

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Sejumlah penelitian nasional telah mengeksplorasi pemanfaatan bahan alternatif serta bahan tambah kimia pada beton dan material konstruksi sejenis, meskipun publikasi yang secara khusus mengkaji pengaruh kombinasi abu kulit kakao dan penambahan *superplasticizer* terhadap kuat tarik belah beton masih sangat terbatas. Salah satu studi yang relevan adalah “Analisis Penggunaan Pasir Kuarsa dengan Tambahan *Superplasticizer* yang dimuat dalam *Jurnal Karajata Engineering*. Penelitian tersebut melaporkan bahwa penggantian pasir biasa dengan pasir kuarsa disertai penambahan *superplasticizer* dapat meningkatkan kuat tekan; namun, capaian kuat tarik belah justru menurun dibandingkan beton kontrol. Temuan ini menegaskan bahwa, sekalipun *superplasticizer* berkontribusi pada perbaikan kelecakan dan peningkatan densitas campuran, pengaturan keseimbangan antara fraksi halus dan dispersi partikel menjadi krusial agar sifat tarik beton tidak terdegradasi. (Wahidah Sulkaeda Aseh Syahda et al., 2024).

Dalam literatur terkait bahan biomassa, penelitian studi terhadap potensi campuran abu kulit kakao dan serbuk cangkang memfokuskan penggunaan abu kulit kakao dalam produk bata ringan. Meskipun bukan beton struktural, penelitian ini menyoroti bahwa abu kulit kakao yang kaya silika dapat menggantikan sebagian silika tradisional sebagai bahan halus, sehingga harga produksi bisa ditekan. Temuan ini mendukung gagasan bahwa abu kulit kakao dapat dikembangkan sebagai bahan halus dalam campuran beton struktural jika kombinasi dengan bahan tambahan yang tepat. (Hadipramana et al., 2023)

Penelitian yang mengganti sebagian semen dengan abu kulit kakao menggunakan persentase yang bervariasi, antara lain 6%, 12%, dan 18% untuk penggantian sebagian semen, atau 1%, 1,5%, dan 2% untuk penambahan abu kulit kakao pada beton. Persentase optimal tergantung pada hasil yang diinginkan, karena ada penelitian yang menunjukkan bahwa penambahan 10% dapat

meningkatkan kekuatan tekan pada umur 28 dan 56 hari, sementara penambahan lebih dari 15% dapat menurunkan kekuatan tekan. (Veranita et al., 2024).

Dari hasil penelitian (Teknik et al., 2024) Berdasarkan hasil uji kuat tekan beton dapat dilihat bahwa kuat tekan beton dengan variasi penggunaan abu kulit kopi Toraja pada umur 28 hari memiliki kuat tekan yang nilainya masih di bawah kuat tekan beton normal. Kinerja kuat tekan beton mencapai 78% - 84 % dari kuat tekan beton normal. Kuat tekan beton maksimum diperoleh pada variasi penggunaan abu kulit kopi Toraja sebesar 7,5% dengan kuat tekan beton 24,13 Mpa atau mencapai kinerja 84% dari beton normal.

Superplasticizer merupakan bahan tambah (*admixture*) yang ditambahkan ke dalam adukan beton dengan tujuan untuk meningkatkan kelecakan pada beton, sehingga dapat mempermudah untuk dikerjakan (*workability*). Superplasticizer dikelompokkan kedalam bahan tambah kimia tipe F (*water reducing high range 3 admixtures*). Salah satu produk Superplasticizer adalah *Viscocrete 3115N* yang diproduksi dari PT. Sika Indonesia. Fungsi dari Superplasticizer yaitu untuk menambah kelecakan pada campuran beton dan dapat meningkatkan nilai slump hingga 200 mm (Akhir et al., 2025).

Dari hasil penelitian (Akhir et al., 2025) dengan menggunakan abu batu pada interval 10% dari kadar 0%, 10%, 20%, dan 30% didapat nilai kuat tekan beton tertinggi pada penggunaan 20% sebesar 33,52 MPa dan kuat tarik sebesar 2,91 MPa. Oleh karena itu, untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat lagi, perlu dilakukan penelitian dengan interval yang lebih rapat di sekitar persentase tersebut dengan menggunakan bahan tambah *Superplasticizer* jenis *Sika Viscocrete 3115N*.

Menurut (Manga, J., Sombolinggi, A. T., Novita, V., & Irwanto, I.[2025) Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan abu dan serat daun nanas memberikan pengaruh berbeda terhadap karakteristik mekanik beton. Secara umum, penambahan abu daun nanas sebesar 1%, 2%, hingga 3% yang dikombinasikan dengan 1% serat daun nanas cenderung menurunkan kuat tekan beton dibandingkan beton kontrol. Penurunan kuat tekan paling signifikan terjadi

pada variasi 3% abu dan 1% serat, yaitu sebesar 16% dari nilai beton kontrol. Sebaliknya, pengaruh positif ditunjukkan pada aspek kuat lentur. Peningkatan tertinggi diperoleh pada campuran 3% abu dan 1% serat daun nanas, dengan nilai kuat lentur yang melebihi beton kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi bahan tambah tersebut efektif meningkatkan ketahanan lentur beton melalui peran serat dalam menghambat retak serta kontribusi abu sebagai filler mikro yang memperbaiki struktur matriks beton.

Juga menarik adalah penelitian yang menggabungkan penggunaan serat (*fiberglass*) dan superplasticizer terhadap kekuatan tekan dan tarik belah beton. Dalam penelitian tersebut, penggunaan kombinasi material tambah dianggap mampu memperbaiki ikatan serat-matriks dan mendistribusikan tegangan tarik lebih merata. Meskipun tidak membahas abu kulit buah kakao, penelitian ini memberikan bukti bahwa bahan tambahan dan dispersan kimia bersama-sama dapat mempengaruhi sifat tarik beton jika dijumlahkan secara proporsional (Alwie et al., 2020).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian Beton

Beton merupakan material konstruksi yang terdiri dari campuran semen hidrolik (seperti semen Portland), agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil atau batu pecah), dan air. Campuran ini dapat ditambahkan dengan bahan tambah (*admixture*) untuk memperoleh sifat tertentu sesuai kebutuhan. Beton memiliki sifat keras dan kuat dalam menahan beban tekan, namun memiliki kelemahan pada kekuatan tariknya yang rendah. Oleh karena itu, berbagai penelitian dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik beton, salah satunya dengan menambahkan bahan tambahan seperti abu kulit kakao dan *superplasticizer*.

Menurut (Setyatama, 2024), beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidrolik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan, yang membentuk massa padat. Beton yang dihasilkan dari campuran ini akan mengeras melalui proses hidrasi, yaitu reaksi kimia antara semen dan air, membentuk struktur kristalin yang memberikan kekuatan pada beton.

2.2.2 Jenis-Jenis Beton

Menurut (Tobi & Bahar, 2005), terdapat beberapa jenis beton yang dapat ditemui. Berikut jenis-jenis beton dan fungsinya sebagai berikut:

1. Beton Ringan

Beton ringan memiliki berat jenis kurang dari 1.900 kg/m³. Beton ringan digunakan untuk elemen non-struktural. Beton ringan dibuat dengan cara membuat gelembung udara dalam adukan semen dan menggunakan agregat ringan (tanah liat bakar/batu apung) atau pembuatan beton non-pasir.

2. Beton Normal

Beton normal memiliki berat jenis 2.200 – 2.500 kg/m³. Beton normal digunakan hampir pada setiap elemen struktur bangunan.

3. Beton Berat

Beton berat memiliki berat jenis lebih dari 2.500 kg/m³. Beton berat digunakan untuk struktur tertentu, seperti struktur yang harus tahan terhadap radiasi atom.

4. Beton Jenis Lain

Beton jenis lain merupakan beton yang digunakan untuk struktur yang memiliki persyaratan khusus, seperti: beton massa, ferosemen, beton serat, beton siklop, beton hampa, beton ekspos.

Selain itu, jenis-jenis beton berdasarkan kuat tekan dapat dikategorikan seperti di bawah ini:

1. Beton mutu rendah

Beton mutu rendah yaitu beton yang memiliki nilai kuat tekan di bawah 20 MPa. Beton mutu rendah biasa digunakan untuk struktur rumah tinggal.

2. Beton mutu sedang

Beton mutu sedang yaitu beton yang memiliki nilai kuat tekan 20 MPa hingga 40 MPa. Beton mutu sedang biasa digunakan untuk struktur bangunan bertingkat.

3. Beton mutu tinggi

Beton mutu tinggi yaitu beton yang memiliki nilai kuat tekan di atas 41 MPa. Beton mutu tinggi biasa digunakan pada bangunan pencakar langit atau *High Rise Building*.

2.2.3 Material Penyusun Beton

Beton merupakan bahan konstruksi yang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu semen, agregat kasar, agregat halus, air, bahan tambah (*admixture*), dan bahan tambahan lainnya seperti abu kulit kakao. Setiap komponen memiliki peran penting dalam menentukan sifat dan kualitas beton yang dihasilkan.

1. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah butiran batuan berukuran lebih besar dari 5 mm yang berfungsi sebagai bahan pengisi utama dalam campuran beton. Gradasi dan kualitas agregat kasar mempengaruhi kekuatan dan durabilitas beton. Penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi agregat kasar dapat mempengaruhi sifat mekanik beton, seperti kuat tekan dan kuat tarik belah (Dasar, 2023).

2. Agregat Halus

Agregat halus, seperti pasir, adalah butiran batuan berukuran lebih kecil dari 5 mm yang juga berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Kualitas pasir yang digunakan seringkali tidak terlalu diperhatikan, padahal pasir memiliki peranan penting dalam pembuatan beton. Penelitian menunjukkan bahwa kualitas pasir yang digunakan dapat mempengaruhi sifat fisik beton (Prabowo & Sofia, 2024).

3. Semen portland

Semen adalah bahan pengikat hidrolis yang menjadi komponen utama dalam campuran beton. Dalam konteks konstruksi di Indonesia, semen Portland menjadi tipe semen yang paling umum digunakan. Menurut (SNI 15-2049-2004, 2004) sebagai standar nasional untuk semen Portland, semen Portland didefinisikan sebagai produk yang dihasilkan dari penggilingan terak ("*clinker*") Portland bersama dengan bahan tambahan seperti gypsum untuk mengatur waktu pengerasan sehingga semen ini memiliki sifat mengeras dalam air dan tidak bergantung pada

karbonasi. Standar tersebut juga menetapkan persyaratan fisik, kimia, dan mutu bahan semen agar dapat digunakan secara aman dan konsisten dalam konstruksi.

Dalam penerapannya, semen bekerja melalui proses hidrasi ketika berbenturan dengan air. Selama hidrasi, senyawa-senyawa aktif dalam semen termasuk kalsium silikat, alit, belit, dan aluminat bereaksi membentuk produk baru seperti *calcium silicate hydrate* (C–S–H) dan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), yang menyatu membentuk struktur padat dan mengikat agregat dalam beton. Struktur hasil reaksi tersebut memberikan kekuatan dan stabilitas mekanik pada beton. Di samping itu, semen juga memiliki peranan penting dalam mengisi ruang antar partikel agregat serta mengikat permukaan agregat sehingga menghasilkan massa padat yang mampu menahan beban dan deformasi.

Dalam praktiknya, semen Portland yang digunakan di Indonesia dikategorikan dalam berbagai tipe tergantung kebutuhan konstruksi. Contoh yang sering digunakan adalah OPC (*Ordinary Portland Cement/Tipe I*) yang digunakan untuk pekerjaan beton umum tanpa kebutuhan khusus; dan PPC (*Portland Pozzolan Cement*) atau PCC (*Portland Composite Cement*) yang mengandung bahan tambahan *pozzolan* atau campuran inert tertentu. Dalam sebuah kajian yang membandingkan kinerja beton dengan OPC, PPC, dan PCC, ditemukan bahwa ameskipun beton yang menggunakan OPC sedikit lebih unggul pada usia awal, pada umur 28 hari perbedaan kekuatannya tidak terlalu besar, dan karakteristik praktis seperti stabilitas bentuk serta penyusutan dapat diperbandingkan (Lasino et al., 2017).

Berikut adalah tabel komposisi semen portland:

Tabel 2. 1 Komposisi semen *Portland*

Oksida	Kandungan (%)
CaO	60–67
SiO ₂	17 – 25
AL ₂ O ₃	3 – 8
Fe ₂ O ₃	0,5 – 0,6
MgO	0,1 – 4
Alkalis	0,2 – 1,3
SO ₃	1 – 3

(Sumber : (Surya, 2017)

4. Air

Air adalah bahan dasar pembuatan beton yang penting dan paling murah. air berfungsi sebagai reaktor untuk semen dan pelumas antar butir-butir agregat. air yang digunakan harus memenuhi ketentuan tertentu agar tidak mempengaruhi kualitas beton. Persyaratan air harus memenuhi ketentuan dalam SNI 03-6817-2002 (Lasino et al., 2017).

2.3 Pengujian Karakteristik Material

Pengujian karakteristik dilakukan untuk mengetahui karakteristik bahan yang akan digunakan dalam campuran beton. Pengujian bahan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Analisa Saringan Agregat (SNI 03-1968-1990)

Analisa saringan agregat dimaksudkan untuk mengetahui ukuran butir dan gradasi untuk keperluan design campuran beton.

2. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (SNI 1737-1989/ASTM C128)

Pemeriksaan berat jenis agregat halus dimaksudkan untuk menentukan berat jenis agregat halus dan penyerapan agregat halus. Adapun rumus untuk menghitung berat jenis:

- a. *Bulk Spesific Gravity* = $\frac{A}{B+500-C}$
- b. *Bulk Spesific Gravity (SSD)* = $\frac{500}{B+500-C}$
- c. *Apparent Spesific Gravity* = $\frac{A}{B+A-C}$
- d. *Absorption* (penyerapan) = $\frac{(500-A)}{A}$

Di mana:

SSD = berat contoh jenuh kering permukaan

A = berat contoh kering

B = berat labu + air temperatur 28°C

C = berat labu + contoh (*SSD*) + air temperatur 28°C

3. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (SNI-03-1969-1990)

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dimaksudkan untuk mengetahui berat jenis agregat kasar dan kemampuannya menyerap air.

- a. $Bulk\ Specific\ Gravity = \frac{A}{B-C}$
- b. $Bulk\ Specific\ Gravity\ (SSD) = \frac{500}{B-C}$
- c. $Apparent\ Specific\ Gravity = \frac{A}{A-C}$
- d. $Absorption\ (penyerapan) = \frac{B-A}{A} \times 100\%$

4. Pemeriksaan Bobot Isi Agregat (SNI 03-4804-1998)

Pemeriksaan bobot isi agregat dimaksudkan untuk menentukan isi atau bobot isi agregat dalam kondisi lepas dan padat

- a. $Berat\ Isi\ Lepas = \frac{B-A}{V}$
- b. $Berat\ Isi\ Padat = \frac{B-A}{V}$

Di mana:

- A = berat *container* (gr)
 B = berat *container* + isi (gr)
 V = volume *container* (cm³)

5. Pemeriksaan Kadar Air Agregat (SNI 1971:2011)

Pemeriksaan kadar air agregat dimaksudkan untuk menentukan kadar air yang terkandung dalam agregat.

$$Kadar\ Air\ (w) = \frac{D}{E} \times 100\%$$

Di mana:

- A = berat cawan (gr)
 B = berat cawan + contoh basah (gr)
 C = berat cawan + contoh kering (gr)
 D = berat air – D = C - A

6. Pemeriksaan Kadar Lumpur dan Lempung Agregat (SNI 2816:2014)

Pemeriksaan kadar lumpur dan lempung agregat halus dan kasar dimaksudkan untuk mengetahui kandungan lumpur dalam agregat.

$$Kadar\ lumpur = \frac{A-B}{A} \times 100\%$$

Di mana:

A = berat cawan kosong untuk masing-masing benda uji (gr)

B = berat cawan benda uji bersih kering oven (gr)

7. Pengujian Abrasi (SNI 03-2417-1991)

Pemeriksaan keausan agregat atau abrasi agregat dimaksudkan untuk mengetahui keausan agregat yang diakibatkan oleh faktor-faktor mekanis.

$$\text{Keausan} = \frac{A-B}{A} 100\%$$

Di mana:

A = berat contoh

B = berat kering

2.4 Campuran Beton (Mix Design)

Mix design dalam beton adalah proses perencanaan dalam memilih campuran atau material yang bermutu tinggi untuk pembuatan beton dan menentukan kekuatan dan mutu beton itu sendiri. Tujuan perancangan campuran beton adalah untuk menentukan proporsi bahan baku beton yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, dan air yang memenuhi kriteria *workabilitas*, kekuatan, *durabilitas*, dan penyelesaian akhir yang sesuai dengan spesifikasi. *Mix design* di sesuaikan SNI 7656-2012.

2.5 Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah beton adalah kemampuan beton untuk menahan gaya tarik yang bekerja pada bidang tertentu, biasanya diuji menggunakan metode belah silinder. Beton secara alami memiliki kekuatan tekan yang tinggi tetapi memiliki kekuatan tarik yang relatif rendah. Oleh karena itu, pengujian kuat tarik belah penting dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan gaya tarik, yang berpengaruh terhadap retak dan deformasi struktur beton (Dasar, 2023).

(SNI-03-2491-2002, 2002), dalam *Jurnal Sipil Statik* menjelaskan bahwa kuat tarik belah beton merepresentasikan kemampuan beton menahan tegangan tarik tidak langsung yang timbul ketika silinder beton “terbelah” akibat pembebanan tekan pada garis diameternya. Parameter ini dipakai luas sebagai cara

yang praktis untuk menilai sifat tarik beton, mengingat uji tarik langsung relatif rumit memerlukan alat penjepit kaku dan rentan eksentrisitas serta berguna untuk memprediksi kecenderungan retak dan deformasi pada elemen. Mereka juga menegaskan, dalam kerangka perilaku mekanik material, bahwa besaran kuat tarik beton umumnya sekitar 9–15% dari kuat tekan dan sangat dipengaruhi oleh metode pengujian yang digunakan (tarik langsung, tarik belah/splitting, atau tarik lentur), sehingga interpretasi hasil harus mempertimbangkan karakteristik metode serta kondisi campuran yang diuji.

Metode pengujian kuat tarik belah beton umumnya menggunakan benda uji silinder yang ditempatkan secara horizontal dan diberikan beban tekan pada kedua sisi silinder. Beban ini menyebabkan retak di sepanjang bidang vertikal silinder, dan nilai kuat tarik belah beton dihitung menggunakan rumus:

$$f_t = \frac{2P}{\pi dl}$$

Di mana:

- f_t = kuat tarik belah beton (MPa)
- P = beban maksimum yang diterima benda uji (N)
- d = diameter silinder (mm)
- l = panjang silinder (mm)

Faktor yang Mempengaruhi

Kuat tarik belah beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Kualitas dan jenis semen = Semen dengan mutu tinggi meningkatkan ikatan antara agregat dan pasta semen.
2. Jenis dan gradasi agregat = Agregat yang keras dan distribusi ukuran yang baik akan meningkatkan kekuatan tarik.
3. Rasio air-semen (w/c) = Rasio rendah biasanya meningkatkan kuat tarik beton.
4. Penggunaan bahan tambah (admixture) = Misalnya superplasticizer dapat meningkatkan workability dan kepadatan beton, sehingga kuat tariknya meningkat.

5. Penggunaan bahan pengganti atau limbah industri/pertanian = Seperti abu kulit kakao, fly ash, atau silica fume yang dapat meningkatkan sifat mekanik beton.

2.6 Kakao

Kakao adalah buah tropis dari pohon *Theobroma cacao* L. yang bijinya digunakan sebagai bahan baku utama dalam pembuatan coklat. Indonesia merupakan salah satu produsen kakao terbesar di dunia, dan komoditas ini memiliki peran penting dalam perekonomian nasional sebagai sumber pendapatan dan devisa. (Marajahan et al., 2010)

2.7 kulit buah kakao

Kulit buah kakao merupakan limbah dari industri pengolahan biji kakao. Kulit kakao yang telah dibakar menjadi abu (*fly ash*) mengandung silika yang dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu kulit kakao sebagai filler pada campuran aspal dapat meningkatkan nilai *Marshall*, yang menunjukkan peningkatan kualitas campuran (Rani et al., 2025).

2.8 Abu Kulit Buah Kakao

Abu kulit buah kakao (AKBK) merupakan salah satu limbah pertanian yang potensial digunakan sebagai bahan pengganti/semesta dalam campuran beton karena kandungan mineral seperti silika yang dapat berperan sebagai *pozzolan*. Dari studi “Studi Terhadap Potensi Campuran Abu Kulit Kakao dan Serbuk Cangkang Telur” ditemukan bahwa AKBK memiliki kandungan silika yang cukup signifikan sehingga berpeluang menggantikan sebagian pasir kuarsa dalam beton ringan atau bahan pengikat mikro pada beton ringan. (Hadipramana et al., 2023) Penggunaan AKBK dalam beton memerlukan optimasi komposisi, yakni menentukan persentase substitusi (misalnya 5 %, 10 %, atau lebih) yang tidak mengurangi sifat mekanik beton seperti kuat tarik belah secara signifikan.

Penambahan *superplasticizer* dalam campuran beton dengan abu kulit kakao menjadi sangat penting karena abu kulit kakao cenderung meningkatkan kebutuhan air akibat permukaan finenya dan porositas mikrostruktur yang terbentuk. *Superplasticizer* dapat mengurangi *water-to-cement* ratio tetap menjaga

workability, sehingga memungkinkan penyebaran matriks lebih merata dan menurunkan porositas internal. Dengan kombinasi yang tepat antara kadar abu kulit kakao optimal dan dosis *superplasticizer*, diharapkan terbentuk struktur mikro beton yang padat, sehingga gaya tarik belah (*splitting tensile strength*) dapat terjaga atau bahkan meningkat dibanding beton konvensional tanpa abu kulit kakao.

Hingga saat ini belum ditemukan publikasi berbahasa Indonesia yang secara spesifik menelaah pengaruh gabungan abu kulit kakao dan *superplasticizer* terhadap kuat tarik belah beton secara komprehensif. Namun, temuan pada material sejenis misalnya studi mengenai substitusi abu terbang yang dipadukan dengan *superplasticizer* tipe Sikament LN menunjukkan bahwa penggantian semen hingga 30% dengan penambahan 1% *superplasticizer* dapat menghasilkan nilai kuat tarik belah yang mendekati beton normal ($\pm 2,15$ MPa) pada umur tertentu. Rangkaian hasil tersebut dapat dijadikan rujukan metodologis untuk diadaptasi pada konteks AKBK, yakni dengan merancang percobaan yang mencakup variasi kadar substitusi AKBK (misalnya 0%, 5%, 10%, 15%) dan variasi dosis *superplasticizer* (misalnya 0,5%, 1,0%, 1,5%), kemudian melakukan pengujian kuat tarik belah pada umur 7, 14, dan 28 hari guna mengidentifikasi kombinasi komposisi yang paling optimal.

Adapun Proses pembuatan kulit kakao menjadi abu sampai siap menjadi bahan campuran beton sebagai berikut :

1. Sortir dan cuci

Tujuannya untuk menghilangkan tanah, pasir, sisa pulp, jamur, dan garam larut air sehingga pembakaran lebih bersih, abu tidak ‘asin’/alkalis berlebih (mengurangi risiko *efflorescence* pada beton).

2. Potong dan keringkan

Setelah kulit kakao selesai disortir dan dicuci, langkah berikutnya adalah memotongnya agar mudah kering dan mudah terbakar merata nanti. Ukuran potongan yang pas adalah sekitar 2–5 cm. Ukuran ini tidak terlalu kecil sehingga tidak mudah hilang tertiup angin saat dijemur, dan tidak terlalu besar sehingga bagian dalamnya tetap basah. Potongan yang seragam membuat proses pengeringan lebih cepat dan pembakaran di tungku menjadi lebih rata.

3. Pembakaran

Setelah kulit kakao selesai disortir dan dicuci, langkah berikutnya adalah memotongnya agar mudah kering dan mudah terbakar merata nanti. Ukuran potongan yang pas adalah sekitar 2–5 cm. Ukuran ini tidak terlalu kecil sehingga tidak mudah hilang tertiuip angin saat dijemur, dan tidak terlalu besar sehingga bagian dalamnya tetap basah. Potongan yang seragam membuat proses pengeringan lebih cepat dan pembakaran di tungku menjadi lebih rata.

4. Penghalusan material

Setelah abu benar-benar dingin dan kering, remukkan dulu gumpalan besar supaya ukuran awal seragam. Giling menggunakan mortar/blender isi alat jangan penuh, jalankan 10–15 menit lalu istirahat 5 menit agar tidak panas; ulangi sampai terasa halus. Giling hingga halus. Targetkan tekstur sehalus semen.

Berikut adalah tabel kandungan kimia abu kulit kakao:

Tabel 2. 2 Kandungan Kimia Abu Kulit Kakao

KANDUNGAN	NILAI (%)
SiO ₂	59.42
Al ₂ O ₃	11.10
Fe ₂ O ₃	1.52
CaO	8.42
MgO	5.21
SO ₃	2.08
LOI	5.01

(Sumber : (Olulopep & Ojop, 2020))



Gambar 2. 1 Abu Kulit Kakao
(Sumber : dokumentasi pribadi)

2.9 *superplasticizer*

Superplasticizer adalah bahan tambah kimia yang digunakan dalam campuran beton untuk meningkatkan workability tanpa menambah jumlah air.

Dengan menurunkan rasio air-semen, *superplasticizer* memungkinkan tercapainya beton dengan kuat tekan tinggi dan kepadatan yang baik. Jenis-jenis *superplasticizer* antara lain:

1. Tipe F (*High Range Water Reducer*): Mengurangi penggunaan air hingga 12% atau lebih, meningkatkan *workability* tanpa menambah air.
2. Tipe G (*High Range Water Reducer with Retardation*): Selain mengurangi air, juga memperlambat waktu pengikatan beton, cocok untuk kondisi cuaca panas atau pengecoran dalam waktu lama.
3. *Polycarboxylate Ether (PCE)*: *Superplastisator* generasi ketiga yang memiliki struktur polimer berbentuk sisir yang dapat dimodifikasi untuk memberikan karakteristik berbeda.
4. Tipe E (*Water Reducer Accelerator*): Berfungsi ganda sebagai pengurang air dan pempercepat pengikatan beton.
5. Tipe S (*Specific Performance Admixture*): Aditif kinerja spesifik yang dirancang untuk mempertahankan atau memperpanjang waktu kerja beton tanpa memberikan efek negatif pada waktu pengikatan.
6. Senyawa kimia: Senyawa kimia yang umum digunakan dalam *superplasticizer*, selain *Polycarboxylate Ether (PCE)*, meliputi *kondensat naftalena formaldehida tersulfonasi*, *kondensat melamin formaldehida tersulfonasi*, dan *polimer berbasis PMS*.