

## Studi Terhadap Potensi Campuran Abu Kulit Kakao dan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Pengganti Pasir Silika Terhadap Kekuatan Tekan Bata Ringan

Hadipramana<sup>1</sup>, Delina Nila Sari<sup>1</sup>, Diana Puspita Sari<sup>1</sup>, Rizki Ari Putra<sup>1</sup>, Fetra Venny Riza<sup>1</sup>

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Email : [fetravenny@umsu.ac.id](mailto:fetravenny@umsu.ac.id)

### ABSTRACT

Salah satu bahan penyusun utama bata ringan kategori CLC (Cellular Lightweight Concrete) adalah Silika. Namun proses pembuatan bata ini relatif sangat mahal, karena untuk mendapatkan silika harus menempuh proses produksi tambahan. Dalam penelitian ini, silika digantikan sebagian dengan memanfaatkan limbah kulit kakao yang dijadikan abu (fly ash), dimana abu kulit kakao (AKK) banyak mengandung silika. Untuk mendapatkan hasil yang optimal dari proses hidrasi semen maka AKK dikombinasikan dengan serbuk cangkang telur (SCT) yang banyak mengandung Kalsium Karbonat, sehingga terbentuk material pozzolan. Untuk itu, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki karakteristik kekuatan tekan bata ringan CLC akibat pengaruh penambahan campuran AKK+SCT sebagai alternatif pengganti pasir silika. Sementara eksperimen ini membuat empat variasi campuran yaitu: 0% AKK dan SCT, 10% (5% AKK+5%SCT), 15% (10% AKK+5%SCT) dan 20% (15% AKK+5%SCT). Presentasi pengganti variasi campuran AKK dan SCT adalah terhadap jumlah volume pasir silika. Perbandingan pasir-semen yaitu 1:4 dengan nilai rasio air-semen sebesar 0,6. Kuat tekan didapatkan dengan menggunakan metode uji tekan beton, karena pada prinsipnya bata ringan CLC adalah sama dengan beton CLC. Pengujian kuat tekan dilakukan saat umur bata ringan mencapai 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses bahan pozzolan AKK+SCT mempunyai kombinasi optimum terhadap proses hidrasi semen. Variasi 10% mempunyai nilai maksimum dibandingkan kombinasi lainnya dengan, kekuatannya meningkat sebesar 11.04% dari bata hebel konvensional. Dengan demikian campuran AKK dan SCT mempunyai potensi untuk memberikan kontribusi sebagai bahan alternatif pengganti pasir silika pada bata ringan CLC.

**Kata Kunci:** Bata ringan, CLC, Abu kulit kakao, Serbuk cangkang telur

### 1. PENDAHULUAN

Bata ringan adalah bata berbahan dasar mortar beton yang memiliki berat jenis lebih ringan daripada bata mortar beton pada umumnya. Menurut SNI (2002), mortar beton ringan tidak boleh melebihi berat isi volume maksimum sebesar  $1850 \text{ kg/m}^3$ . Selain ringan, bata ini memiliki kelebihan lain yaitu dapat mencapai kekuatan lebih daripada bata konvensional, tahan terhadap api, mampu meredam suara, dapat menyimpan energi panas, dapat menahan panas dari luar dan tahan terhadap rembesan air (Ghazi Wakili, et. al., 2015; Owsiak, et. al., 2015; Narayanan & Ramamurthy, 2000).

Salah satu jenis bata mortar beton ringan (selanjutnya disebut bata ringan) yang sering dijumpai (Ramamurthy, et. al., 2009), adalah bata ringan CLC (Cellular Lightweight Concrete) yaitu merupakan bata ringan yang mengandung banyak pori udara disebabkan oleh gelembung udara yang ditambahkan pada adonan mortar beton dan melalui proses curing secara alamiah. Umumnya bahan penyusun yang dipakai dalam bata CLC adalah pasir silika, semen, dan air, sementara untuk membuat sel porinya menggunakan busa dari larutan foam agent dan air.

Ditinjau dari segi material, silika merupakan bahan utama pembuatan bata ringan yang banyak tersedia di alam. Namun penggunaan pasir silika pada pembuatan bata

jenis ini harus melalui proses penggilingan hingga ukuran mikro meter sehingga didapat kadar silika murni sebesar  $> 95\%$  [6]. Hal ini menyebabkan harga material pasir silika lebih mahal dan memberikan dampak pada produksi bata ringan.

Oleh sebab itu motivasi penelitian ini adalah menggantikan peran silika dengan material yang lebih ekonomis dan mudah didapatkan, salah satunya yaitu kulit kakao dan cangkang telur. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk meneliti kuantitas serta pengaruh penambahan abu kulit kakao dan serbuk cangkang telur terhadap kualitas kuat tekan yang akan dihasilkan. Menurut data Kementerian Pertanian (2022), Indonesia memproduksi kakao mencapai 706 ribu ton di tahun 2022. Komponen dari buah kakao segar tersebut terdiri atas 3 bagian yaitu kulit buah sekitar 74%, biji kakao sekitar 24% dan placentas sekitar 2% [8]. Pada umumnya produk primer yang dijual dari kakao adalah biji kakao yang merupakan 24% bagian dari buah kakao, sedangkan bagian kulitnya yang merupakan komponen terbesar dari buah kakao pemanfaatannya belum optimal sehingga menjadi limbah kebun dan dapat menjadi masalah lingkungan terutama sumber hama penyakit manusia, hewan dan tanaman. Sedangkan produksi telur di Indonesia mencapai 5.566.339,44 ton di tahun 2022 [9], dimana pemanfaatan limbah cangkang telur belum optimal dan sebagian besar hanya berakhir ditempat sampah.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Knapp & Churchman [8], abu hasil pembakaran kulit kakao mengandung 71% silika dioksida ( $\text{SiO}_2$ ). Silika merupakan bahan utama pembuatan bata jenis CLC. Silika dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) merupakan amorphous material berbentuk bulat (spherical) dan mempunyai ukuran micro hingga nano meter, biasanya ditemukan sejumlah kecil besi, magnesium dan oksida alkali. Silika dioksida atau silika amorf merupakan bahan pozzolan yang sangat reaktif, dan mempunyai tiga peran dalam mekanisme pengerasan beton, yaitu: memadatkan matriks beton karena ukurannya, reaksi dengan kapur bebas (reaksi hidrasi pada semen), dan meningkatkan pengisian transisi antar muka agregat sehingga ikatan antar muka lebih luas (Khan & Siddique, 2011; Hamada et al., 2023; Frýbort et al., 2023).

Sementara itu, kulit telur mengandung 95% kalsium karbonat (CC) yang berpotensi sebagai bahan tambah yang dapat membantu proses hidrasi semen melalui silika. Selain itu didapatkan pula kandungan silika sebesar 0,66% pada cangkang telur [13]. Sementara itu, CC banyak digunakan sebagai komposit dalam semen, sehingga mempengaruhi sifat-sifat fisik komposit tersebut. Penggunaan CC dalam semen sebagai komposit oleh para peneliti digunakan dalam skala yang berbeda-beda [14]. Dalam beberapa peneliti CC digunakan sebagai pengisi (filler) atau bahan campuran untuk tujuan peningkatan karakteristik mekanik beton, terutama kekuatan tekan (compressive strength), bahkan ada digunakan untuk meningkatkan kemampuan kerja beton (slump) pada metode pemadatan sendiri [15]. Sebagai pengisi tambahan atau bahan campuran pada beton, CC cenderung meningkatkan kekuatan dan kepadatan beton [16]. Dengan komposisi yang tepat CC sebagai pengisi akan mengurangi rata-rata penyerapan air pada umur beton 28 hari oleh sebab itu mengurangi penyusutan [17], dan CC mengisi pori-pori dalam beton sehingga beton lebih padat dan meningkatkan kekuatan tekan beton [18].

Ketika CC berada dalam pasta semen mengalami evolusi karbonasi dan terdistribusi dalam pasta semen dengan derajat karbonasi yang berbeda-beda. Kehadiran CC dalam pasta semen menyediakan area nukleasi dan meningkatkan titik kontak reaksi air-semen secara efektif, sehingga mempercepat setting beton dan pengerasan, tanpa kehilangan air (penyusutan) [19].

## 2. MATERIAL DAN METODE

### 2.1. Sampel dan Material

Metode pembuatan sampel benda uji yang merupakan beton ringan CLC (cellular lightweight concrete) dengan perbandingan campuran semen dan pasir sebesar 1:4, nilai Rasio Air-Semen sebesar 0.6, dan rasio perbandingan antara foam agent-air (FA/W) sebesar 1:40. Densitas beton ringan yang dihasilkan adalah  $< 1800 \text{ kg/m}^3$ . Secara keseluruhan komposisi material beton disajikan dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Komposisi variasi sampel beton

No	Variasi (% volume)	SCT (% volume)	AKK (% volume)	Perbandingan Semen:Pasir	Rasio Air:Semen	Rasio Foam Ag:Air
1	0	0	0	1:4	0.6	1:40
2	10	5	5	1:4	0.6	1:40
3	15	5	10	1:4	0.6	1:40
4	20	5	15	1:4	0.6	1:40

Ukuran diameter pasir yang digunakan adalah sesuai dengan SNI 03-1968-1990 yaitu maksimal 4,75 mm.

**Tabel 2.** Karakteristik Pasir, Serbuk Kokoa dan Serbuk Cangkang telur

Parameter	Satuan	Pasir			SCT
		0	1	2	
Berat jenis contoh kering	kg/l		2,47	1,40	1,19
Berat jenis sampel (SSD)	kg/l		2,51	1,52	1,29
Berat jenis contoh semu	kg/l		2,58	1,58	1,32
Penyerapan air	%		1,73	8,18	7,81
Berat volume	gr/cm <sup>3</sup>		1,108	-	-
Kadar Lumpur	%		2,714	-	-
Kadar Air	%		2,24	-	-

Pada pengujian sifat-sifat pasir telah memenuhi persyaratan ASTM [20], bahwa Berat jenis harus memenuhi 1.60 – 3.30. Penyerapan air pada pasir masih dibawah maksimal 4% menurut ASTM [20]. Sesuai ASTM [21], pengujian berat volume pasir yang dilakukan baik dalam metode lepas, metode tusuk maupun metode goyang didapati telah memenuhi spesifikasi yaitu 0,4 – 1,9 gr/cm<sup>3</sup>. Sementara untuk pengujian kadar lumpur telah sesuai dengan ASTM [22] yaitu dibawah maksimal 5% dan batas yang ditetapkan oleh ASTM [22], bahwa hasil yang didapatkan dari pengujian kadar air berada dalam rentang persyaratan, yaitu sebesar 1% - 5%.

### 2.2. Metode Eksperimen

Dalam penelitian ini digunakan metode pre-foaming method dimana semen, pasir dan air dicampur terlebih dahulu, sementara itu di tempat terpisah dibuat larutan busa yang stabil. Selanjutnya setelah campuran mortar semen sudah teraduk rata kemudian larutan busa dimasukan ke dalam campuran mortar dan putar mixer hingga mencapai kepadatan target kurang lebih 1-2 menit. Densitas mortar sebelum dicampur larutan busa adalah kurang lebih 2200 Kg/m<sup>3</sup>. Perlu diperhatikan bahwa densitas campuran mortar setelah di campur larutan busa akan turun dan dijaga agar densitas tetap stabil

sebesar kurang lebih 1800 Kg/m<sup>3</sup>. Namun pemutaran mixer tidak boleh terlalu lama, karena dapat merusak larutan busa.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Scanning Electron Microscope (SEM) dan Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)

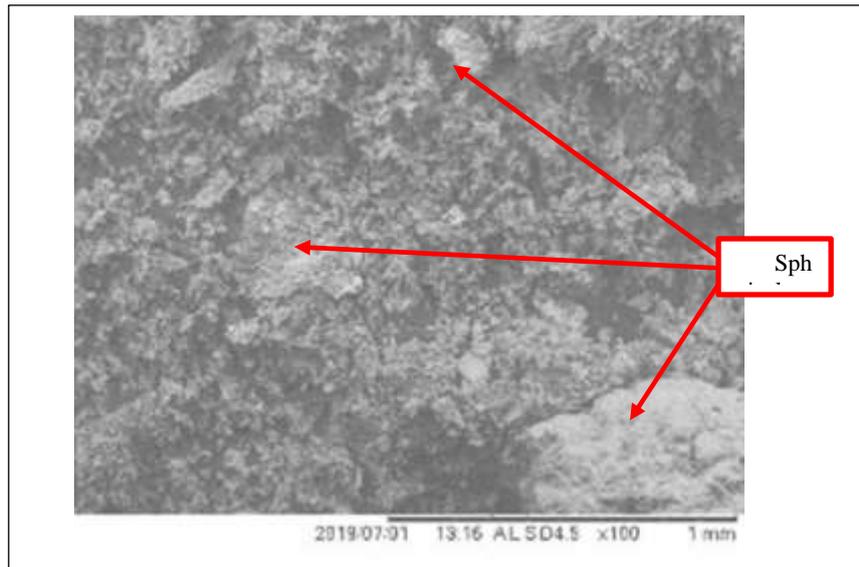
Hasil pengujian EDS pada sampel AKK menunjukkan unsur-unsur dan presentase komposisi kimia yang terkandung di dalam abu kulit kakao seperti ditunjukkan dalam Tabel 3. Hasil pengujian EDS menunjukkan bahwa AKK sangat kaya dengan silika dan oksigen. Hal ini menunjukkan bahwa AKK banyak mengandung silika karbonat, walaupun tercapat unsur lainnya.

Hasil ini sejalan dengan beberapa penelitian menunjukkan bahwa fly ash mengandung beberapa komposisi, unsur-unsur silika, aluminium, ferum, dan oksigen yang dominan, dimana dalam bentuk komposisi kimia SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan unsur lainnya, dimana menunjukkan bahwa kandungan ini berbentuk amorphous dan meningkatkan kekuatan beton [23]. Dari hasil pengujian EDS diperoleh hasil bahwa pada sampel abu kulit kakao terdapat unsur silika sebesar 12,574% dan unsur oksigen sebesar 40,864%. Kedua unsur tersebut merupakan unsur penyusun SiO<sub>2</sub> (silika) dimana apabila terjadi reaksi antara kedua unsur tersebut akan menghasilkan silika dengan persentase sebesar 71%.

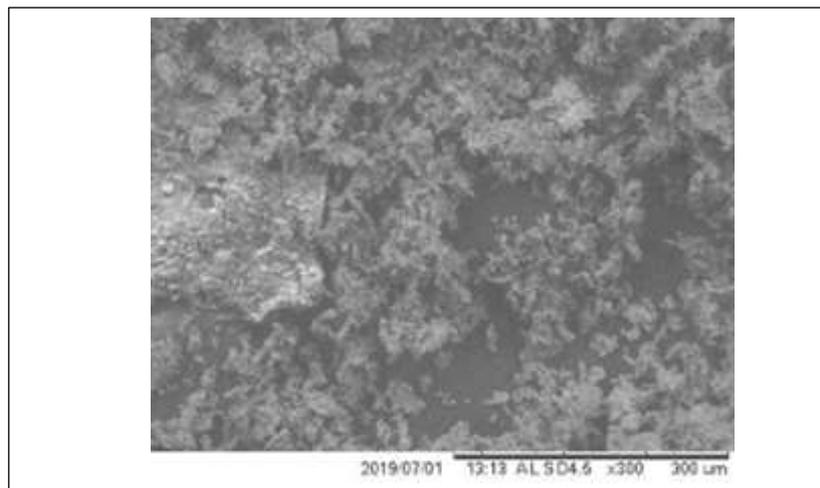
**Tabel 3.** Hasil pengujian EDS menunjukkan komposisi kandungan AKK

Element	Weight %	Weight % $\sigma$	Atomic %
Oxygen	40.864	16.278	62.875
Magnesium	1.254	4.803	1.270
Aluminum	7.933	5.480	7.238
Silicon	12.574	8.025	11.021
Calcium	5.630	7.268	3.458
Manganese	20.037	11.962	8.978
Iron	11.707	10.420	5.160

Gambar 1 menunjukkan bahwa hasil SEM menunjukkan bahwa partikel AKK dengan ukuran 100 kali menunjukkan serbuk berbentuk bulatan (spherical) dengan ukuran mikrometer. Partikel amorphous pada silika oksida akan berbentuk bulat (spherical) [12]. Pada Gambar 2 menunjukkan pembesaran visual 300 kali menunjukkan partikel silika oksida yang berfungsi juga sebagai filler mengisi pori diantara antar muka agregat.



**Gambar 1.** Hasil pembesaran SEM 100 kali pada AKK

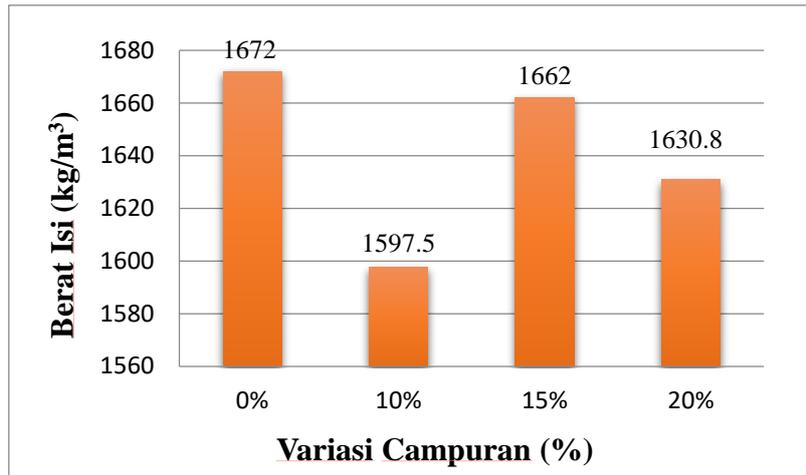


**Gambar 2.** Hasil pembesaran SEM 300 kali pada AKK

### 3.2. Berat Isi (Density)

Berat isi (density) bata ringan adalah perbandingan antara berat bata ringan terhadap berat volumenya. Berat isi rata-rata bata ringan dengan campuran abu kulit kakao dan serbuk cangkang telur dari hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai berat isi (density) bata ringan CLC minimum terdapat pada variasi 10% sebesar  $1597,5 \text{ kg/m}^3$ , sedangkan nilai berat isi maksimum ada pada variasi 0% (normal) sebesar  $1672 \text{ kg/m}^3$ . Dari hasil tersebut, dapat dinyatakan bahwa berat isi (density) pada masing-masing variasi telah memenuhi syarat berat isi menurut SNI (2002) yaitu tidak melebihi dari  $1850 \text{ kg/m}^3$ .



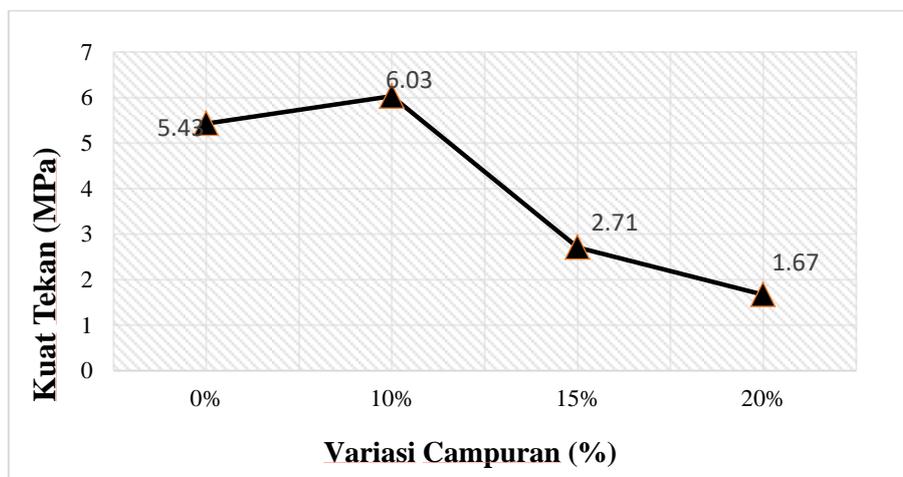
Gambar 3. Diagram hubungan berat isi (*density*) bata ringan CLC dengan variasi penggunaan campuran AKK dan SCT

### 3.3. Kuat Tekan

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa kuat tekan bata ringan CLC dengan variasi 10% lebih besar dari variasi lainnya yaitu sebesar 6,03 MPa. Kuat tekan tersebut telah melampaui kuat tekan bata CLC yang tidak memakai AKK dan SCT (variasi 0%) yaitu sebesar 5,43 MPa.

Peningkatan kuat tekan pada variasi 10% disebabkan adanya proses hidrasi semen yang mampu bereaksi dengan silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang ada, dimana zat kapur ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) yang terkandung pada semen mampu bereaksi secara maksimum dengan silika dan menyebar secara merata dengan persentase yang tepat dalam campuran bata ringan [11].

Sedangkan pada kondisi penambahan campuran abu kulit kakao dan serbuk cangkang telur variasi 15% dan 20% terjadi penurunan kuat tekan bata karakteristik. Hal ini disebabkan karena zat kapur ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) yang terkandung di dalam semen tidak mampu lagi bereaksi dengan silika (mengalami kejenuhan) akibat dari silika yang ditambahkan terlalu banyak, sementara kalsium karbonat dalam SCT tidak mencukupi reaksi pozzolan silika dari AKK (Hamada et al., 2020; Frýbort et al., 2023).



Gambar 4. Diagram hubungan kuat tekan bata ringan CLC dengan variasi campuran AKK dan SCT

#### 4. KESIMPULAN

Meskipun mempunyai berat isi lebih rendah, tetapi nilai kuat tekan optimum bata ringan CLC dengan campuran AKK dan SCT pada umur 28 hari terjadi pada variasi 10% (komposisi 5% AKK dan 5% SCT) besar volume pengganti agregat halus adalah sebesar 6,03 Mpa lebih tinggi 11,04% dari pada bata CLC yang tidak memakai AKK dan SCT. Namun mengalami penurunan ketika komposisi AKK meningkat dengan tidak dibarengi dengan komposisi SCT. Bahkan semakin tinggi pemakaian AKK semakin rendah kekuatan bata CLC. AKK bekerja sebagai filer dan juga sebagai pembantu hidrasi semen. Namun akan optimum bila ditambah dengan kehadiran kalsium karbonat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] T.-03-3449 SNI, "Tata cara rencana pembuatan campuran beton ringan dengan agregat ringan," in Standar, 2002.
- [2] K. Ghazi Wakili, E. Hugi, L. Karvonen, P. Schnewlin, and F. Winnefeld, "Thermal behaviour of autoclaved aerated concrete exposed to fire," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 62, pp. 52–58, 2015, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2015.04.018.
- [3] Z. Owsiak, A. Sołtys, P. Sztąboroski, and M. Mazur, "Properties of autoclaved aerated concrete with halloysite under industrial conditions," *Procedia Eng.*, vol. 108, pp. 214–219, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.06.140.
- [4] N. Narayanan and K. Ramamurthy, "Structure and properties of aerated concrete : a review," vol. 22, pp. 321–329, 2000.
- [5] K. Ramamurthy, E. K. K. Nambiar, and G. I. S. Ranjani, "A classification of studies on properties of foam concrete," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 31, no. 6, pp. 388–396, 2009, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2009.04.006.
- [6] M. P. B. Santoso, Peranan Pasir Kwarsa Dalam Proses Pembuatan Bata Ringan (Autoclaved Aerated Concrete), Ka. Laboratorium PT. Sb Con Pratama. Jalan Semarang Demak KM, 8(2). Jalan Semarang Demak KM, 8(2)., 2015.
- [7] Kementerian Pertanian, Outlook Komoditas Perkebunan Kakao. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian - Sekretariat Jenderal - Kementrian Pertanian Republik Indonesia, 2022.
- [8] W. Sudjatha, I. Permana, and N. I. N. Puspawati, Teknologi pengolahan kakao, no. November. 2015.
- [9] BPS, Badan Pusat Statistik. 2022.
- [10] M. I. Khan and R. Siddique, "Utilization of silica fume in concrete: Review of durability properties," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 57, pp. 30–35, 2011, doi: 10.1016/j.resconrec.2011.09.016.
- [11] H. M. Hamada et al., "Effect of silica fume on the properties of sustainable cement concrete," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 24, pp. 8887–8908, 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.05.147.
- [12] A. Frýbort, J. Štulířová, J. Grošek, and M. Gregerová, "Changes in the chemical composition of silica fume in the concrete composite system," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 18, no. February, 2023, doi: 10.1016/j.cscm.2023.e01916.
- [13] A. Laca, A. Laca, and M. Díaz, "Eggshell waste as catalyst: A review," *J. Environ. Manage.*, vol. 197, pp. 351–359, 2017, doi: 10.1016/j.jenvman.2017.03.088.
- [14] M. Cao, X. Ming, K. He, L. Li, and S. Shen, "Effect of macro-, micro- and nano-calcium carbonate on properties of cementitious composites-A review," *Materials*

- (Basel)., vol. 12, no. 5, 2019, doi: 10.3390/ma12050781.
- [15] W. John, A. O. Oghenekume, and T. L. Zahemen, "The Effect of Calcium Carbonate Filler on Self-Compacting Concrete Using Different Aggregate Sizes," *Eur. J. Eng. Res. Sci.*, vol. 4, no. 9, pp. 9–16, 2019, doi: 10.24018/ejers.2019.4.9.1485.
- [16] P. Promsawat, B. Chatveera, G. Sua-iam, and N. Makul, "Properties of self-compacting concrete prepared with ternary Portland cement-high volume fly ash-calcium carbonate blends," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 13, p. e00426, 2020, doi: 10.1016/j.cscm.2020.e00426.
- [17] P. P. Li, H. J. H. Brouwers, W. Chen, and Q. Yu, "Optimization and characterization of high-volume limestone powder in sustainable ultra-high performance concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 242, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118112.
- [18] P. Lertwattanaruk, G. Sua-iam, and N. Makul, *Effects of calcium carbonate powder on the fresh and hardened properties of self-consolidating concrete incorporating untreated rice husk ash*, vol. 172. Elsevier B.V., 2018. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.336.
- [19] J. Camiletti, A. M. Soliman, and M. L. Nehdi, "Effect of nano-calcium carbonate on early-age properties of ultrahigh-performance concrete," *Mag. Concr. Res.*, vol. 65, no. 5, pp. 297–307, 2013, doi: 10.1680/mac.12.00015.
- [20] ASTM-C-128, *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*, vol. 88, no. October 2001. 2003. doi: 10.1203/01.PDR.0000175640.75468.D6.
- [21] ASTM-C 29/C29M, "Standard Test Method for Bulk Density ( ' Unit Weight ' ) and Voids in Aggregate 1," 1997, pp. 3–6.
- [22] ASTM-C 566 – 97, "Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying 1," vol. i, no. Reapproved, 2004, pp. 3–5.
- [23] Y. K. Cho, S. H. Jung, and Y. C. Choi, "Effects of chemical composition of fly ash on compressive strength of fly ash cement mortar," *Constr. Build. Mater.*, vol. 204, pp. 255–264, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.01.208.
- [24] H. M. Hamada, B. A. Tayeh, A. Al-Attar, F. M. Yahaya, K. Muthusamy, and A. M. Humada, "The present state of the use of eggshell powder in concrete: A review," *J. Build. Eng.*, vol. 32, no. November 2019, p. 101583, 2020, doi: 10.1016/j.job.2020.101583.