikan dengan persentase bahan penambah semen, dengan total massa campuran tetap dijaga sebesar 400 gram.
3. Mengukur volume air pencampur menggunakan gelas ukur sebanyak 25–30% dari massa total adonan semen.
4. Mencampurkan semen dan air hingga terbentuk adonan pasta yang merata dan homogen.
5. Membentuk adonan pasta menjadi bulatan, kemudian melemparkannya perlahan dengan kedua tangan sejauh kurang lebih 30 cm sebanyak 10 kali untuk memperoleh tekstur pasta yang lebih padat dan seragam.
6. Memasukkan adonan pasta ke dalam cetakan Vicat, lalu meratakan permukaannya menggunakan mistar perata agar permukaannya halus dan rata.
7. Meletakkan cetakan berisi pasta semen pada alat Vicat dengan jarum berdiameter 10 mm, kemudian menurunkan jarum hingga tepat menyentuh permukaan pasta.
8. Menurunkan sekrup alat Vicat sehingga jarum menembus pasta. Adonan dinyatakan memiliki konsistensi standar apabila jarum masuk sedalam 10 ± 1 mm dari permukaan.
9. Jika jarum belum menembus hingga 10 ± 1 mm, maka langkah nomor (2) diulang dengan menyesuaikan kadar air pada campuran hingga memenuhi kriteria yang dipersyaratkan.
10. Apabila hasil penurunan jarum telah sesuai (10 ± 1 mm), maka pasta dianggap memenuhi syarat konsistensi standar dan pengujian dapat dilanjutkan ke tahap penentuan waktu pengikatan semen.

11. Menyimpan benda uji yang telah memenuhi syarat konsistensi di ruang lembap selama kurang lebih 30 menit sebelum dilakukan pengujian selanjutnya.
12. Meletakkan kembali cetakan berisi pasta pada alat Vicat, kali ini menggunakan jarum berdiameter 1 mm, lalu menurunkan jarum hingga menyentuh permukaan pasta untuk memulai uji waktu pengikatan.
13. Menurunkan sekrup alat Vicat hingga jarum menembus pasta semen dan mencatat hasil pembacaan kedalaman penetrasi yang ditunjukkan oleh alat.
14. Melakukan pengujian secara berkala setiap 15 menit dengan mencatat nilai penetrasi jarum pada setiap interval waktu pengamatan.
15. Pengujian dilanjutkan hingga nilai penetrasi mencapai atau kurang dari 25 mm. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kedalaman tersebut ditetapkan sebagai waktu pengikatan awal semen.
16. Proses pengujian diteruskan sampai jarum tidak lagi dapat menembus permukaan pasta atau menunjukkan nilai penetrasi 0 mm, yang menandakan bahwa pasta telah mengeras sepenuhnya dan waktu tersebut ditetapkan sebagai waktu pengikatan akhir semen.

B. Benda Uji Beton

1. Proses pembuatan benda uji diawali dengan tahap pengecoran, yaitu dengan memasukkan agregat kasar, agregat halus, serta serbuk kaca sebagai bahan penambah agregat halus ke dalam *concrete mixer*, kemudian diaduk hingga seluruh agregat tercampur secara merata.
2. Setelah campuran agregat menjadi homogen, tahap selanjutnya yaitu menambahkan semen bersama abu sekam padi yang berfungsi sebagai bahan penambah semen dalam adukan beton.
3. Setelah agregat, semen, dan bahan pengganti tercampur secara menyeluruh, air ditambahkan secara bertahap sambil pengadukan terus dilakukan hingga campuran beton mencapai tingkat homogenitas yang diinginkan.

4. Campuran beton yang telah homogen kemudian dituangkan ke dalam cetakan (*mold*) berbentuk kubus dengan ukuran $15 \times 15 \times 15$ cm. Selama proses pengecoran berlangsung, dilakukan penggetaran menggunakan alat vibrator untuk menghilangkan rongga udara yang terdapat di dalam adukan beton.
5. Sebagian dari campuran beton yang telah dibuat juga digunakan untuk melakukan pengujian *slump* dengan menggunakan kerucut Abrams, guna mengetahui nilai kelecakan (*workability*) dari setiap variasi campuran beton yang digunakan.

3.5. Pengujian *Workability* Beton Segar

Sebelum beton segar dituangkan ke dalam cetakan, dilakukan terlebih dahulu pengujian *workability* dengan metode *slump test* untuk menentukan tingkat kelecakan atau kemudahan pengerjaan adukan beton. Menurut Putra (2022), tahapan pelaksanaan pengujian *slump* dilakukan melalui beberapa langkah berikut:

1. Bersihkan kerucut Abrams terlebih dahulu, baik bagian dalam maupun luarnya, menggunakan air agar bebas dari sisa material yang dapat memengaruhi hasil pengujian.
2. Setelah bersih, tempatkan kerucut Abrams di atas pelat baja berukuran $900 \text{ mm} \times 900 \text{ mm}$ sebagai alas pengujian.
3. Pastikan kerucut Abrams ditekan atau dipegang kuat pada bagian kakinya agar posisinya tidak bergeser selama proses pengisian adukan beton berlangsung.
4. Masukkan adukan beton segar ke dalam kerucut Abrams hingga mencapai sepertiga tinggi cetakan, kemudian padatkan menggunakan tongkat penumbuk sebanyak 25 kali agar udara yang terperangkap dapat keluar.
5. Ulangi proses pengisian dan pemadatan yang sama setiap kali adukan bertambah setinggi sepertiga dari tinggi total kerucut Abrams hingga cetakan penuh.

6. Ratakan permukaan bagian atas adonan beton menggunakan sendok semen sehingga sejajar dengan tepi kerucut Abrams.
7. Setelah itu, angkat kerucut Abrams secara perlahan dan tegak lurus ke atas tanpa gerakan samping agar bentuk *slump* tidak terganggu.
8. Ukur penurunan permukaan adukan beton dari tinggi awal dengan mengurangkan tinggi awal kerucut Abrams dengan tinggi beton setelah *slump* terjadi. Selisih hasil pengukuran tersebut disebut sebagai nilai *slump*.

3.6. Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Benda uji yang telah didiamkan selama 24 jam dilepaskan dari cetakan (*mold*), kemudian direndam dalam bak berisi air selama 28 hari dan 56 hari sesuai dengan umur pengujian yang telah ditentukan. Proses perendaman ini dilakukan untuk memastikan reaksi hidrasi semen berlangsung dengan baik sehingga beton dapat mengeras secara sempurna tanpa mengalami retak akibat penguapan air yang berlebihan. Selain itu, tahap *curing* juga berfungsi menjaga kualitas dan kekuatan beton agar tetap sesuai dengan spesifikasi perencanaan. Setelah proses perendaman berakhir, sampel beton diangkat dari bak air dan dibiarkan mengering di udara selama 48 jam sebelum dilakukan pengujian kuat tekan.

3.7. Pengujian Benda Uji Menggunakan CTM

Setelah sampel beton menyelesaikan proses *curing*, langkah berikutnya adalah melakukan pengujian kuat tekan menggunakan benda uji berbentuk kubus. Pengujian kuat tekan beton ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan beton dalam menahan beban tekan per satuan luas hingga mencapai kondisi keruntuhan, sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam standar SNI 03-1974 (1990). Pada penelitian ini, pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin uji tekan (*Compression Testing Machine/CTM*) yang memiliki kapasitas maksimum sebesar 3000 kN dan kecepatan pembebanan

antara 0,14 hingga 0,34 MPa per detik. Adapun rumus yang digunakan untuk menentukan nilai kuat tekan beton adalah sebagai berikut:

$$f'_c = P/A$$

Keterangan:

F'_c = Kuat Tekan Beton (MPa)

P = Gaya Tekan Maksimum (N)

A = Luas Penampang Benda Uji (mm^2)

Pada penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk kubus dengan Panjang 15 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm.

3.8. Perhitungan dan Analisis Data

Setelah pengujian dilakukan pada sampel campuran semen dan beton berbentuk kubus, tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan serta analisis data yang mencakup beberapa aspek sebagai berikut:

1. Menentukan durasi waktu pengikatan semen pada setiap variasi campuran yang menggunakan abu sekam padi sebagai penambah semen utama.
2. Berdasarkan hasil pengujian waktu pengikatan awal, disusun grafik perbandingan antara campuran semen tanpa bahan penambah dan campuran dengan tambahan abu sekam padi. Dari grafik tersebut dilakukan analisis guna mengetahui pengaruh penambah semen terhadap waktu pengikatan yang terjadi.
3. Melaksanakan pengujian nilai *slump* pada setiap variasi campuran beton yang menggunakan serbuk kaca sebagai penambah agregat halus untuk mengetahui tingkat kelecakan atau *workability* beton segar.
4. Berdasarkan hasil pengujian *slump*, disusun grafik perbandingan antara campuran beton normal dan campuran dengan variasi kadar serbuk kaca, kemudian dilakukan analisis untuk menilai pengaruh penggunaan serbuk kaca terhadap kelecakan adukan beton.
5. Menghitung nilai kuat tekan beton pada benda uji berbentuk kubus dengan umur pengujian 28 hari dan 56 hari, baik pada beton normal

maupun beton dengan penambah semen oleh abu sekam padi dan agregat halus oleh serbuk kaca.

6. Berdasarkan hasil uji kuat tekan pada umur 28 dan 56 hari, dibuat grafik perbandingan peningkatan kuat tekan antara beton normal dan beton dengan bahan penambah, kemudian dilakukan analisis terhadap hasil yang diperoleh.
7. Menganalisis keterkaitan antara waktu pengikatan awal semen dengan nilai kuat tekan beton berdasarkan data dari campuran beton normal serta campuran dengan bahan penambah yang digunakan.
8. Seluruh hasil pengujian yang diperoleh dianalisis untuk menentukan kombinasi bahan penambah paling optimal yang dapat menekan penggunaan semen tanpa menurunkan mutu dan kekuatan beton.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan dalam penelitian mengenai pengaruh abu sekam padi dan serbuk kaca sebagai bahan penambah terhadap kuat tekan beton normal, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Penambahan abu sekam padi sebagai bahan penambah semen memberikan pengaruh yang tidak linear terhadap waktu pengikatan semen. Pada kondisi tanpa abu sekam padi, waktu pengikatan awal dan akhir berada pada rentang normal, sedangkan pada penambahan tertentu terjadi kecenderungan perlambatan maupun percepatan waktu ikat. Meskipun demikian, seluruh variasi campuran masih memenuhi persyaratan SNI untuk semen PCC, sehingga secara umum abu sekam padi masih layak digunakan sebagai bahan tambahan semen dalam batas kadar tertentu.
- b. Penambahan serbuk kaca sebesar 2,5% dari berat agregat halus dapat meningkatkan nilai slump beton, yang menunjukkan peningkatan *workability*. Namun, peningkatan kadar abu sekam padi justru menurunkan nilai *slump* akibat sifat partikel halusnya yang menyerap air dalam campuran. Nilai *slump* optimum diperoleh pada kombinasi serbuk kaca 2,5% dan abu sekam padi 8% yaitu 95 mm. Pada kombinasi serbuk kaca 2,5% dan abu sekam padi 12%, nilai *slump* turun menjadi 70 mm dan menjadi satu-satunya variasi yang tidak memenuhi target *slump* yang direncanakan (75–100 mm).
- c. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi dan serbuk kaca belum mampu meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal pada umur 28 dan 56 hari. Beton normal tetap

menjadi variasi dengan kuat tekan tertinggi pada umur 28 hari, sedangkan beberapa variasi campuran baru menunjukkan peningkatan pada umur 56 hari. Hal ini mengindikasikan bahwa reaksi pozzolanik dari abu sekam padi berlangsung secara lambat dan membutuhkan waktu lebih panjang untuk memberikan kontribusi terhadap kekuatan beton.

- d. Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, komposisi campuran yang memberikan hasil paling seimbang antara *workability* dan kekuatan adalah variasi GP2,5RH10 (serbuk kaca 2,5% + abu sekam padi 10%), yang menunjukkan nilai kuat tekan terbesar di antara seluruh variasi dengan abu sekam padi dan terdapat peningkatan yaitu sebesar 3,72 MPa dari umur 28 ke 56 hari. Hal ini mengindikasikan bahwa reaksi pozzolanik pada variasi tersebut masih berlangsung secara aktif dan berpotensi menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi pada umur pengujian yang lebih panjang (90 hari atau lebih).

5.2. Saran

Beberapa saran yang dapat digunakan sebagai acuan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian selanjutnya disarankan memperpanjang umur pengujian hingga 90 dan 180 hari karena reaksi pozzolanik berlangsung lambat, dengan potensi peningkatan kuat tekan terutama pada kadar abu sekam padi 10%.
- b. Perlu penelitian lanjutan dengan variasi kadar serbuk kaca yang lebih beragam (misalnya 5%–10%) guna memperoleh proporsi optimum dalam kombinasinya dengan abu sekam padi.
- c. Penelitian selanjutnya sebaiknya menambah variasi umur pengujian tidak hanya pada 28 dan 56 hari, tetapi juga pada umur 7 hari guna memantau perkembangan kekuatan awal beton akibat reaksi pozzolanik dari abu sekam padi dan serbuk kaca.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 221. 1998. *Guide for Use of Normal Weight and Heavyweight Aggregates in Concrete*. American Concrete Institute.
- Amiwarti dan Mahipal. 2019. *Analisa Pengaruh Serbuk Kaca Dan Abu Terbang Sebagai Bahan Pengganti Alternatif Terhadap Kuat Tekan Beton*. *Jurnal Deformasi*. 4(1): 1-12.
- Arianto, R., Kurniawandy, A., & Ermiyati, E. (2014). *Kuat Tekan Beton Dan Waktu Ikat Semen Portland Pozzolan*. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 1(1), 1–14.
- ASTM C1602. 2006. *Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete*.
- Badan Pusat Statistik. 2024. *Produksi Padi Indonesia Tahun 2024*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Devi, D. S., Nurmeyliandari, R., & Pramadona, A. P. 2024. *Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi dan Limbah Granit Terhadap Kuat Tekan Beton*. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 8(1), 74–82.
- Dewi, S. U., Afni, D. N., & Renaldi, S. 2024. *Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi terhadap Kuat Tekan Beton K-175*. *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, 9(2), 260–271.
- Erfanda, F. 2019. *Pengaruh Penambahan Fly Ash Dan Serbuk Kaca Terhadap Kuat Tekan Beton K-300*. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Palembang*. 6(2): 97-107.
- Farhan, M., M. Nuklirullah, dan F.F. Bahar. 2023. *Pengaruh Penggunaan Abu-Sekam Padi Sebagai Bahan Tambahan Terhadap Kuat Tekan Beton*. *Jurnal Teknik*. 21(1): 58-67.

- Kusuma, R., Pratama, A., & Nugroho, S. 2023. *Pengaruh Metode Curing terhadap Peningkatan Kuat Tekan Beton Normal*. Jurnal Rekayasa Struktur, 9(2): 112–120.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. 2014. *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw-Hill Education.
- Mulyono, T. 2015. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Nasution, R., Haryanto, B., & Safitri, N. 2019. *Analisis Waktu Pengikatan Semen PCC Menggunakan Alat Vicat*. Jurnal Teknologi Bahan Bangunan, 7(1): 45–52.
- Ode, T., T. Sahusilawane, dan M. Marantika. 2024. *Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton*. Journal Agregate. 3(1): 1-6.
- Panennungi, A., & Pertiwi, S. N. 2018. *Ilmu Bahan Bangunan*. Yogyakarta: UII Press.
- Pranadiarso, T., I. Junaidi, S.R.B. Prasetyo, dan A.L. Putra. 2024. *Effectiveness Of Rice Husk Ash And Glass Powder Waste As Partial Replacements Of Cement In Concrete Construction*. CIVED. 11(3): 1016-1023.
- Prasetya, A. 2007. *Teknologi Beton dan Campurannya*. Jakarta: Erlangga.
- Putra, R. H. 2022. *Pengaruh kadar fly ash dan silica fume terhadap kuat tekan beton mutu tinggi*. Skripsi. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Saptari, Y. 2021. *Pozzolan Alam dan Abu Sekam Padi pada Beton Ramah Lingkungan*. Jurnal Rekayasa Sipil, 17(2).
- Shao, Y., Lefort, T., Moras, S., & Rodriguez, D. (2000). *Studies on concrete containing ground waste glass*. Cement and Concrete Research, 30(1), 91–100.
- SNI 03-2834. 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- SNI 03-6820. 2002. *Metode Pengujian Gradasi Agregat Halus dan Kasar*.
- SNI 15-7064. 2004. *Semen Portland Komposit*.
- SNI 1974. 2011. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*.
- Standar Nasional Indonesia. 2013. SNI 2847:2013 tentang *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.

Sumajouw, D. M. J. 2014. *Pengantar Teknologi Beton*. Universitas Sam Ratulangi.

Trimurtiningrum, R. 2021. *Pengaruh Pemanfaatan Abu Sekam Padi Terhadap Workabilitas, Resapan Dan Kekuatan Tekan Beton*. Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.

Utari, R., & Khanza, A. K. 2022. *Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi dan Bestmittel terhadap Kuat Tekan Beton*. Univ. PGRI Palembang.

Widjoko, L. 2010. *Pengaruh sifat kimia terhadap unjuk kerja mortar*. Jurnal Teknik Sipil UBL, 1(1), 52–59.