BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri konstruksi merupakan salah satu sektor yang memberikan kontribusi besar terhadap pembangunan infrastruktur, namun di sisi lain juga berdampak signifikan terhadap lingkungan. Salah satu bahan utama dalam pembuatan beton adalah semen, yang produksinya menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2) dalam jumlah besar. Menurut laporan Global Cement and Concrete Association (GCCA), industri semen bertanggung jawab atas sekitar 7-8% dari total emisi CO_2 dunia. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam material konstruksi yang dapat mengurangi ketergantungan terhadap semen, salah satunya melalui pemanfaatan limbah industri dan pertanian sebagai bahan substitusi.

Sejumlah penelitian telah membuktikan bahwa abu dari limbah pertanian seperti abu sekam padi, abu sabut kelapa, dan abu ampas tebu dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Penambahan abu ini diketahui dapat meningkatkan ketahanan beton terhadap lingkungan agresif, memperbaiki sifat mekanik beton, serta mengurangi porositasnya. Namun, penelitian mengenai penggunaan abu kulit kakao dalam beton masih sangat terbatas. Oleh karena itu, diperlukan kajian lebih lanjut untuk memahami bagaimana pengaruh substitusi abu kulit kakao terhadap kuat tekan dan durabilitas beton. (Hajrin Dwi Putra, 2023).

Salah satu limbah pertanian yang berpotensi digunakan dalam industri konstruksi adalah kulit kakao (Theobroma cacao). Indonesia merupakan salah satu produsen kakao terbesar di dunia, dengan produksi mencapai lebih dari 600.000 ton per tahun. Dari jumlah tersebut, sekitar 70% merupakan limbah kulit kakao yang umumnya tidak dimanfaatkan secara optimal dan hanya dibuang begitu saja, sehingga menimbulkan permasalahan lingkungan. Padahal, jika diolah dengan baik, kulit kakao dapat diubah menjadi abu yang memiliki kandungan silika (SiO_2) dan kalsium oksida (CaO) yang berpotensi sebagai bahan tambahan dalam pembuatan beton. (Kosasih, A, 2016).

Desa Kaloek, yang terletak di Kecamatan Binuang, Kabupaten Polewali Mandar, dikenal sebagai salah satu sentra penghasil kakao terbesar di wilayah tersebut. Setiap tahunnya, produksi kakao yang melimpah menghasilkan limbah kulit kakao dalam jumlah besar yang hingga kini belum dimanfaatkan secara optimal. Sebagian besar kulit kakao hanya dibuang begitu saja, menimbulkan potensi masalah lingkungan. Padahal, kulit kakao memiliki kandungan bahan organik dan mineral yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, termasuk sebagai bahan alternatif dalam industri konstruksi. Melihat ketersediaannya yang melimpah dan belum tergarap dengan baik, pemanfaatan kulit kakao sebagai bahan substitusi semen dalam pembuatan beton menjadi peluang strategis untuk mendukung inovasi material ramah lingkungan sekaligus meningkatkan nilai tambah bagi masyarakat Desa Kaloek.

Selain itu, pemanfaatan abu kulit kakao juga dapat memberikan nilai tambah bagi industri kakao di Indonesia. Dengan mengolah limbah ini menjadi produk yang

bernilai guna, maka akan tercipta peluang ekonomi baru, sekaligus mengurangi dampak negatif limbah pertanian terhadap lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi beton yang lebih ramah lingkungan serta mendukung upaya pembangunan berkelanjutan di sektor konstruksi.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah penelitian di atas, maka masalah yang ada adalah:

1. Bagaimana pengaruh substitusi abu kulit kakao terhadap kuat tekan beton ?
2. Bagaimana pengaruh substitusi abu kulit kakao terhadap durabilitas beton?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh substitusi abu kulit kakao terhadap kuat tekan beton.
2. Untuk mengetahui pengaruh substitusi abu kulit kakao terhadap durabilitas beton.

D. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Semen, yaitu semen Tonasa type I (*Portland Cement*) dengan pertimbangan sering digunakan dalam kegiatan untuk pelaksanaan konstruksi.
2. Kuat tekan beton rencana (f'c) sebesar 25 MPa.
3. Variasi kulit kakao yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0%, 5%, 10%, dan 15%.

4. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan beton.
5. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur perawatan 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat teoritis
   a. Menambah wawasan dan memperkaya literatur mengenai pemanfaatan limbah pertanian, khususnya abu kulit kakao, dalam industri konstruksi.
   b. Memberikan data ilmiah mengenai pengarus substitusi abu kulit kakao terhadap kuat tekan dan durabilitas beton.
2. Manfaat praktis
   a. Memberikan alternatif material pengganti sebagian semen yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.
   b. Mendukung inovasi dalam pemanfaatan limbah kulit kakao untuk meningkatkan nilai tambah bagi industri kakao.
   c. Mengurangi dampak negatif produksi semen terhadap lingkungan dengan mengurangi ketergantungan terhadap semen konvensional.
   d. Menjadi referensi bagi praktisi konstruksi dan akademisi dalam mengembangkan beton ramah lingkungan.

F. Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan yang dapat disajikan yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan tentang teori teori yang menyangkut tentang penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menguraikan mengenai metode – metode yang akan digunakan dalam penelitian baik dari jenis penelitiannya, tahapan, bagan alir serta lain sebagainya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas secara keseluruhan tentang hasil penelitian kuat tekan dan durabilitas beton dengan substitusi abu kulit kakao.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas kesimpulan dari seluruh penulisan, serta saran-saran yang dikemukakan berupa sambungan pemikiran penulis tentang penulisan permasalahan tersebut diatas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton

Beton merupakan salah satu bahan material yang umum digunakan dalam dunia konstruksi khususnya pembangunan infrastruktur seperti jalan, jembatan, dan pembangunan gedung (Panjaitan dkk., 2021). Menurut (Mulyono, 2004) beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture atau additivie*).

Beton adalah material yang diperoleh dari campuran (komposit) yang terdiri dari beberapa bahan yaitu antara lain agregat kasar, agregat halus, semen, air, serta terkadang ditambahkan pula dengan bahan tambah lain seperti zat *additive* dengan perbandingan proporsi yang telah ditentukan. Penentuan kualitas beton sangat bergantung pada kualitas bahan-bahan yang digunakan dalam campuran beton tersebut (Mahendra, Y. I, Gardjito. E, Ridwan. A, 2021).

Beton merupakan konstruksi yang sangat penting dan paling dominan digunakan pada struktur bangunan. Berbagai bangunan didirikan dengan menggunakan beton sebagai konstruksi utama, baik bangunan gedung, bangunan air, bangunan sarana transportasi maupun bangunan-bangunan lainnya. Beton merupakan kostruksi yang mempunyai banyak kelebihan, antara lain kuat menahan gaya tekan, tahan terhadap perubahan cuaca, lebih tahan terhadap suhu tinggi, mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan dan mudah dikerjakan dengan cara

mencampur semen, agregat, air, dan bahan tambahan lain apabila diperlukan (Kandiyufiter & Ruslan Ramang, 2012).

Menurut (Tjokrodimuljo, 2007) beton mempunyai beberapa kelebihan yaitu sebagai berikut:

1. Biaya yang diperluhkan relatif murah sedikit karena bahan baku umunya mudah didapat.
2. Biaya pemeliharaan rendah karena beton tahan terhadap temperatur rendah ataupun tinggi serta tahan terhadap peristiwa yang disebabkan oleh kondisi lingkungan, seperti pembusukan dan pengkaratan.
3. Kekuatannya tinggi dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan struktur yang akan dibangun, serta jika dikombinasikan dengan bahan yang juga mempunyai kekuatan yang tinggi akan menghasilkan kesatuan struktur dan dapat digunakan dalam pembuatan bangunan mutu tinggi.
4. Mudah dibentuk menggunakan cetakan sesuai dengan kebutuhan struktur bangunan.

Adapun kekurangan beton menurut (Tjokrodimuljo, 2007) yaitu sebagai berikut :

1. Adanya perbedaan dalam proses perencanaan dan pembuatan beton didaerah-daerah tertentu disebabkan oleh perbedaan karakteristik bahan-bahan campuran beton tergantung dari lokasi pengambilan agregatnya.
2. Proses perencanaan dan pelaksanaannya bermacam-macam disesuaikan dengan kebutuhan bagunan yang akan dibangun karena beton mempunyai ketentuan kelas kekuatan.

3. Diperluhkan material lain seperti tulangan untuk mengatasi retak atau rapuhnya beton, karena beton mempunyai kuat tarik rendah.

B. Bahan Campuran Beton

1. Agregat

Agregat adalah material granular misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidrolik atau adukan beton.

Menurut Tjokrodimuljo, (2007)**,** agregat adalah butiran material mineral alami yang berfunsi sebagai pengisi dalam campuran mortar atau beton. Walaupun sebagai pengisi, agregat sangat berpengaruh terhadap sifat mortar.

Adapun klasifikasi agregat menurut Beni Anggi Saputro, (2020) berdasarkan ukuran butirannya dapat digolongkan sebagai berikut :

a. Batu, ukuran butirannya yaitu lebih besar dari 40 mm.
b. Kerikil, ukuran butirannya yaitu antara 4,8 mm – 40 mm.
c. Pasir, ukuran butirannya yaitu antara 0.15 mm – 4,8 mm.
d. Debu *(silt),* ukuran butirannya yaitu lebih kecil dari 0,15 mm.

Jenis-jenis agregat yang digunakan dalam campuran beton dibedakan menjadi dua, yaitu sebagai berikut :

a. Agregat kasar (kerikil)

Agregat kasar (kerikil) adalah agregat dengan ukuran butiran lebih besar dari 4,75 mm. Agregat kasar merupakan nama lain dari kerikil ataupun batu pecah, ukuran kerikil yang umum dihasilkan dari industri pemecah batu yaitu 5 mm - 40 mm (Bintoro et al., 2018). Syarat mutu agregat kasar

(kerikil) untuk campuran beton menurut *SK SNI S – 04 – 1989 – F,* yaitu sebagai berikut :

1) Butirannya tajam, kuat dan keras.
2) Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
3) Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut :
    a) Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 12%
    b) Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 10%
4) Agregat kasar tidak boleh mengandung Lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 1 %. Apabila lebih dari 1 % maka kerikil harus dicuci.
5) Tidak boleh mengandung zat organic dan bahan alkali yang dapat merusak beton.
6) Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 6 – 7,10 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut :
    a) Sisa di atas ayakan 38 mm dan harus 0 % dari berat.
    b) Sisa di atas ayakan 4,8 mm, 90 % - 98 % dari berat.
    c) Selisih antara sisa-sisa komulatif di atas dua ayakan yang berurutan, maksimal 60% dan minimal 10 % dari berat.
7) Tidak boleh mengandung garam.

b. Agregat halus (pasir)

Agregat halus (pasir) adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi pada pembuatan beton yang berupa pasir alami atau pasir buatan yang diperoleh dari mesin pemecah batu, dengan ukuran butiran maksimal 4,8 mm (Mahendra, Y. I, Gardjito. E, Ridwan. A, 2021). Agregat halus yang layak digunakan dalam campuran beton yaitu agregat yang terbebas dari bahan-bahan yang dapat merusak campuran beton, seperti bahan organik, lempung, dan lain-lain.

Syarat mutu agregat halus (pasir) untuk campuran beton menurut (SK SNI M–09–1989–F), yaitu sebagai berikut :

1) Butirannya tajam, kuat dan keras.
2) Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
3) Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut :
    a) Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 12 %
    b) Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 10%
4) Agregat halus tidak boleh mengandung Lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 5 %. Apabila lebih dari 5 % maka pasir harus dicuci.
5) Tidak boleh mengandung zat organik, karena akan mempengaruhi mutu beton. Bila direndam dalam larutan 3 % NaOH, cairan diatas endapan tidak boleh lebih gelap dari larutan pembanding.

6) Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 1,5 – 3,8. Apabila ayakan dengan susunan ayakan yang telah ditentukan, harus masuk salah satu daerah susunan butir menurut zone 1, 2, 3, atau 4 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut :
   a) Sisa di atas ayakan 4,8 mm, maksimal 2 % dari berat.
   b) Sisa di atas ayakan 1,2 mm, maksimal 10 % dari berat.
   c) Sisa di atas ayakan 0,30 mm, maksimal 15 % dari berat
7) Tidak boleh mengandung garam.

2. Semen

Semen adalah bahan perekat pada beton yang berbentuk halus dan dapat mengikat agregat kasar ataupun agregat halus setelah reaksi hidrasi terjadi karena adanya penambahan air (Mahendra, Y. I, Gardjito. E, Ridwan. A, 2021).

Semen adalah suatu jenis bahan yang memiliki sifat adhesive (*adhesive*) dan kohesife (*cohesive*) yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa padat. Meskipun definisi ini dapat deterapkan untuk banyak jenis bahan, semen yang dimaksudkan untuk konstrusi beton bertulang adalah bahan yang jadi dan mengeras dengan adanya air yang dinamakan semen hdraulis (*hydraulic cements*) (Kandiyufiter & Ruslan Ramang, 2012)

Semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak *(clinker) portland* terutama yang terdiri dari kalsium silikat ($CaO.SiO_2$) yang bersifat hidrolis dan di giling bersama – sama dengan bahan

tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat ($CaSO_4.xH_2O$) dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

a. Bahan baku pembuatan semen *portland*

Semen *Portland* terbentuk dari oksida-oksida utama yaitu : Kapur (CaO), Silika (SiO_2), Alumina (Al_2O_3), Besi (Fe_2O_3). Bahan baku oksida-oksida tersebut diperoleh dari :

1) Batu kapur kalsium ($CaCO_3$), setelah proses pembakaran terjadi akan menghasilkan kapor oksida (CaO).
2) Tanah liat yang mengandung oksida Silika (SiO_2), Alumina (Al_2O_3), Besi (Fe_2O_3).
3) Pasir kuarsa atau batu silica untuk menambah kekurangan SiO_2.
4) Pasir besi untuk menambah kekurangan Fe_2O_3.

b. Sifat kimia semen

Tabel 2. 1 Susunan oksida yang membentuk semen (*Sumber: Tjokrodimuljo 2007)*

No	Oksida	Persentase
1	Kapur (CaO)	60 – 70 %
2	Silika (SiO_2)	17 – 25 %
3	Alumina (Al_2O_3)	3 – 8 %
4	Besi (Fe_2O_3)	0,5 - 6 %
5	Magnesia (MgO)	0,1 - 5,5 %
6	Sulfur (SO_3)	0,5 – 3 %
7	Portash / Soda ($Na_2O + K_2O$)	0,5 – 1,3 %

c. Jenis-jenis semen *Portland*

Semen portland / Ordinary Portland Cement (OPC) dibedakan menjadi (Prasetyadi, 2013) :

1) *Portland Cement Type* I (*Ordinary Portland Cement*), Semen portland tipe I merupakan jenis semen yang paling banyak dibutuhkan oleh masyarakat luas dan dapat digunakan untuk seluruh aplikasi yang tidak membutuhkan persyaratan khusus. Contohnya, ketika pemilik rumah atau tukang batu yang sedang mengerjakan proyek atau merenovasi rumah tinggal akan membeli semen di toko bangunan, mereka hanya menyebut semen, tanpa menyebut jenis semen apa yang seharusnya digunakan atau cocok dengan lingkungan pemukiman mereka berada, antara lain : bangunan, perumahan, gedung-gedung bertingkat, jembatan, landasan pacu dan jalan raya.
2) *Portland Cement Type* II (*Moderate sulfat resistance*), Semen portland tipe II merupakan semen dengan panas hidrasi sedang atau di bawah semen portland tipe I serta tahan terhadap sulfat. Semen ini cocok digunakan untuk daerah yang memiliki cuaca dengan suhu yang cukup tinggi serta pada struktur drainase. Semen portland tipe II ini disarankan untuk dipakai pada bangunan seperti bendungan, dermaga dan landasan berat yang ditandai adanya kolom-kolom dan dimana proses hidrasi rendah juga merupakan pertimbangan utama.
3) *Portland Cement Type* III (*High Early Strength Portland Cement*), Jenis ini memperoleh kekuatan besar dalam waktu singkat, sehingga dapat digunakan untuk perbaikan bangunan beton yang perlu segera

digunakan atau yang acuannya perlu segera dilepas. Selain itu juga dapat dipergunakan pada daerah yang memiliki temperatur rendah, terutama pada daerah yang mempunyai musim dingin. Kegunaan pembuatan jalan beton, landasan lapangan udara, bangunan tingkat tinggi, bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap sulfat.

4) *Portland Cement Type* IV (*Low Heat Of Hydration*), Tipe semen dengan panas hidrasi rendah. Semen tipe ini digunakan untuk keperluan konstruksi yang memerlukan jumlah dan kenaikan panas harus diminimalkan. Oleh karena itu semen jenis ini akan memperoleh tingkat kuat beton dengan lebih lambat ketimbang portland tipe I. Tipe semen seperti ini digunakan untuk struktur beton masif seperti dam gravitasi besar yang mana kenaikan temperatur akibat panas yang dihasilkan selama proses curing merupakan faktor kritis. Cocok digunakan untuk daerah yang bersuhu panas.

5) *Portland Cement Type* V (*Sulfat Resistance Cement*), Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat. Cocok digunakan untuk pembuatan beton pada daerah yang tanah dan airnya mempunyai kandungan garam sulfat tinggi. Sangat cocok untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan,dan pembangkit tenaga nuklir.

3. Air

Air adalah bahan yang diperlukan dalam proses hidrasi, karena pada adukan air sangat penting untuk proses pengikatan, pengerasan dan pengeringan

dalam adukan. Disamping itu air juga bersifat mengatur tingkat kekentalan adukan. Air untuk campuran pembuatan bahan konstruksi tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam dan kandungan organic lainnya. Air untuk camuran ang baik adalah air yang layak dikomsumsi oleh manusia (Langitan dkk., 2022)

Air adalah bahan dasar dalam pembuatan beton dan sangat berpengaruh terhadap hasil campuran beton, karena air diperluhkan dalam proses reaksi kimia semen dan membentuk pasta semen untuk mengikat agregat. Apabila beton kelebihan air maka akan terjadi *bleeding* (air dan semen naik ke permukaan campuran beton segar setelah dituang) (Tjokrodimuljo, 2007)

Tabel 2. 2 Batas kadar klorida pada beton umur 28 hari *(Sumber: Buku Teknologi Bahan, H. Hakzah, S.T.,M.T 2018.)*

No	Bentuk Konstruksi	Maksimum Clorida Ion Terhadap Berat Semen
1	Beton pratekan	0,06 %
2	Beton bertulang yang bergubungan dengan Cl dalam pemakaiannya	0,15 %
3	Beton bertulang di tempat yang selalu kering	1,0 %
4	Beton bertulang secara umum	0,3 %

C. Limbah Kulit Kakao sebagai Alternatif Material Beton

Limbah kulit kakao (*Cocoa Pod Husk Ash – CPHA*) telah dieksplorasi sebagai bahan substitusi sebagian semen dalam beton. Studi oleh Bowan et al. (2021) menunjukkan bahwa penggantian semen dengan CPHA hingga kadar 12%–18% masih menghasilkan kekuatan tekan yang memenuhi target desain beton (C‑25), serta *workability* yang cukup baik pada substitusi sekitar 6%.



Gambar 2. 1 Kulit kakao
(*sumber: Google*)

Penelitian terkait abu kulit biomassa lain seperti coffee husk ash (CHA) juga menunjukkan komposisi kimia dominan seperti SiO_2, Al_2O_3, dan Fe_2O_3, yang merupakan indikator utama aktivitas pozzolanik. Substitusi CHA hingga 10% dapat meningkatkan kekuatan tekan beton sebesar hingga 10% akibat pembentukan C‑S‑H dan efek filler mikrostruktur.

Konsep pozzolan ini ditopang oleh mekanisme reaksi kimia di mana senyawa silika amorf bereaksi dengan kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$) hasil hidrasi semen, membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (C‑S‑H) dan calcium aluminate hydrate (C‑A‑H), yang meningkatkan densitas matriks beton dan kekuatan mekaniknya secara signifikan pada usia pengerasan lanjut.

Hasil pengujian *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) pada sampel abu kulit kakao (AKK) menunjukkan unsur-unsur dan persentase komposisi kimia yang terkandung di dalamnya. Hasil pengujian tersebut memperlihatkan bahwa AKK kaya akan unsur silika (Si) dan oksigen (O), yang mengindikasikan bahwa abu kulit

kakao mengandung silika karbonat dalam jumlah signifikan, meskipun juga terdapat unsur-unsur lainnya dalam kadar yang lebih kecil.

Temuan ini sejalan dengan beberapa penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa fly ash umumnya mengandung komposisi kimia dominan berupa *silika* (SiO_2), *alumina* (Al_2O_3), *ferum* (Fe_2O_3), dan *oksigen* (O), yang sebagian besar berbentuk amorf. Struktur *amorf* ini berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan beton melalui reaksi *pozzolanik* yang terjadi antara silika amorf dengan *kalsium hidroksida* ($Ca(OH)_2$) hasil hidrasi semen.

Berdasarkan hasil pengujian EDS pada sampel abu kulit kakao, diperoleh kandungan unsur silika sebesar 12,574% dan oksigen sebesar 40,864%. Kedua unsur ini merupakan penyusun utama senyawa *silika dioksida* (SiO_2). Jika terjadi reaksi antara unsur silika dan oksigen dalam komposisi tersebut, maka diperkirakan akan menghasilkan senyawa *silika* (SiO_2) dengan persentase sekitar 71%.

D. Kuat tekan

Kuat tekan adalah kemampuan suatu beton dalam menerima beban gaya tekan yang diberikan persatuan luas (Bintoro et al., 2018) . Kuat tekan beton adalah beban gaya tekan yang diberikan pada beton yang dihasilkan oleh alat tekan tekan beton dengan standar tertentu yang dapat menghancurkan beton.

Kuat tekan menjadi penentu mutu dan kualitas beton, yang dihasilkan dari pencampuran antara agregat, semen, dan air. Pembuatan beton baru dikatakan berhasil apabila beton mencapai kuat tekan yang telah ditentukan atau direncanakan dalam *mix design.* (Wimaya et al., 2020).

Menurut SNI 1974-2011 mengenai Cara Uji Kuat Tekan Beton, perhitungan kuat tekan beton untuk benda uji berbentuk silinder ditetapkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Fc = \frac{P}{A} \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan :

Fc = Kuat Tekan Beton (kg/cm^2)

P = Beban yang bekerja (kg)

A = Luas penampang benda (cm^2)



Gambar 2. 2 Pengujian Kuat Tekan Pada Beton
(Sumber : Dokumentasi pribadi)

Toleransi waktu pengujian menurut SNI 1974-2011 semua benda uji untuk umur uji yang ditentukan harus diuji dalam toleransi waktu yang di izinkan seperti table dibawah ini.

Tabel 2. 3 Toleransi waktu pengujian (*Sumber: SNI 1974:2011*)

Umur Uji (Hari)	Waktu yang di izinkan
1	± 15 menit atau 2,1%
2	± 30 menit atau 2,1%
3	± 2 jam atau 2,8%
7	± 6 jam atau 3,6%
28	± 20 jam atau 3,0%
90	± 2 jam atau 2,2%

E. Durabilitas Beton

Durabilitas beton sangat dipengaruhi oleh tingkat porositasnya. Beton dengan porositas tinggi memiliki banyak rongga terbuka yang memudahkan air, udara, dan bahan kimia agresif seperti *klorida* dan sulfat masuk ke dalam struktur beton. Kondisi ini dapat mempercepat proses kerusakan beton, seperti karbonasi, korosi tulangan, pengelupasan (spalling), dan penurunan kekuatan struktural secara signifikan. Sebaliknya, beton dengan porositas rendah memiliki rongga yang lebih sedikit dan lebih kecil, sehingga mampu menghambat penetrasi air dan zat-zat berbahaya, yang pada akhirnya meningkatkan ketahanan beton terhadap lingkungan agresif dan memperpanjang umur layan beton.

Oleh karena itu, salah satu indikator utama untuk menilai durabilitas beton adalah melalui pengujian daya serap air (*water absorption test*). Nilai daya serap air berkaitan erat dengan jumlah dan ukuran pori-pori dalam beton. Semakin kecil nilai daya serap air yang dihasilkan, maka menunjukkan bahwa beton memiliki porositas yang rendah, struktur yang lebih rapat, serta kemampuan menahan penetrasi air dan bahan kimia berbahaya menjadi lebih baik. Hal ini menjadi faktor

penting terutama pada beton yang digunakan di lingkungan lembap, terendam air, atau terkena pengaruh bahan kimia agresif secara langsung.

Selain itu, porositas yang rendah juga berkorelasi positif terhadap kuat tekan beton. Beton dengan struktur pori-pori yang lebih padat akan memiliki ikatan antar partikel yang lebih kuat, sehingga mampu menahan beban tekan dengan lebih optimal. Dengan demikian, upaya untuk menurunkan porositas beton, seperti dengan penambahan bahan pozzolan (misalnya abu kulit kakao, fly ash, atau silica fume), tidak hanya meningkatkan durabilitas, tetapi juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan kekuatan mekanik beton..

Adapun rumus yang digunakan rumus untuk menghitung penyerapan air sebagai berikut:

Persentase Penyerapan air = $\frac{W_b - W_k}{W_k} \times 100\ \%$ .....(1)

Keterangan:

W_b = berat *paving block* setelah direndam (kg),

W_k = berat *paving block* sebelum direndam (kg).

F. Kajian Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang penggunaan Tempurung Kelapa dalam pembuatan beton telah banyak dilakukan dan menggunakan cara yang berbeda-beda serta hasil yang berbeda pula. Berikut adalah penjelasan singkat tentang penelitian-penelitian tersebut :

1. Hajrin Dwi Putra (2023) meneliti pengaruh abu kulit kopi sebagai subtitusi semen terhadap kuat tekan beton. Variasi 0%, 3%, dan 6% mampu mencapai kuat tekan rencana 25 MPa, sedangkan variasi 9% dan 12% tidak memenuhi

target. Penambahan abu kulit kopi hingga 6% dapat meningkatkan kuat tekan karena berfungsi sebagai filler yang mengisi rongga pori-pori beton. Namun, penambahan di atas 6% menyebabkan porositas meningkat sehingga kekuatan menurun. Hal ini disebabkan partikel abu yang terlalu banyak menyerap air, mengganggu proses hidrasi semen. Oleh karena itu, abu kulit kopi hanya efektif digunakan pada batas optimum. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan abu kulit kopi hingga 6% dapat menjadi alternatif bahan pengganti semen untuk beton struktural.

2. Veranita dkk. (2024) meneliti penggunaan abu kulit kakao sebagai pengganti agregat halus pada rabat beton dengan tahap uji laboratorium dan rencana uji lapangan. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan persentase abu kulit kakao menyebabkan penyerapan air meningkat dan nilai slump menurun. Variasi 1%, 1,5%, dan 2% abu kulit kakao menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dibanding beton normal karena porositas meningkat. Abu kulit kakao menyerap air dalam campuran, sehingga proses hidrasi menjadi kurang optimal dan berdampak pada penurunan kekuatan. Kuat tekan optimum tercapai pada variasi 1%, namun nilainya tetap di bawah beton tanpa abu kulit kakao. Oleh karena itu, penggunaan abu kulit kakao sebagai substitusi agregat halus kurang efektif jika melebihi batas tertentu. Penelitian ini menyimpulkan bahwa abu kulit kakao berpengaruh terhadap peningkatan porositas beton.
3. Zasqia dkk. (2023) menganalisis pengaruh abu kulit kakao dan abu sekam padi terhadap kuat tekan dan kuat geser tanah lempung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan bahan tambah ini meningkatkan kuat tekan

dan kuat geser secara bertahap. Kandungan silika dalam abu berfungsi sebagai filler, mengisi rongga pori tanah dan meningkatkan kerapatan. Seiring bertambahnya persentase abu, porositas tanah lempung menurun dan sifat kedap air meningkat. Peningkatan kuat tekan dan kuat geser menunjukkan bahwa abu kulit kakao dan abu sekam padi efektif sebagai bahan stabilisasi tanah. Penelitian ini juga membuktikan bahwa kombinasi kedua bahan ini mampu memperbaiki struktur mikro tanah lempung. Dengan demikian, pemanfaatan limbah organik ini menjadi solusi alternatif dalam perbaikan tanah dasar. Hasil ini relevan untuk aplikasi stabilisasi tanah pada proyek infrastruktur.

4. Leli Mariati Situmorang (2022) meneliti pengaruh abu kulit kakao dan abu bambu terhadap kualitas paving block. Penelitian menggunakan variasi campuran 0% hingga 20% dengan proporsi FAS 0,5. Hasilnya menunjukkan peningkatan densitas dan kuat tekan paving block seiring penambahan abu kulit kakao. Daya serap air menurun, sehingga paving block menjadi lebih padat dan kedap air. Komposisi optimum diperoleh pada variasi 20% abu kulit kakao yang memenuhi standar SNI 03-0691-1996. Abu kulit kakao berperan sebagai filler yang mengisi rongga pori-pori paving block, meningkatkan kekuatan tekan dan lentur. Penelitian ini membuktikan bahwa abu kulit kakao dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan ramah lingkungan dalam pembuatan paving block. Penggunaan abu bambu juga berkontribusi terhadap perbaikan sifat mekanik paving block. Hasil penelitian ini membuka peluang pemanfaatan limbah pertanian sebagai material konstruksi alternatif.

5. Hadipramana J. (2023) meneliti potensi abu kulit kakao (AKK) dan serbuk cangkang telur (SCT) sebagai pengganti pasir silika pada bata ringan CLC. Empat variasi campuran diuji, yaitu 0%, 10%, 15%, dan 20%. Hasilnya menunjukkan bahwa variasi 10% (5% AKK + 5% SCT) menghasilkan peningkatan kuat tekan sebesar 11,04% dibanding bata ringan konvensional. Kombinasi AKK dan SCT membentuk material pozolan alami yang membantu proses hidrasi semen, sekaligus mengurangi konsumsi pasir silika yang mahal. Penambahan abu di atas 10% justru menyebabkan penurunan kuat tekan karena porositas meningkat. Penelitian ini membuktikan bahwa limbah organik dapat diolah menjadi bahan bangunan ekonomis dan ramah lingkungan. Komposisi optimum 10% menjadi batas aman untuk meningkatkan performa bata ringan. Dengan demikian, campuran AKK dan SCT memiliki potensi besar sebagai bahan pengganti pasir silika dalam industri bata ringan CLC.
6. Anugrah Dwi Putra (2023) menganalisis pengaruh abu kulit kakao sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan beton dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15%. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan abu kulit kakao hingga 10% mampu meningkatkan kuat tekan beton karena berfungsi sebagai filler yang mengisi pori-pori mikro. Namun, pada variasi 15%, kuat tekan beton menurun akibat porositas yang meningkat dan daya serap air yang lebih tinggi. Abu kulit kakao yang terlalu banyak menyebabkan campuran beton menjadi lebih porous dan rapuh. Penelitian ini menegaskan bahwa penggunaan abu kulit kakao hanya efektif dalam batas tertentu. Variasi optimum ditemukan pada 10% sebagai pengganti semen. Penambahan abu yang melebihi angka tersebut justru

mengurangi kualitas mekanik beton. Oleh karena itu, penentuan kadar abu kulit kakao harus disesuaikan dengan kebutuhan dan tujuan beton yang diinginkan.

7. Rahmat Hidayat (2022) meneliti pemanfaatan abu kulit kakao sebagai bahan substitusi sebagian semen pada beton ringan. Penelitian menggunakan variasi 5%, 10%, dan 15% penambahan abu kulit kakao. Hasilnya, variasi 5% menunjukkan peningkatan workability dan kuat tekan beton ringan. Namun, penambahan 10% dan 15% menyebabkan penurunan kuat tekan karena meningkatnya porositas. Abu kulit kakao menyerap air dalam campuran beton, sehingga proses hidrasi semen terganggu. Penggunaan abu dalam jumlah besar menghasilkan rongga mikro yang memperlemah ikatan antar partikel semen. Penelitian ini membuktikan bahwa abu kulit kakao berpotensi sebagai bahan campuran alternatif untuk beton ringan, namun harus digunakan dalam batas optimum. Komposisi terbaik terdapat pada variasi 5% yang mampu meningkatkan kekuatan beton tanpa mengganggu struktur mikro. Oleh karena itu, penggunaannya perlu dikontrol agar tidak berdampak negatif terhadap kualitas beton.
8. Luthfi Fadillah (2024) meneliti pengaruh penambahan abu kulit kakao pada paving block dengan variasi 5%, 10%, dan 15%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi 10% menghasilkan kuat tekan dan densitas terbaik. Penambahan abu kulit kakao pada takaran optimum berfungsi sebagai filler yang mengisi rongga pori-pori paving block, sehingga meningkatkan kekuatan dan menurunkan daya serap air. Namun, pada variasi 15%, kuat tekan mengalami penurunan akibat peningkatan porositas yang disebabkan oleh penyerapan air

berlebih. Penggunaan abu kulit kakao di atas batas optimum justru menyebabkan paving block menjadi lebih rapuh. Penelitian ini menyimpulkan bahwa abu kulit kakao dapat digunakan sebagai bahan campuran paving block dengan batas maksimum 10%. Penambahan di atas 10% tidak disarankan karena berdampak negatif terhadap sifat mekanik paving block. Oleh karena itu, komposisi yang tepat menjadi faktor penting dalam pemanfaatan limbah organik ini.

9. Misbahuddin dkk., (2022) dengan judul penelitian Pemanfaatan Limbah Popok Bayi Sebagai Bahan Campuran Pembuatan Bata Ringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan bata ringan dengan umur perawatan 28 hari variasi 0% dengan rata-rata kuat tekan 4,000 MPa, variasi 5% dengan rata-rata kuat tekan 4,667 MPa, variasi 10% dengan rata-rata kuat tekan 5,333 MPa dan variasi 15% dengan rata-rata kuat tekan 7,333 MPa. Sedangkan presentase penyerapan air bata ringan dengan variasi 0% didapatkan 10,6% variasi 5% didapatkan 13,1 %, variasi 10% didapatkan 15,2% dan variasi 15% didapatkan 16,8%.
10. Hardini dkk, (2022), dengan judul Penambahan Abu Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Dalam Pembuatan *Paving Block*, Berdasarkan hasil tersebut maka paving block dengan penambahan abu tempurung kelapa sebesar 2,5% terhadap berat semen dengan perbandingan semen, pasir dan air yaitu 1:6:0,40 memenuhi syarat berdasarkan SNI 03-0691-1996 masuk pada mutu D atau dapat digunakan untuk taman yang memiliki harga produksi lapangan sebesar Rp. 1.290,- /buah.

11. Mahindra, (2021) dengan judul Pengaruh Abu Tempurung Kelapa Sebagai Variasi Komposisi Terhadap Kuat Tekan Beton K250. Kesimpulan Penelitian ini adalah beton dengan penambahan Abu Tempurung Kelapa dengan variasi penambahan 0%, 3%, 5%, 7% dihasilkan kuat tekan umur 28 hari pada setiap variasi campuran sebagai berikut : Beton normal (0%) 273,65 Kg/cm^2 , Beton dengan penambahan Abu Tempurung Kelapa 3% didapatkan kuat tekan rata-rata 209,48 Kg/cm^2, Beton dengan penambahan Abu Tempurung Kelapa 5% didapatkan kuat tekan rata-rata 249,12 Kg/cm^2, Beton dengan pemanbahan Abu Tempurung Kelapa 7% di dapatkan kuat tekan rata-rata 175,51 Kg/cm^2.
12. Beni Anggi Saputro, (2020) dengan judul Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton Dari hasil uji kuat tekan di dapat nilai tertinggi yaitu pada variasi subtitusi 0% mencapai kuat tekan rata-rata sebesar 26,37 Mpa. Sedangkan beton dengan subtitusi 5%, 10%, 15%, dan 50% mendapatkan hasil 25,41 Mpa, 18,09 Mpa, 14,44 Mpa, dan 3,46 Mpa.
13. Langitan dkk., (2022) dengan judul Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Agregat Lokal dan Abu Arang Tempurung Kelapa Sebagai Subtitusi Parsial Semen. Dari hasil penelitian, kuat tekan maksimum beton dengan abu arang tempurung kelapa sebagai subtitusi parsial semen terdapat pada presentase 5% yaitu sebesar 24,09 MPa pada umur 7 hari, 27,21 MPa pada umur 14 hari dan 31,11 MPa pada umur 28 hari.
14. Cahya dkk., (2022) dengan judul Pengaruh Penambahan Limbah Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Pada Kuat Tekan Batako. Hasil pengujian menunjukan batako dengan bahan tambah tempurung kelapa 3% dan 4% sangat

berpengaruh terhadap kuat tekan batako mampu memberikan perubahan sebesar 6%. Akan tetapi dengan penambahan bahan tambah terlalu banyak menyebabkan penurunan terhadap nilai kuat tekan batako, dikarenakan bahan tambah tidak bereaksi dengan campuran batako. Untuk persentase terbaik terjadi pada penambahan pecahan tempurung kelapa sebesar 3% dengan menghasilkan nilai kuat tekan batako rata-rata sebesar 11,63 Mpa.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif, yaitu penelitian yang dilakukan dengan mengumpulkan data melalui beberapa pengujian kemudian mendapatkan hasil kesimpulan dalam bentuk angkah, data hasil penelitian dianalisis sesuai dengan prosedur pengujian laboratorium. penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental dengan membandingkan 3 (tiga) variasi yaitu abu kulit kakao 0%, 5%, 10% dan 15%. Metode eksperimental digunakan untuk mengetahui nilai kuat tekan dengan menggunakan alat Mesin uji tekan Universitas Muhammadiyah Parepare.

B. Lokasi Dan Waktu

Lokasi dan waktu penelitian dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian

   Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare, Jl. Jend. Ahmad Yani No. Km. 6, Kel. Bukit Harapan, Kec. Soreang kota parepare.

2. Waktu penelitian

   Penelitian ini dilakukan selama (±) 3 (tiga) bulan yaitu dimulai pada tanggal 15 April 2025 – 16 Juni 2025.

C. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Alat penelitian
    a. Saringan
        1) Saringan dengan nomor berturut-turut 4,75 mm (No. 4), 2,40 mm (No. 8), 1,2 mm (No. 16), 0,60 mm (No. 30), 0,30 mm (No. 50), 0,15 mm (No. 100), No. 200 yang dilengkapi dengan tutup pan dan alat penggetar untuk mengetahui gradasi agregat halus (pasir).
        2) Saringan dengan nomor berturut-turut No. ¾, No. ½, No. 3/8, No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100, No. 200 yang dilengkapi dengan tutup pan dan alat penggetar untuk mengetahui gradasi agregat kasar (kerikil).
    b. Timbangan, digunakan untuk menimbang bahan susun adukan beton.
    c. Gelas ukur, digunakan untuk mengukur banyaknya air yang digunakan dalam pembuatan beton.
    d. Piknometer dengan kapasitas 500 gr, digunakan untuk mencari Bj agregat halus.
    e. Jangka sorong,digunakan untuk mengukur semua dimensi benda uji.
    f. Oven, digunakan untuk mengeringkan agregat pada pengujian kadar air, Bj, dan gradasi agregat.
    g. Mesin aduk beton, digunakan untuk mengaduk bahan penyusun beton
    h. Kerucut abrams, digunakan untuk mengukur kelecakan adukan beton (nilai slump).

i. Penggaris, digunakan untuk mengukur nilai slump.

j. Cetakan beton silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm.

k. Batang baja, digunakan untuk memadatkan adukan beton.

l. Mesin uji tekan, digunakan untuk menguji kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas benda uji beton.

m. *Mesin Los Angeles*,digunakan untuk menguji ketahanan aus agregat yang dilengkap dengan bola-bola baja.

2. Bahan penelitian

a. Semen Portland Tipe I (*OPC-Ordinary Portland Cement*)

b. Agregat

1) Agregat halus yang digunakan berupa pasir

2) Agregat kasar yang digunakan berupa kerikil.

c. Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Parepare.

d. Abu kulit kakao, limbah organik hasil pembakaran kulit kakao yang telah dikeringkan dan diayak hingga lolos saringan No. 200.

D. Prosedur dan Rancangan Penelitian

1. Tahapan pemeriksaan

Persiapan serta pemeriksaan bahan yang akan digunakan untuk campuran beton dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare. Proses pemeriksaan bahan tersebut meliputi :

a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat

Langkah-langkah untuk pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat, yaitu sebagai berikut :

1) Agregat di timbang dengan berat yang telah ditentukan (pasir seberat 500 gram dan kerikil seberat 5000 gram).
2) Agregat kemudian di rendam selama ± 24 jam.
3) Setelah direndam selama ± 24 jam, agregat kemudian dikeringkan hingga mencapai keadaan kering permukaan. Untuk mengetahui apakah kondisi sudah tercapai pada pasir dilakukan dengan cara pasir dimasukkan kedalam kerucut yang diletakkan ditempat rata, kemudian dimasukkan 1/3 bagian, kemudian padatkan dengan cara ditumbuk sebanyak 8 kali begitu pula dengan lapisan ke 2 (dua), dan untuk lapisan ke 3 (tiga) ditumbuk sebanyak 7 kali.
4) Untuk pasir (pasir dengan kondisi kering permukaan tadi dimasukkan kedalam piknometer sebanyak 500 gram dan ditambahkan air sampai 90 % penuh, kemudian dikocok selama ± 5 menit). Kemuidan untuk kerikil (kerikil dengan kondisi kering permukaan tadi seberat 5000 gram ditimbang di udara, kemudian ditimbang di dalam air).
5) Agregat dikeluarkan dari wadah kemudian di oven selama ± 24 jam
6) Agregat di keluarkan dari oven kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat kering.

b. Pemeriksaan kadar organik agregat halus

Langkah-langkah untuk pemeriksaan kadar organik agregat halus, yaitu sebagai berikut :

1) Pasir dimasukkan kedalam botol bening sebanyak 1/3 bagian kemudian ditambahkan juga NaOH sebanyak 1/3 bagian, kemudian botol dikocok selama ± 10 menit,
2) Setelah itu botol di diamkan selama 24 jam, kemudian diamati peubahan warna yang terjadi dan dibandingkan dengan menggunakan standar warna kandungan organik.

c. Pemeriksaan keausan agregat kasar

Langkah-langkah untuk pemeriksaan keausan agregat kasar, yaitu sebagai berikut :

1) Kerikil ditumbang seberat 5000 gram, kemudian dicuci dan dikeringkan menggunakan oven selama 24 jam dengan suhu 110℃.
2) Masukkan kerikil kedalam mesin *Los Angeles Abrassion Machine* beserta bola baja kemudian tekan tombol start.
3) Keluarkan agregat dari dalam mesin, kemudian saring menggunakan saringan No. 12.

d. Pemeriksaan kadar air agregat

Langkah-langkah untuk pemeriksaan kadar air agregat, yaitu sebagai berikut :

1) Timbang agregat menggunakan timbangan dengan (pasir seberat 500 gram dan kerikil seberat 1000 gram).
2) Kemudian agregat di oven selama 24 jam dengan suhu tetap 100℃.
3) Setelah di oven agregat ditimbang untuk mendapatkan berat kering.

e. Pemeriksaan kadar lumpur agregat

Langkah-langkah untuk pemeriksaan kadar lumpur agregat, yaitu sebagai berikut :

1) Timbang agregat menggunakan timbangan dengan (pasir seberat 500 gram dan kerikil seberat 1000 gram), kemudian oven selama 24 jam.
2) Agregat kemudian dicuci diatas saringan No. 200 sampai lumpurnya hilang.
3) Setelah dicuci agregat kemudian dikeringkan dengan menggunakan oven selama 24 jam dengan suhu 100℃, kemudian di timbang lagi untuk mendapatkan berat kering.

2. Persiapan abu kulit kakao

a. Pengumpulan Bahan Baku:

1) Kumpulkan kulit kakao yang sudah tidak terpakai dari hasil pengolahan biji kakao.
2) Pastikan kulit kakao bersih dari kotoran, tanah, atau benda asing lainnya.

b. Pengeringan dengan Oven:

1) Masukkan kulit kakao ke dalam oven dengan suhu 90°C selama 24 jam.
2) Tujuan pengeringan oven adalah memastikan kadar air dalam kulit kakao benar-benar minimal agar proses pembakaran sempurna.
3) Setelah selesai, keluarkan dan diamkan hingga suhu ruang.

c. Proses Pembakaran (Karbonisasi):

1) Masukkan kulit kakao yang sudah kering ke dalam tungku atau wadah pembakaran tertutup (tanpa suplai oksigen langsung) untuk proses pembakaran tak sempurna (pirolisis).
2) Bakar hingga kulit kakao berubah warna menjadi hitam arang.
3) Lama pembakaran biasanya memakan waktu 2–3 jam, tergantung jumlah bahan.
4) Pastikan proses pembakaran tidak menghasilkan api terbuka (hanya asap), agar hasilnya menjadi arang bukan abu putih.

d. Pendinginan:

Setelah selesai dibakar, keluarkan arang kulit kakao dan biarkan mendingin di suhu ruang.

e. Proses Penghalusan:

1) Hancurkan arang kulit kakao menggunakan alat tumbuk atau grinder hingga menjadi serbuk halus.
2) Ayak serbuk menggunakan saringan No. 200 (0,15 mm) untuk mendapatkan ukuran partikel yang seragam.

3. Tahapan pembuatan benda uji

a. Pemeriksaan material campuran beton

1) Timbang material campuran beton, yaitu semen, agregat (halus dan kasar), dan air sesuai dengan berat yang telah ditentukan dalam rancangan campuran beton.
2) Mempersiapkan peralatan-peralatan yang dibutuhkan dalam pencampuran beton.

b. Pencampuran beton

1) Masukkan air kedalam mesin sebanyak 80 % dari yang telah ditentukan kemudian masukkan juga agregat dan semen.
2) Masukkan sedikit demi sedikit sisa air yang tadi kedalam mesin yang berputar dengan tidak kurang dari 3 menit sampai airnya habis.
3) Setiap variasi percobaan dilakukan pengadukan sebanyak 1 (satu) kali dan setiap pengadukan dilakukan pengujian nilai slump.

c. Pemeriksaan nilai slump

1) Masukkan campuran beton segar kedalam kerucut abrams sebanyak 1/3 bagian dengan 3 lapisan, setiap lapisan ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali.
2) Setelah lapisan terakhir selesai ditusuk, tunggu selama 30 detik kemudian angkat kerucut ke atas, nilai slump yaitu selisih tinggi antara kerucut abrams dengan permukaan atas beton setelah ditarik.
3) Setiap pencampuran beton dilakukan sebanyak 2 kali uji nilai slump kemudian dirata-ratakan hasilnya.

d. Pembuatan benda uji

1) Campuran beton segar dimasukkan kedalam cetakan silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm, yang sebelumnya telah diberi minyak pelumas pada bagian dalam.Cetakan diisi dengan campuran beton segar sebanyak 3 (tiga) lapis, setiap lapisan ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali secara merata dan cetakan penuh

2) Kemudian bagian atas permukaan campuran beton diratakan hingga rata dengan bagian atas cetakan dengan menggunakan tongkat perata.

4. Tahapan perawatan beton

Setelah 24 jam beton dibuka dari cetakan, kemudian diberi tanda untuk selanjutnya dilakukan perendaman didalam bak air selama periode waktu yang telah ditentukan.

5. Tahapan pengujian

a. Kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan pada beton bertujuan untuk mengetahui berapa besar nilai kuat tekan pada beton dengan umur beton rencana 28 hari.

Pada pengujian kuat tekan beton, langkah-langkah yang dilakukan akan adalah sebagai berikut :

1) Benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mengetahui berat benda uji sebelum pengujian dilakukan.
2) Benda uji diletakkan pada *Universal Testing Machine.*
3) Mesin *Universal Testing Machine* dihidupkan kemudian benda uji akan mendapatkan beban gaya untuk mengetahui besarnya nilai kekuatan tekan pada benda uji
4) Pada saat benda uji mencapai beban maksimum benda uji akan retak atau bahkan pecah, jarum manometer akan berhenti.

Jumlah sampel untuk semua variasi campuran beton yang direncanakan dalam penelitian ini yaitu sebanyak 12 buah. Setiap variasi campuran akan dilakukan pengujian kuat tekan, dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut :

Tabel 3. 1 Jumlah sampel dan variasi campuran beton (*Sumber: Hasil olah data 2025*)

No	Variasi Campuran Beton	Umur Hari/Buah			Total buah
		7	14	28	
1	Beton Normal	3	3	3	3
2	Abu Kulit Kakao 5%	3	3	3	3
3	Abu Kulit Kakao 10%	3	3	3	3
4	Abu Kulit Kakao 15%	3	3	3	3
Total					12 Buah

E. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan menggunakan penelitian kuantitatif dengan melakukan beberapa pengujian terhadap benda uji di laboratorium. Teknik pengumpulan data terdiri atas 2 (dua) yaitu sebagai berikut :

1. Data primer

   Data primer diperoleh dari beberapa hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium, yaitu sebagai berikut :

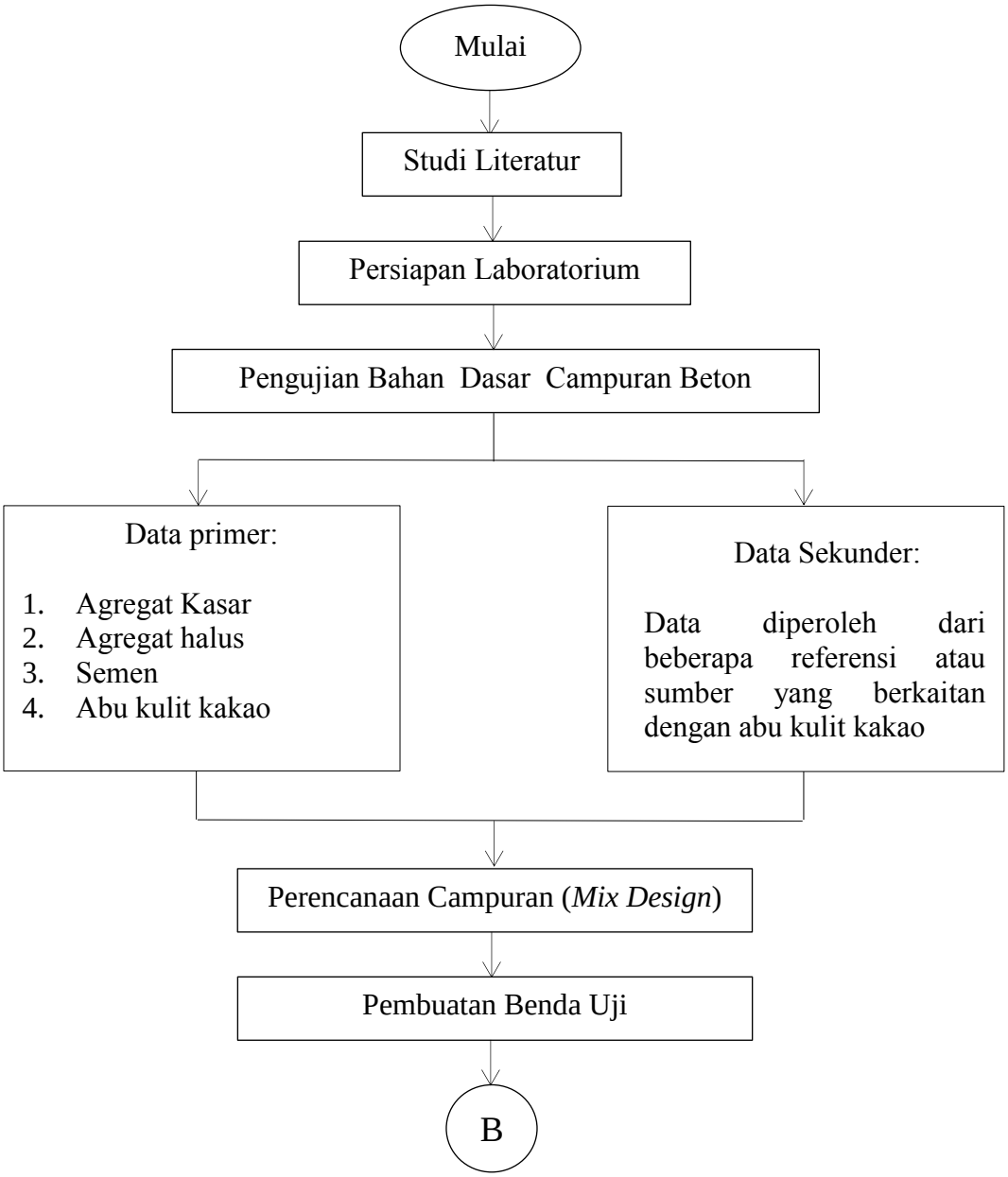
   a. Analisa saringan agregat.
   b. Berat jenis dan penyerapan.
   c. Pemeriksaan keausan (agregat kasar) dan pemeriksaan kadar organik (agregat halus).
   d. Pemeriksaan berat volume agregat.
   e. Pemeriksaan kadar air agregat.
   f. Pemeriksaan kadar lumpur agregat
   g. Perbandingan dalam campuran beton *(Mix design).*
   h. Kekentalan adukan beton segar *(Slump test).*

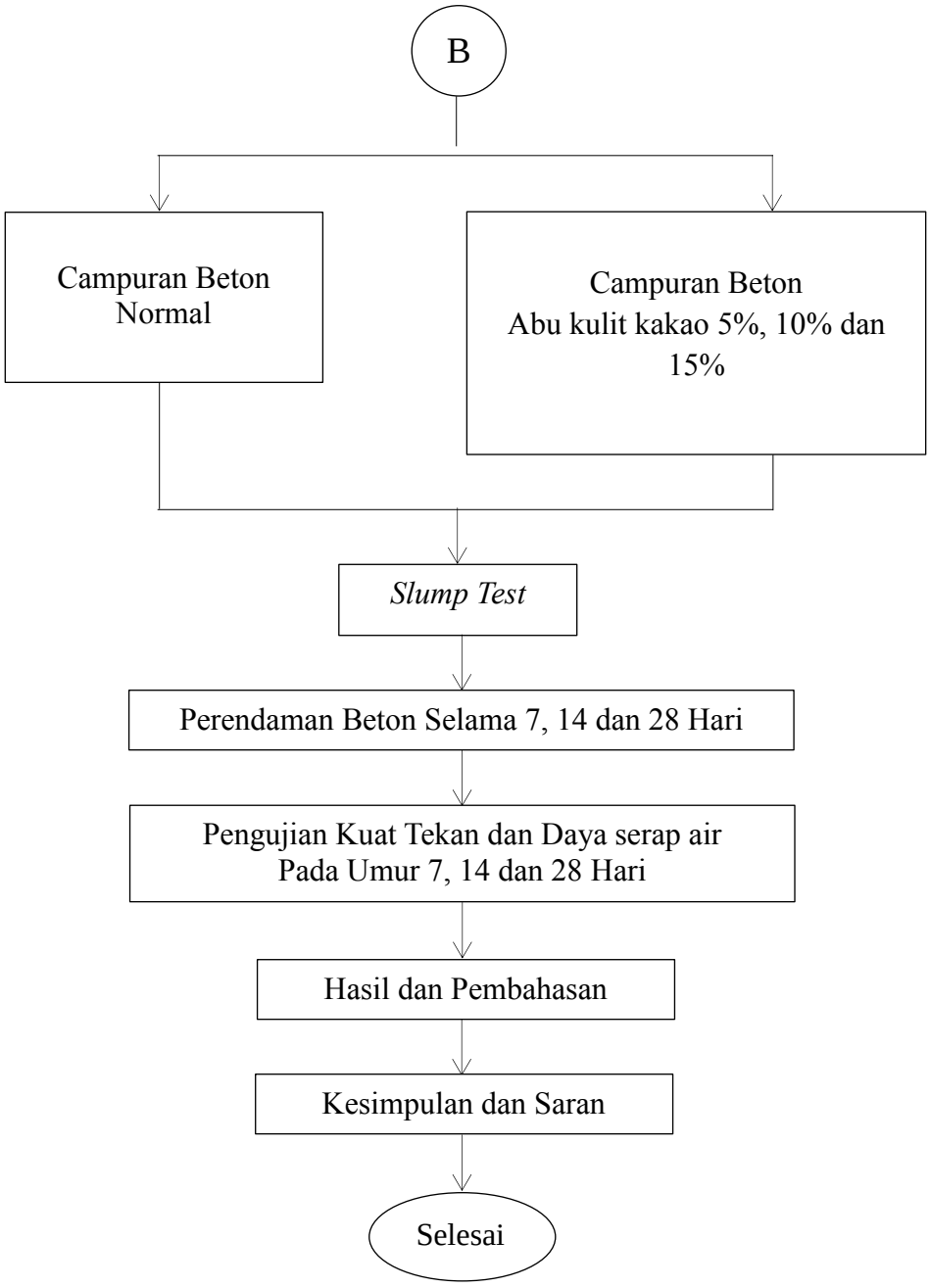
i. Uji kuat tekan beton.

2. Data sekunder

Data sekunder diperoleh dari bebagai referensi yang memiliki kaitan dengan penelitian yang dilakukan, baik itu dari Standar Nasional Indonesia, buku-buku atau penelitian terdahulu yang dapat menunjang penelitian yang dilakukan, ataupun informasi dari dosen pembimbing di Universitas Muhammadiyah Parepare.

F. Diagram Alir





Gambar 3. 1 Diagram Alir

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat berdasarkan pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dilakukan terhadap agregat kasar, agregat halus dan agregat. Hasil pengujian agregat ditunjukkan pada rekapitulasi dari percobaan-percobaan yang dilakukan di Laboratorium, yaitu sebagai berikut :

1. Agregat halus pasir sungai

Tabel 4. 1 Rekapitulasi pengujian agregat halus (*Sumber : Hasil olah data 2025*)

No.	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil	Keterangan
1	Kadar lumpur	Maks 5%	2,60%	Memenuhi
2	Kadar organik	< No. 3	No. 1	Memenuhi
3	Kadar air	2% - 5%	2,25%	Memenuhi
4	Berat volume			
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	1,41	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	1,60	Memenuhi
5	Absorpsi	0,2% - 2%	1,63%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik			
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,63	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,52	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,57	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	1,50 - 3,80	3,08	Memenuhi

Dari pengujian berat jenis agregat pasir sungai didapatkan hasil sebagai berikut:

a. Kadar lumpur agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar lumpur agregat pasir sungai diatas yaitu 2,60%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi SNI 03-4142-1996 yaitu lebih kecil dari 5% yang menunjukkan bahwa material agregat pada pasir sungai tersebut dapat digunakan untuk campuran beton tanpa melalui proses pencucian terlebih dahulu.

b. Kadar organik agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar organik agregat pasir sungai diatas sampel menunjukkan warna kekeruhan di angka No.1 pada standar warna yang menunjukkan bahwa material agregat pasir sungai tersebut memiliki tingkat kadar organik terbilang rendah dan sesuai dengan spesifikasi SNI 03-2816-1992. Sehingga dapat digunakan dalam campuran beton tanpa perlu dicuci terlebih dahulu.

c. Kadar air agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar air agregat pasir sungai diatas yaitu 2,25%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi SNI 03-1971-1990 yaitu berada diantara interval 2,00% - 5,00% yang menandakan bahwa material agregat pasir sungai tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

d. Berat volume agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian berat volume agregat pasir sungai kondisi lepas diatas yaitu 1,41 sedangkan pengujian berat volume agregat pasir sungai kondisi padat yaitu 1,60 dari ke 2 hasil tersebut sesuai

dengan spesifikasi SNI 03-4804-1998 yaitu berada diantara interval 1,4 – 1,9 kg/liter yang menandakan bahwa material agregat pasir sungai tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

e. Penyerapan air agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian penyerapan air agregat pasir sungai di atas yaitu 1,63%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi SNI SNI 1969:2008 yaitu berada diantara interval dari 0,2% - 2,0% yang menandakan bahwa material agregat pasir sungai (pasir) tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

f. Berat jenis agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian berat jenis nyata diatas yaitu 2,63, berat jenis kering yaitu 2,52 dan berat jenis kering permukaan yaitu 2,57, dari ke 3 (tiga) hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi SNI 1969:2008 yaitu berada diantara interval 1,6 – 3,3 kg/liter yang menandakan bahwa material agregat pasir sungai (pasir) tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

g. Modulus kepasir sungaian agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian modulus kepasir sungaian agregat pasir sungai diatas yaitu 3,08 hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi SNI 03-1968-1990 yaitu berada diantara interval 1,50 – 3,80 yang menandakan bahwa material agregat pasir sungai tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

2. Agregat Kasar

Tabel 4. 2 Rekapitulasi hasil pengujian agregat kasar (*Sumber : Hasil olah data, 2025*)

No.	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil	Keterangan
1	Kadar lumpur	Maks 1%	0,91%	Memenuhi
2	Keausan/Abrasi	Maks 50%	21,5%	Memenuhi
3	Kadar air	0,5% - 2%	1,39%	Memenuhi
4	Berat volume			
	a. Kondisi lepas	1,6 - 1,9 kg/liter	1,62	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,6 - 1,9 kg/liter	1,78	Memenuhi
5	Absorpsi	Maks 4 %	1,06%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik			
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,85	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,76	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,79	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	6,0 - 8,0	7,11	Memenuhi

Dari pengujian agregat kasar diatas didapatkan hasil sebagai berikut :

a. Kadar lumpur

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar lumpur agregat kasar diatas didapatkan hasil 0,91%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi SNI 03-4428-1997 yaitu lebih kecil dari 1% yang menunjukkan bahwa material agregat kasar tersebut dapat digunakan untuk campuran beton tanpa melalui proses pencucian terlebih dahulu

b. Keausan agregat

Dari pengujian tingkat keausan agregat kasar menggunakan mesin *Los Angeless* diatas memenuhi spesifikasi SNI SNI 2417:2008 didapatkan

hasil 21,5% yang nilainya lebih kecil dari 50% sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

c. Kadar air

Dari pengujian kadar air diatas memenuhi spesifikasi SNI 03-1971-1990 didapatkan hasil 1,39% yang nilainya lebih kecil dari 2 % sehingga agregat kasar dapat digunakan pada campuran beton.

d. Berat volume

Dari pengujian berat volume rongga agregat kasar didapatkan hasil 1,62 sedangkan pada pengujian berat volume padat didapatkan hasil 1,78 yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,6 – 1,9 kg/liter sehingga agregat kasar memenuhi spesifikasi SNI 03-4804-1998 dan dapat dijadikan bahan campuran beton.

e. Penyerapan air

Dari pengujian penyerapan air agregat kasar diatas memenuhi spesifikasi SNI 1970:2008 didapatkan hasil 1,06% yang nilainya masih dalam interval maksimum 4% sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

f. Berat jenis

Dari pengujian berat jenis nyata didapatkan hasil 2,85. Berat jenis kering didapatkan nilai sebesar 2,76 dan untuk berat jenis kering permukaan didapatkan hasil pengujian sebesar 2,79 yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,6 – 3,33 berdasarkan SNI 1970:2008 sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

g. Modulus kehalusan

Berdasarkan spesifikasi karakteristik agregat kasar SNI, interval untuk modulus kehalusan agregat kasar yaitu berada antara 6,0-8,0. Sedangkan hasil yang diperoleh dari penelitian yaitu 7,11 adalah sesuai dengan spesifikasi SNI 03-1968-1990. Jadi agregat tersebut dapat digunakan dalam campuran beton.

3. Abu kulit kakao

Tabel 4. 3 Rekapitulasi hasil pengujian abu kulit kakao (*Sumber : Hasil olah data 2025*)

No.	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis Semen	3,0 – 3,2	3,16	Memenuhi

Dari pengujian tempurung kelapa diatas didapatkan hasil sebagai berikut :

a. Berat jenis abu kulit kakao

Hasil yang didapatkan dari pengujian kberat jenis abu kulit kakao diatas didapatkan hasil 3,16%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi SNI 1969:2008 yaitu dalam interval 3,0 – 3,2 yang menunjukkan bahwa material abu kulit kakao tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

B. Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton dihitung menggunakan metode SNI 7656:2012 dengan hasil data sebagai berikut :

Diketahui data material :

Mutu beton = 25 Mpa

Slump = 75 – 100 mm

Ukuran agregat maksimum = 20

Berat kering oven agregat kasar = 1,779

BJ semen tanpa tambahan udara = 3,13

Modulus kehalusan agregat halus = 3,08

Berat jenis (SSD) agregat halus = 2,57

Berat jenis (SSD) agregat kasar = 2,79

Penyerapan air agregat halus = 1,63%

Penyerapan air agregat kasar = 1,06%

Kadar Air agregat halus = 2,25%

Kadar Air agregat kasar = 1,39%

Berat jenis abu kulit kakao = 1,15

1. Kuat tekan rencana

   Fc' = 25 Mpa

   = 301,205 kg/cm^2

2. Nilai tambah (*margin*)

   m = 1,64 x sd

   = 1,64 x 60

   = 98,4 MPa

3. Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan

   $fcr = f'c + M$

   = 301,205 + 98,4

   = 399,605 kg/cm^2

   = 33,81 MPa

Tabel 4. 4 Rekap kebutuhan campuran bahan untuk 1 m^3 beton (*Sumber : Hasil olah data, 2025*)

	Berdasarkan Koreksi terhadap kadar air (kg)	**Berdasarkan perkiraan massa beton (kg)**	**Berdasarkan volume absolute (kg)**
Air (berat bersih)	197,9	203	203
Semen	410,6	421,2	421,2
Ag. Kasar (kering)	1079,8	1082,3	1082,3
Ag. Halus (kering)	651,9	644,3	656,2

4. Kebutuhan Bahan Pembuatan Benda Uji Silinder Beton :

Kebutuhan beton silinder = 3 silinder beton

Diameter (d) = 0,15 m

Tinggi (h) = 0,3 m

Volume 1 silinder = $\frac{1}{4}\pi d^2 h$

$= \frac{1}{4} 3{,}14 \times 0{,}15^2 \times 0{,}30$

$= 0{,}0053014 \quad m^3$

Volume total silinder = Vol. 1 silinder × beton silinder

$= 0{,}0053014\ m^3 \times 3$

$= 0{,}0159042 \quad m^3$

Agar tidak terjadi kekurangan bahan maka diperlukan penambahan volume silinder sebesar 15 %.

Volume tambahan = Vol. 3 silinder x 15%

$= 0{,}0159042\ m^3$ x 15%

$= 0{,}00239\ m^3$

Volume total = Vol. total silinder + Vol. Tambahan

= 0,0159042 m^3 + 0,00239 m^3

= 0,01829 m^3

a. Kebutuhan Beton Normal

Tabel 4. 5 Rekap kebutuhan campuran bahan beton normal untuk 3 silinder beton (*Sumber : Hasil olah data, 2025*)

	Kebutuhan Persatu Kubik Beton		**Kebutuhan Persatu Selinder Beton**		**Kebutuhan 9 Selinder**	
W Semen	421,25	kg	2,57	kg	7,70	kg
W Pasir	644,27	kg	3,93	kg	11,78	kg
W Kerikil	1082,31	kg	6,60	kg	19,80	kg
W Air	203,0	kg	1,24	kg	3,71	kg

b. Untuk variasi abu kulit kakao 5%

Vol. semen = W. semen/ BJ. semen

= 0,4212 × 3,13

= 0,135 m^3

Vol. abu kulit kakao = V. semen × 5%

= 0,135 m^3× 5%

= 0.007 m^3

Berat abu kulit kakao = V. abu kulit kakao × Bj. abu kulit kakao

= 0.007× 3163,75

= 12,312 kg

Vol. semen 95 % = V. semen × 95%

= 0.135 × 95%

= 0,128 m^3

Berat semen 95% = V. semen 95% × Bj. Semen

= 0,128 × 3126,71

= 400,183 kg

Tabel 4. 6 Rekap kebutuhan campuran bahan untuk variasi abu kulit kakao 5% (*Sumber : Hasil olah data, 2025*)

	Kebutuhan Persatu Kubik Beton		**Kebutuhan Persatu Selinder Beton**		**Kebutuhan 3 Silinder**	
W semen	400,18	kg	2,44	kg	7,32	kg
W pasir	644,27	kg	3,93	kg	11,78	kg
W kerikil	1082,31	kg	2,44	kg	19,80	kg
W abu kulit kakao	21,31	kg	0,13	kg	0,39	kg
W air	203,00	kg	1,24	kg	3,71	kg

c. Untuk variasi abu kulit kakao 10%

Vol. semen = W. semen/ BJ. semen

= 0,4212 × 3,13

= 0,135 m^3

Vol. abu kulit kakao = V. semen × 10%

= 0,135 m3× 10%

= 0.013 m^3

Berat abu kulit kakao = V. abu kulit kakao × Bj. abu kulit kakao

= 0.013× 3163,75

= 42,624 kg

Vol. semen 90 % = V. semen × 90%

= 0.135 × 90%

= 0,121 m^3

Berat semen 90% = V. semen 90% × Bj. Semen

= 0,121 × 3126,71

= 379,121 kg

Tabel 4. 7 Rekap kebutuhan campuran bahan untuk variasi abu kilt kakao 10% (*Sumber : Hasil olah data, 2025*)

	Kebutuhan Persatu Kubik Beton		**Kebutuhan Persatu Selinder Beton**		**Kebutuhan 3 Silinder**	
W semen	379,12	kg	2,31	kg	6,93	kg
W pasir	644,27	kg	3,93	kg	11,78	kg
W kerikil	1082,31	kg	2,31	kg	19,80	kg
W abu kulit kakao	42,62	kg	0,26	kg	0,78	kg
W air	203,00	kg	1,24	kg	3,71	kg

d. Untuk variasi abu kulit kakao 15%

Vol. semen = W. semen/ BJ. semen

= 0,4212 × 3,13

= 0,135 m^3

Vol. abu kulit kakao = V. semen × 15%

= 0,135 m^3× 15%

= 0.020 m^3

Berat abu kulit kakao = V. abu kulit kakao × Bj. abu kulit kakao

= 0.020 × 3163,75

= 63,935 kg

Vol. semen 85 % = V. semen × 85%

= 0.135 × 85%

= 0,115 m^3

Berat semen 85% = V. semen 85% × Bj. Semen

= 0,115 × 3126,71

= 358,059 kg

Tabel 4. 8 Rekap kebutuhan campuran bahan untuk variasi abu kulit kakao 15% (*Sumber : Hasil olah data, 2025*)

	Kebutuhan Persatu Kubik Beton		**Kebutuhan Persatu Selinder Beton**		**Kebutuhan 3 Silinder**	
W semen	421,25	kg	2,57	kg	7,70	kg
W pasir	644,27	kg	3,93	kg	11,78	kg
W kerikil	1082,31	kg	2,18	kg	19,80	kg
W abu tem. kelapa 2%	63,94	kg	0,39	kg	1,17	kg
W air	203,00	kg	1,24	kg	3,71	kg

C. Nilai *Slump*

Berbeda dengan nilai slump yang digunakan untuk menilai konsistensi beton dan *workability* pada kondisi tertentu, hasil pemeriksaan *slump test* digunakan untuk melihat perubahan kadar air campuran beton. Semakin rendah nilai slump, semakin kental beton tersebut, dan proses pemadatan atau pekerjaan beton akan semakin sulit dan memakan waktu. Lebih mudah untuk diterapkan dan tidak memakan banyak waktu selama proses pemadatan saat bekerja atau bekerja saat memadatkan.

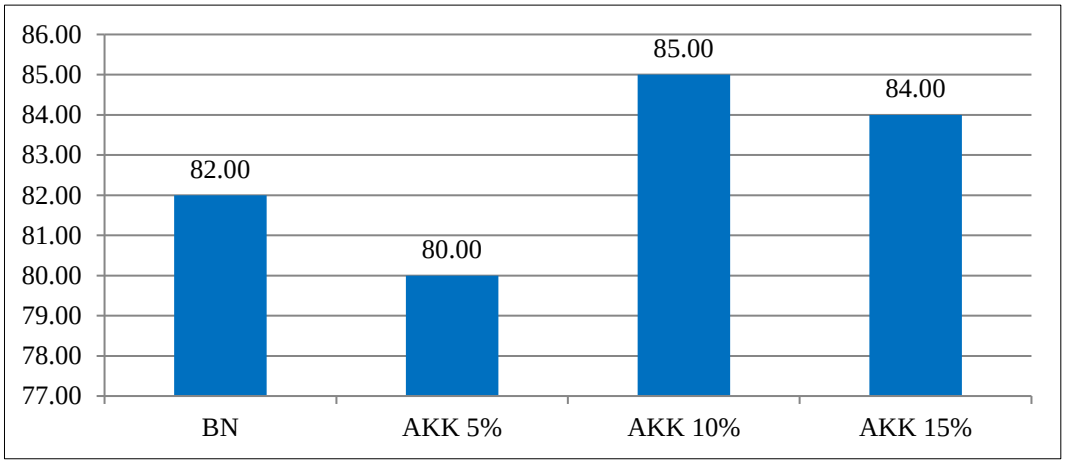
Kerucut Abrams digunakan untuk menilai validitas *Slump tes*. Kerucut Abrams pertama kali dibasahi sebelum diletakkan di permukaan yang rata. Kerucut kemudian diisi dengan tiga lapis beton baru, yang bagian atasnya diratakan setelah tiap lapis diisi dengan 1/3 volume kerucut abrams dan ditusuk 25 kali, dengan

tusukan berlanjut hingga dasar tiap lapis. Kerucut dinaikkan perlahan secara vertikal selama sekitar 30 detik, setelah itu nilai slump dihitung dengan mengukur tinggi campuran dan membandingkannya dengan tinggi kerucut.

Tabel 4. 9 Hasil pengujian nilai slump test (*Sumber : Hasil olah data, 2025*)

Variasi	**Waktu Campur (menit)**	***Slump* Rencana (mm)**	**Hasil *Slump* (mm)**
BN	10 ±	60 - 180	82
AKK 5%			80
AKK 10%			85
AKK 15%			84

Berdasarkan tabel 4.13 diatas memberikan penjelasan tentang perbandingan nilai *Slump test* antara masing-masing variasi. Dimana pada keempat variasi beton yang didapatkan nilai *Slump test* yang memenuhi *slump* rencana beradasarkan SNI 1972:2008 dengan grafik sebagai berikut :



Gambar 4. 1 Hubungan antara variasi campuran dengan nilai *slump* (*Sumber : Hasil olah data, 2024*)

Berdasarkan gambar 4.4 dapat dilihat bahwa penambahan abu kulit kakao hingga 15% menunjukkan pengaruh yang relatif kecil terhadap workability beton.

Pada penambahan 5%, nilai slump sedikit menurun menjadi 8,0 cm dibandingkan beton normal 8,2 cm, namun meningkat menjadi 8,5 cm pada penambahan 10%. Pada kadar 15%, nilai slump sedikit turun menjadi 8,4 cm. Hal ini menunjukkan bahwa abu kulit kakao dapat mempertahankan bahkan sedikit meningkatkan workability beton.

D. Kuat Tekan

Setelah melakukan pembuatan dan perawatan benda uji, selanjutnya dilakukan uji kuat tekan terhadap benda uji Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari dengan sebanyak 3 sampel silinder ukuran 150 x 300 mm yang terdiri dari 4 variasi campuran yaitu beton normal, abu kulit kakao 5%, abu kulit kakao 10% dan abu kulit kakao 15%.

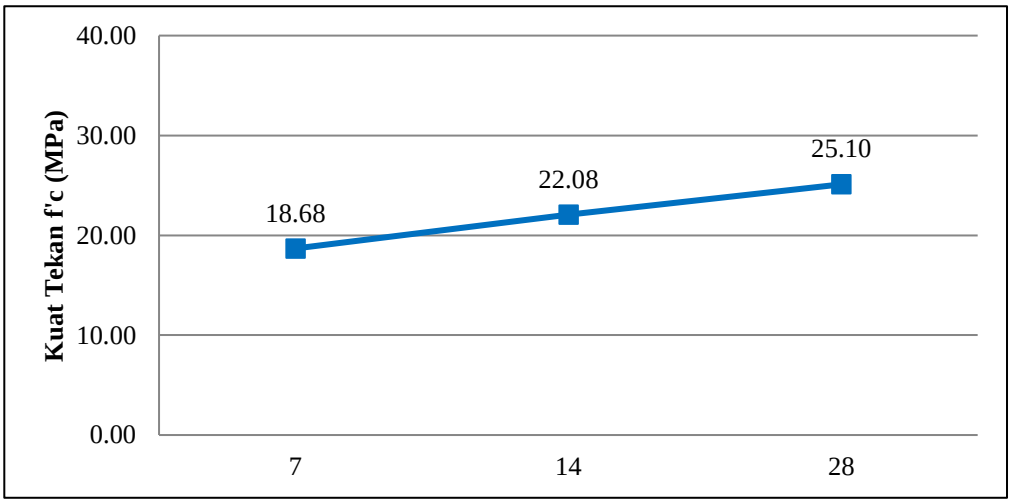
Adapun hasil dari pengujian kuat tekan yang terdiri dari beton normal dan 3 variasi campuran limbah cangkang kerang adalah sebagai berikut:

1. Beton normal

Tabel 4. 10 Rekap hasil kuat tekan beton normal (*Sumber : Hasil olah data, 2025*)

Hari	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)	Kuat Tekan Konversi 28 Hari (MPa)
7	12,23	325	18,40	28,31
	12,25	335	18,97	29,18
	12,03	330	18,68	28,74
Rata-rata	**12,17**	**330,00**	**18,68**	**28,74**
14	12,02	385	21,80	24,77
	12,34	395	22,36	25,41
	12,03	390	22,08	25,09
Rata-rata	**12,13**	**390,00**	**22,08**	**25,09**

Hari	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)	Kuat Tekan Konversi 28 Hari (MPa)
28	12,20	445	25,19	25,19
	12,24	440	24,91	24,91
	12,25	445	25,19	25,19
Rata-rata	**12,23**	**443,33**	**25,10**	**25,10**



Gambar 4. 2 Grafik pengujian kuat tekan beton normal
(*Sumber : Hasil olah data, 2025*)

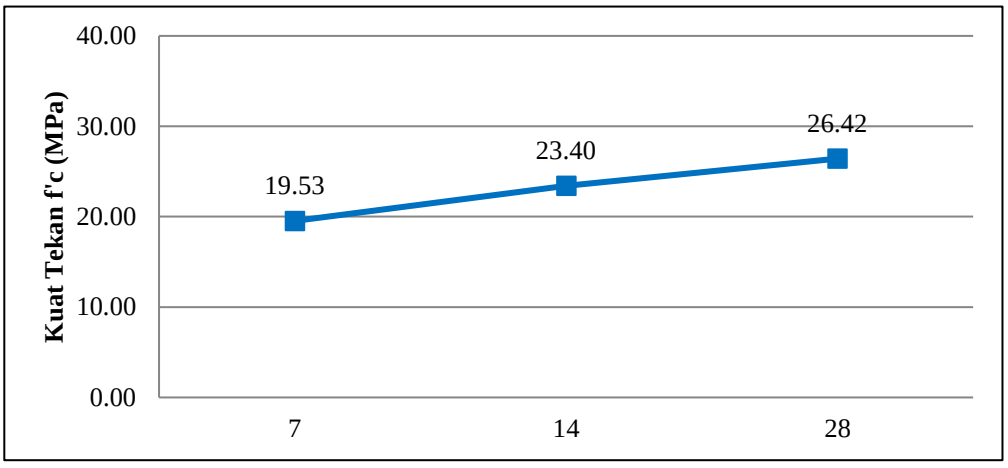
Pada grafik di atas dapat dijelaskan bahwa kuat tekan beton normal mengalami peningkatan dari umur 7 hari hingga 28 hari. Pada umur 7 hari, kuat tekan beton normal mencapai 18,68 MPa. Selanjutnya, pada umur 14 hari terjadi kenaikan sebesar 3,40 MPa sehingga kuat tekannya menjadi 22,08 MPa. Dari umur 14 hari ke 28 hari, kuat tekan kembali meningkat meskipun relatif kecil, yaitu sebesar 3,02 MPa sehingga pada umur 28 hari mencapai 25,10 MPa.

Hal ini menunjukkan bahwa beton normal terus mengalami perkembangan kekuatan seiring bertambahnya umur perawatan, meskipun laju peningkatannya cenderung menurun setelah melewati umur 14 hari.

2. Variasi abu kulit kakao 5%

Tabel 4. 11 Rekap hasil kuat tekan beton variasi abu kulit kakao 5% (*Sumber : Hasil olah data, 2025*)

Hari	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)	Kuat Tekan Konversi 28 Hari (MPa)
7	11,76	345	19,53	30,05
	11,99	340	19,25	29,62
	11,80	350	19,82	30,49
Rata-rata	**11,85**	**345,00**	**19,53**	**30,05**
14	12,09	405	22,93	26,06
	12,00	425	24,06	27,34
	12,61	410	23,21	26,38
Rata-rata	**12,23**	**413,33**	**23,40**	**26,59**
28	12,48	465	26,33	26,33
	12,25	460	26,04	26,04
	12,25	475	26,89	26,89
Rata-rata	**12,33**	**466,67**	**26,42**	**26,42**



Gambar 4. 3 Grafik pengujian kuat tekan beton variasi abu kulit kakao 5% (*Sumber : Hasil olah data, 2025*)

Pada grafik di atas dapat dijelaskan bahwa kuat tekan beton dengan

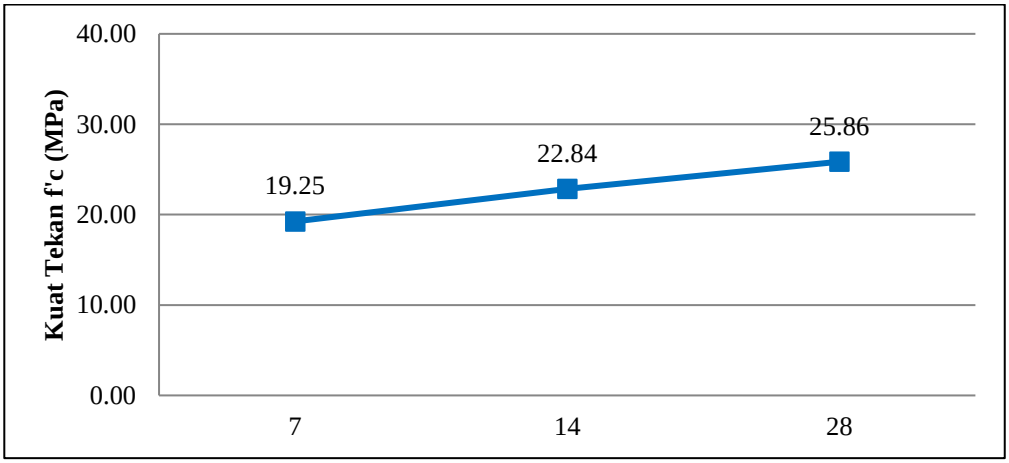
penambahan abu kulit kakao 5% mengalami peningkatan dari umur 7 hari hingga 28 hari. Pada umur 7 hari, kuat tekan yang diperoleh sebesar 19,53 MPa. Selanjutnya, pada umur 14 hari terjadi kenaikan sebesar 3,87 MPa sehingga kuat tekannya menjadi 23,40 MPa. Dari umur 14 hari ke 28 hari, kuat tekan kembali meningkat sebesar 3,02 MPa sehingga pada umur 28 hari mencapai 26,42 MPa.

Hal ini menunjukkan bahwa penambahan abu kulit kakao 5% mampu meningkatkan kuat tekan beton secara bertahap seiring bertambahnya umur perawatan, dengan kecenderungan peningkatan yang relatif stabil.

3. Variasi abu kulit kakao 10%

Tabel 4. 12 Rekap hasil kuat tekan beton variasi abu kulit kakao 10% (*Sumber : Hasil olah data, 2025*)

Hari	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)	Kuat Tekan Konversi 28 Hari (MPa)
7	11,80	335	18,97	29,18
	11,98	340	19,25	29,62
	12,65	345	19,53	30,05
Rata-rata	**12,14**	**340,00**	**19,25**	**29,62**
14	12,15	400	22,65	25,74
	12,22	405	22,93	26,06
	12,25	405	22,93	26,06
Rata-rata	**12,21**	**403,33**	**22,84**	**25,95**
28	12,05	455,00	25,76	25,76
	12,04	460,00	26,04	26,04
	12,18	455,00	25,76	25,76
Rata-rata	**12,09**	**456,67**	**25,86**	**25,86**



Gambar 4. 4 Grafik pengujian kuat tekan beton variasi abu kulit kakao 10% (*Sumber : Hasil olah data, 2025*)

Pada grafik di atas dapat dijelaskan bahwa kuat tekan beton dengan penambahan abu kulit kakao 10% mengalami peningkatan dari umur 7 hari hingga 28 hari. Pada umur 7 hari, kuat tekan yang diperoleh sebesar 19,25 MPa. Selanjutnya, pada umur 14 hari terjadi kenaikan sebesar 3,59 MPa sehingga kuat tekannya menjadi 22,84 MPa. Dari umur 14 hari ke 28 hari, kuat tekan kembali meningkat sebesar 3,02 MPa sehingga pada umur 28 hari mencapai 25,86 MPa.

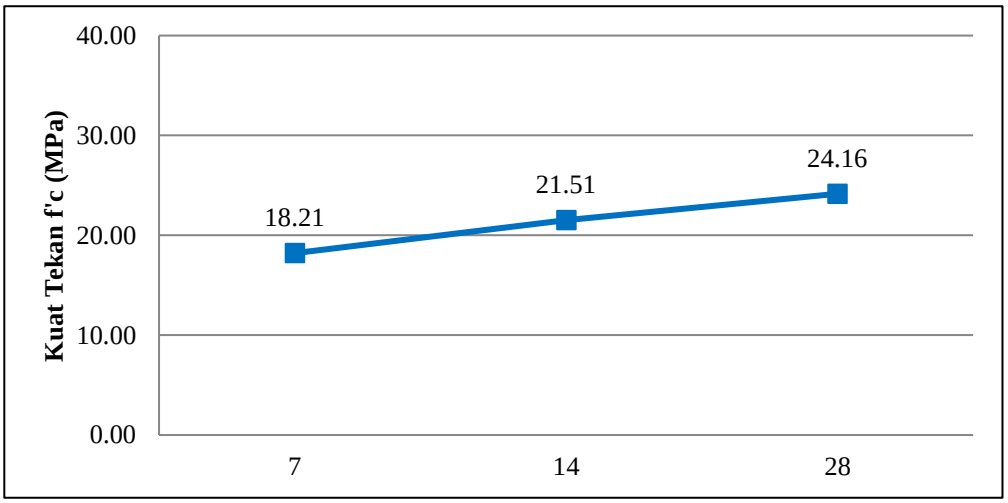
Hal ini menunjukkan bahwa penambahan abu kulit kakao 10% juga memberikan peningkatan kuat tekan beton secara bertahap, dengan tren perkembangan yang konsisten hingga umur 28 hari.

4. Variasi abu kulit kakao 15%

Tabel 4. 13 Rekap hasil kuat tekan beton variasi abu kulit kakao 15% (*Sumber : Hasil olah data, 2025*)

Hari	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)	Kuat Tekan Konversi 28 Hari (MPa)
7	12,23	320,00	18,12	27,87
	12,15	325,00	18,40	28,31

Hari	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)	Kuat Tekan Konversi 28 Hari (MPa)
	12,25	320,00	18,12	27,87
Rata-rata	**12,21**	**321,67**	**18,21**	**28,02**
14	12,08	375,00	21,23	24,13
	11,98	380,00	21,51	24,45
	12,61	385,00	21,80	24,77
Rata-rata	**12,22**	**380,00**	**21,51**	**24,45**
28	11,96	435,00	24,63	24,63
	11,98	425,00	24,06	24,06
	12,10	420,00	23,78	23,78
Rata-rata	**12,01**	**426,67**	**24,16**	**24,16**

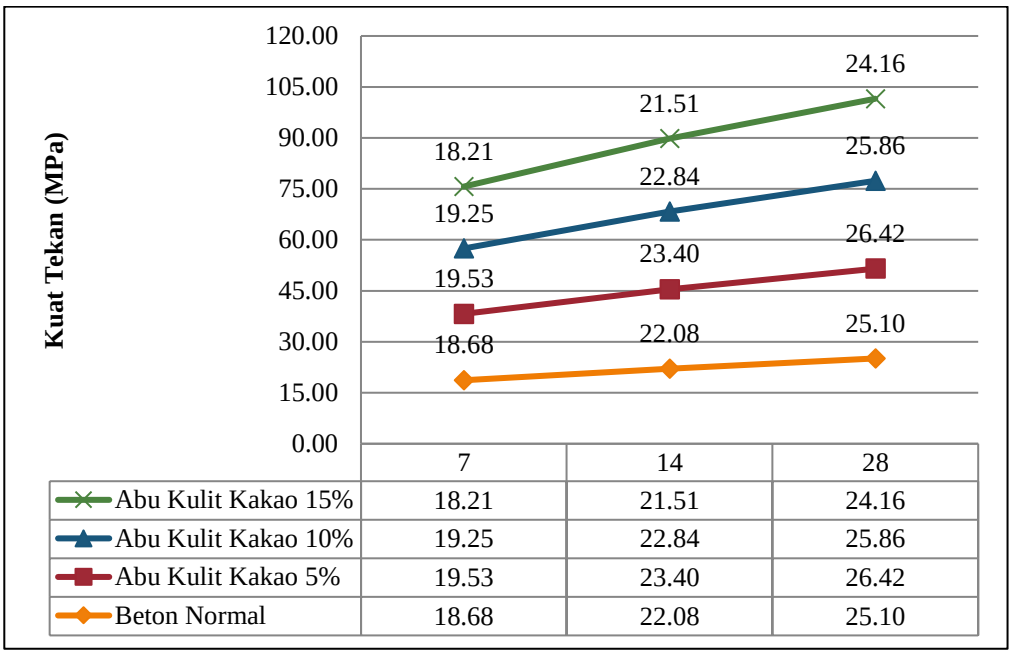


Gambar 4. 5 Grafik pengujian kuat tekan beton variasi abu kulit kakao 15% (*Sumber : Hasil olah data, 2025*)

Pada grafik di atas dapat dijelaskan bahwa kuat tekan beton dengan penambahan abu kulit kakao 15% mengalami peningkatan dari umur 7 hari hingga 28 hari. Pada umur 7 hari, kuat tekan yang diperoleh sebesar 18,21 MPa. Selanjutnya, pada umur 14 hari terjadi kenaikan sebesar 3,30 MPa sehingga kuat tekannya menjadi 21,51 MPa. Dari umur 14 hari ke 28 hari, kuat tekan

kembali meningkat sebesar 2,65 MPa sehingga pada umur 28 hari mencapai 24,16 MPa.

Hal ini menunjukkan bahwa penambahan abu kulit kakao 15% masih mampu meningkatkan kuat tekan beton secara bertahap, meskipun nilai kuat tekannya lebih rendah dibandingkan variasi abu kulit kakao 5% maupun 10%.



	7	14	28
Abu Kulit Kakao 15%	18.21	21.51	24.16
Abu Kulit Kakao 10%	19.25	22.84	25.86
Abu Kulit Kakao 5%	19.53	23.40	26.42
Beton Normal	18.68	22.08	25.10

Gambar 4. 6 Rekapitulasi gabungan kuat tekan
(*Sumber : Hasil olah data, 2025*)

Pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa seluruh variasi beton, baik beton normal maupun beton dengan penambahan abu kulit kakao, menunjukkan tren peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari hingga 28 hari. Beton normal mengalami kenaikan dari 18,68 MPa pada umur 7 hari menjadi 22,08 MPa pada 14 hari, dan mencapai 25,10 MPa pada umur 28 hari.

Penambahan abu kulit kakao 5% memberikan hasil kuat tekan tertinggi, yaitu 19,53 MPa pada 7 hari, meningkat menjadi 23,40 MPa pada 14 hari, dan mencapai 26,42 MPa pada 28 hari. Variasi abu kulit kakao 10% juga

menunjukkan peningkatan yang stabil, yakni 19,25 MPa pada 7 hari, 22,84 MPa pada 14 hari, dan 25,86 MPa pada 28 hari. Sementara itu, variasi abu kulit kakao 15% menghasilkan nilai yang lebih rendah dibandingkan variasi lainnya, yaitu 18,21 MPa pada 7 hari, 21,51 MPa pada 14 hari, dan 24,16 MPa pada 28 hari.

Secara umum, penambahan abu kulit kakao 5% memberikan pengaruh paling optimal terhadap peningkatan kuat tekan beton, sedangkan penambahan hingga 15% cenderung menurunkan kekuatan bila dibandingkan dengan variasi 5% maupun 10%.

E. Durabilitas Beton

Salah satu indikator untuk menilai durabilitas beton adalah melalui uji daya serap air (*water absorption*), di mana semakin kecil nilai daya serap, maka semakin rendah porositasnya dan semakin baik durabilitasnya. Berdasarkan hasil penelitian, penyerapan pada beton silinder umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari pada pengujian variasi abu kulit kakao 0%, abu kulit kakao 5%, abu kulit kakao 10% dan abu kulit kakao 15% yaitu sebagai berikut:

Persentase Penyerapan air $= \frac{W_b - W_k}{W_k} \times 100\ \%$

$= \frac{12{,}99 - 12{,}23}{12{,}23} \times 100\ \%$

$= \frac{0{,}76}{12{,}23} \times 100\ \%$

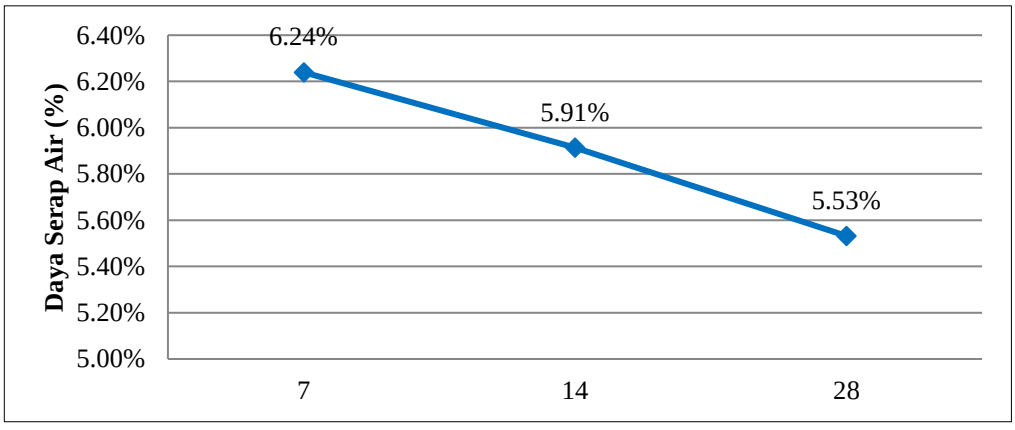
$= 0{,}062 \times 100\%$

$= 6{,}21\%$

1. Daya serap air beton normal

Tabel 4. 14 Hasil uji daya serap beton normal (*Sumber: Hasil olah data, 2025*)

Umur (Hari)	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Daya Serap Air (%)
7	12,99	12,23	6,21%
	13,03	12,25	6,35%
	12,77	12,03	6,15%
Rata - rata	**12,93**	**12,17**	**6,24%**
14	12,72	12,02	5,90%
	13,08	12,34	6,00%
	12,73	12,03	5,85%
Rata - rata	**12,84**	**12,13**	**5,91%**
28	12,87	12,20	5,50%
	12,92	12,24	5,60%
	12,92	12,25	5,50%
Rata - rata	**12,90**	**12,23**	**5,53%**



Gambar 4. 7 Grafik penyerapan air *beton normal* (*Sumber: Hasil olah data, 2025*)

Pada Gambar 4.7, menunjukkan beton normal mengalami penurunan daya serap air seiring bertambahnya umur perawatan. Pada umur 7 hari, beton

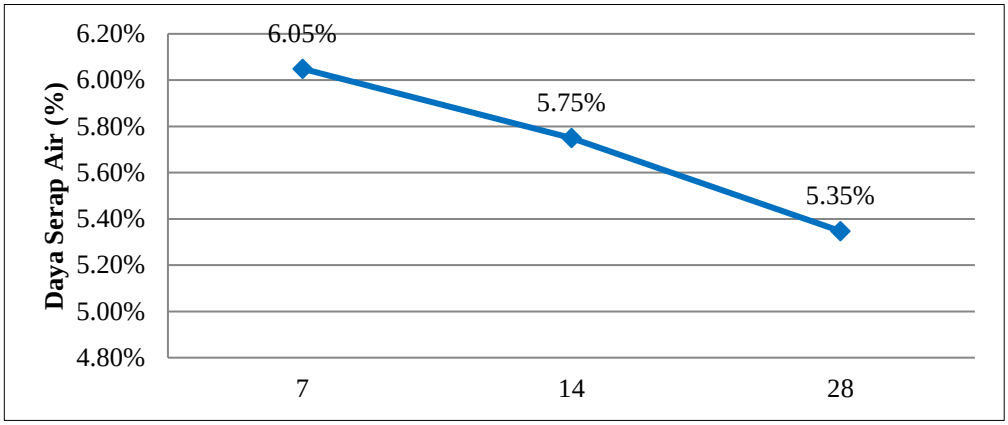
normal memiliki daya serap air sebesar 6,24%. Kemudian pada umur 14 hari, daya serap air menurun menjadi 5,91%, mengalami penurunan sebesar 0,33%. Selanjutnya, dari umur 14 hari ke umur 28 hari, daya serap air kembali menurun menjadi 5,53%, dengan penurunan sebesar 0,38%.

Penurunan daya serap air ini menunjukkan bahwa semakin lama umur perawatan beton, semakin padat struktur beton sehingga kemampuan menyerap air semakin rendah.

2. Daya serap air beton variasi abu kulit kakao 5%

Tabel 4. 15 Hasil uji daya serap beton variasi abu kulit kakao 5%(*Sumber: Hasil olah data, 2025*)

Umur (Hari)	**Berat Basah (gr)**	**Berat Kering (gr)**	**Daya Serap Air (%)**
7	12,46	11,76	6,00%
	12,72	11,99	6,10%
	12,51	11,80	6,05%
Rata - rata	**12,56**	**11,85**	**6,05%**
14	12,78	12,09	5,70%
	12,69	12,00	5,80%
	13,33	12,61	5,75%
Rata - rata	**12,93**	**12,23**	**5,75%**
28	13,14	12,48	5,30%
	12,91	12,25	5,40%
	12,91	12,25	5,35%
Rata - rata	**12,98**	**12,33**	**5,35%**



Gambar 4. 8 Grafik penyerapan air beton variasi abu kulit kakao 5% (*Sumber: Hasil olah data, 2025*)

Pada Gambar 4.8, menunjukkan beton dengan variasi abu kulit kakao 5% mengalami penurunan daya serap air seiring bertambahnya umur perawatan. Pada umur 7 hari, beton dengan abu kulit kakao 5% memiliki daya serap air sebesar 6,05%. Kemudian pada umur 14 hari, daya serap air menurun menjadi 5,75%, mengalami penurunan sebesar 0,30%. Selanjutnya, dari umur 14 hari ke umur 28 hari, daya serap air kembali menurun menjadi 5,35%, dengan penurunan sebesar 0,40%.

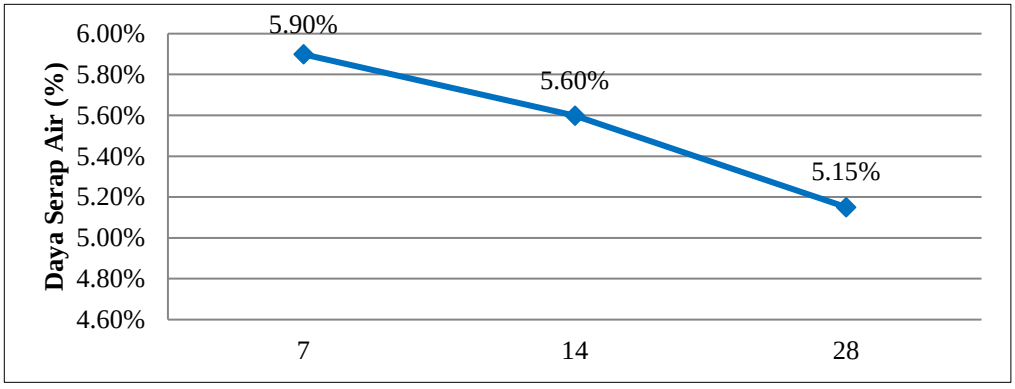
Penurunan daya serap air ini menunjukkan bahwa semakin lama umur perawatan beton, struktur beton menjadi semakin rapat sehingga kemampuan menyerap air semakin berkurang.

3. Daya serap air beton variasi abu kulit kakao 10%

Tabel 4. 16 Hasil uji daya serap beton variasi abu kulit kakao 10% (*Sumber: Hasil olah data, 2025*)

Umur (Hari)	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Daya Serap Air (%)
7	12,49	11,80	5,85%
	12,69	11,98	5,95%

Umur (Hari)	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Daya Serap Air (%)
	13,40	12,65	5,90%
Rata - rata	**12,86**	**12,14**	**5,90%**
14	12,82	12,15	5,55%
	12,91	12,22	5,65%
	12,94	12,25	5,60%
Rata - rata	**12,89**	**12,21**	**5,60%**
28	12,67	12,05	5,10%
	12,66	12,04	5,20%
	12,81	12,18	5,15%
Rata - rata	**12,71**	**12,09**	**5,15%**



Gambar 4. 9 Grafik penyerapan air beton variasi abu kulit kakao 10% (*Sumber: Hasil olah data, 2025*)

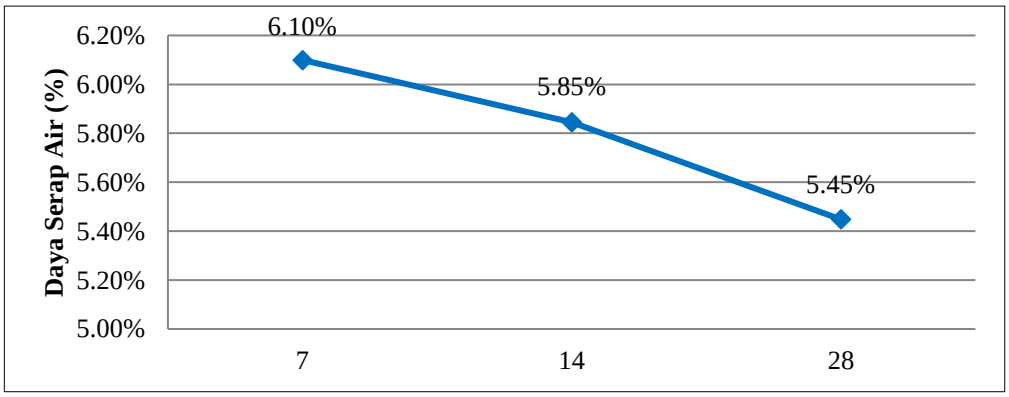
Pada Gambar 4.9, menunjukkan beton dengan variasi abu kulit kakao 10% mengalami penurunan daya serap air seiring bertambahnya umur perawatan. Pada umur 7 hari, beton dengan abu kulit kakao 10% memiliki daya serap air sebesar 5,90%. Kemudian pada umur 14 hari, daya serap air menurun menjadi 5,60%, mengalami penurunan sebesar 0,30%. Selanjutnya, dari umur 14 hari ke umur 28 hari, daya serap air kembali menurun menjadi 5,15%, dengan penurunan sebesar 0,45%.

Penurunan daya serap air ini menunjukkan bahwa semakin bertambahnya umur perawatan beton, struktur beton menjadi lebih rapat sehingga kemampuan menyerap air semakin menurun.

4. Daya serap air beton variasi abu kulit kakao 15%

Tabel 4. 17 Hasil uji daya serap beton variasi abu kulit kakao 15% (*Sumber: Hasil olah data, 2025*)

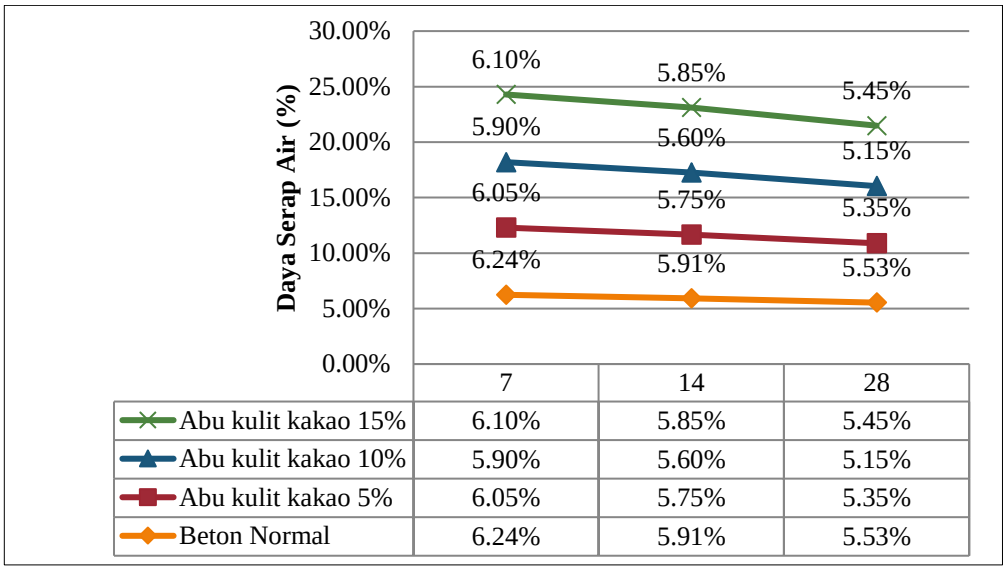
Umur (Hari)	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Daya Serap Air (%)
7	12,98	12,23	6,10%
	12,89	12,15	6,05%
	13,00	12,25	6,15%
Rata - rata	**12,95**	**12,21**	**6,10%**
14	12,78	12,08	5,80%
	12,67	11,98	5,75%
	13,36	12,61	5,98%
Rata - rata	**12,94**	**12,22**	**5,85%**
28	12,61	11,96	5,45%
	12,63	11,98	5,40%
	12,76	12,10	5,50%
Rata - rata	**12,66**	**12,01**	**5,45%**



Gambar 4. 10 Grafik penyerapan air beton variasi abu kulit kakao 15% (*Sumber: Hasil olah data, 2025*)

Pada grafik di atas menunjukkan beton dengan variasi abu kulit kakao 15% mengalami penurunan daya serap air seiring bertambahnya umur perawatan. Pada umur 7 hari, beton dengan abu kulit kakao 15% memiliki daya serap air sebesar 6,10%. Kemudian pada umur 14 hari, daya serap air menurun menjadi 5,85%, mengalami penurunan sebesar 0,25%. Selanjutnya, dari umur 14 hari ke umur 28 hari, daya serap air kembali menurun menjadi 5,45%, dengan penurunan sebesar 0,40%.

Penurunan daya serap air ini menunjukkan bahwa penambahan abu kulit kakao 15% tetap mendukung proses pemadatan beton selama perawatan, sehingga kemampuan menyerap air semakin berkurang seiring bertambahnya umur beton.



	7	14	28
Abu kulit kakao 15%	6.10%	5.85%	5.45%
Abu kulit kakao 10%	5.90%	5.60%	5.15%
Abu kulit kakao 5%	6.05%	5.75%	5.35%
Beton Normal	6.24%	5.91%	5.53%

Gambar 4. 11 Rekapitulasi gabungan daya serap air beton
(*Sumber : Hasil olah data, 2025*)

Pada Gambar 4.11, menunjukkan bahwa beton normal mengalami penurunan daya serap air seiring bertambahnya umur perawatan dari 7 hari, 14 hari, hingga 28 hari, yaitu dari 6,24% menjadi 5,91% dan 5,53%. Variasi beton

dengan penambahan abu kulit kakao sebesar 5% juga menunjukkan tren penurunan daya serap air dari 6,05% (7 hari), 5,75% (14 hari), hingga 5,35% (28 hari).

Pada variasi abu kulit kakao 10%, penurunan daya serap air terjadi dari 5,90% pada umur 7 hari menjadi 5,60% pada 14 hari dan 5,15% pada 28 hari, yang merupakan nilai terendah di antara semua variasi. Sedangkan pada campuran abu kulit kakao 15%, nilai daya serap air cenderung lebih tinggi dibandingkan variasi 5% dan 10%, yaitu 6,10% (7 hari), 5,85% (14 hari), dan 5,45% (28 hari), meskipun tetap lebih rendah dibandingkan beton normal.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan abu kulit kakao hingga 10% efektif menurunkan daya serap air beton, namun penambahan yang berlebih (15%) menyebabkan peningkatan kembali nilai daya serap air meskipun masih lebih baik dari beton normal.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian penggunaan abu tempurung kelapa dan *silica fume*, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil perbandingan, penambahan abu kulit kakao memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kuat tekan beton sesuai dengan persentase yang digunakan. Pada kadar 5% diperoleh kuat tekan tertinggi sebesar 26,42 MPa, sedangkan pada kadar 10% kuat tekan masih lebih tinggi dibandingkan beton normal, yaitu 25,86 MPa terhadap 25,10 MPa. Namun, pada kadar 15% kuat tekan menurun menjadi 24,16 MPa, lebih rendah dibandingkan beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa abu kulit kakao dapat berfungsi sebagai bahan substitusi yang meningkatkan kuat tekan beton pada kadar optimum (5–10%), sedangkan penggunaan dengan kadar lebih tinggi cenderung menurunkan kekuatan akibat meningkatnya porositas serta terganggunya ikatan antar partikel dalam pasta semen.
2. Substitusi abu kulit kakao pada beton hingga 10% efektif meningkatkan durabilitas beton dengan menurunkan daya serap air. Pada variasi 10%, daya serap air mencapai nilai terendah sebesar 5,15% pada umur 28 hari dibandingkan beton normal yang mencapai 5,53%. Namun, penambahan abu kulit kakao sebesar 15% cenderung meningkatkan kembali daya serap air,

meskipun masih lebih rendah dari beton normal. Dengan demikian, persentase optimum substitusi abu kulit kakao terhadap durabilitas beton adalah 10%.

B. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi kadar abu kulit kakao yang lebih rinci, terutama di bawah 5% dan antara 5% hingga 10%, untuk menentukan kadar optimum yang lebih akurat terhadap peningkatan kuat tekan beton.
2. Disarankan untuk mengkombinasikan abu kulit kakao dengan bahan tambahan lain seperti silica fume atau superplasticizer, guna mengkaji potensi peningkatan kuat tekan dan workability secara bersamaan.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan tidak hanya fokus pada kuat tekan, tetapi juga menguji sifat mekanik lainnya seperti kuat lentur, modulus elastisitas, serta aspek durabilitas seperti ketahanan beton terhadap serangan kimia dan suhu tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Ataya Nabila Panjaitan, Ramadhani, R. S., & Ernie Shinta Y Sitanggang. (2021). Pengaruh Abu Ampas Kopi Terhadap Kuat Tekan, Porositas Sebagai Pengganti Semen Pada Pembuatan Beton. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Agregat*, *1*(1), 1–5. https://doi.org/10.51510/agregat.v1i1.84

Beni Anggi Saputro. (2020). *Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton*. Universitas Mercu Buana Jakarta.

Bintoro, A. Y., Limantara, A. D., & Winarto, S. (2018). Evaluasi Kekuatan ConcBlock Dengan Agregat Halus dan Agregat Kasar dari Tempurung Kelapa. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, *1*(1), 160–171. https://doi.org/10.30737/jurmateks.v1i1.162

Cahya, M. A. D., Destania, H. R., & Fauzi, M. (2022). Pengaruh Penambahan Limbah Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Pada Kuat Tekan Batako. *Jurnal Tekno Global*, *11*(2), 62–66. https://doi.org/10.36982/jtg.v11i2.3050

Hardini, B., Abdi, F. N., Haryanto, B., Jamal, M., & Arifin, T. S. P. (2022). Penambahan Abu Tempurung Kelapa sebagai Bahan Tambah dalam Pembuatan Paving Block. *Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Sipil*, *5*(2), 1–5.

Kandiyufiter, S., & Ruslan Ramang, dan R. C. (2012). Substitusi Agregat Halus Beton Menggunakan Kapur Alam Dan Menggunakan Pasir Laut Pada Campuran Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, *1*(4), 74–86.

Langitan, G. M., Sumajow, M. D. J., & Dapas, S. O. (2022). Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Agregat Lokal dan Abu Arang Tempurung Kelapa Sebagai Subtitusi Parsial Semen. *Jurnal Sipil Statik*, *10*(2), 135–141.

Mahendra, Y. I, Gardjito. E, Ridwan. A, W. H. (2021). Meningkatkan Kuat Tekan Beton Fc' 16,60 Mpa Menggunakan Fly Ash Dan Arang Batok Kelapa. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, *4*, 1–13.

Mahindra, A. H. (2021). *Pengaruh Abu Tempurung Kelapa Sebagai Variasi Komposisi Terhadap Kuat Tekan Beton K250*. Universitas Islam Lamongan.

Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Andi.

Prasetyadi, W. P. (2013). Pengaruh Penambahan Pozzolan Pada Ordinary Portland Cement Terhadap Kualitas Pozzolan Portland Cement. *Repository Universitas Muhammadiyah Purwokerto*, 5–19.

Saputra, M. A. A., Mustakim, M., & Misbahuddin, M. (2022). Pemanfaatan Limbah Popok Bayi Sebagai Bahan Campuran Pembuatan Bata Ringan. *Jurnal Karajata Engineering*, *1*(1), 1–6.

SK SNI M–09–1989–F. (1989). *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air*

Agregat Kasar. Departemen Pekerjaan Umum.

SNI 03-2847-2019. (2019). *Persyaratan Beton Struktural Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional.

SNI 1974-2011. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standardisasi Nasional.

Sulfanita, A., Dirawan, G. D., & Ali, M. I. (2021). Investigation of the Effect of using Salak Seeds as Coarse Aggregate in Concrete. *Asian Journal of Applied Sciences*, *9*(3), 172–178.

Tjokrodimuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Universitas Gadjah Mada.

Wimaya, S., Ridwan, A., & Winarto, S. (2020). Modifikasi Beton Fc 9,8 Mpa Menggunakan Abu Ampas Kopi. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, *3*(2), 234.