

Studi Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Sebagai Substitusi Parsial Semen Pada Campuran Bahan Pembentuk Mortar untuk Pekerjaan Sipil

Abdul Hakim*, Amrullah, Parmo, Agus Budiono

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel, Surabaya

*Koresponden email: abdul.hakim@uinsa.ac.id

Diterima: 15 September 2025

Disetujui: 21 September 2025

Abstract

Some waste has the potential to cause pollution, but there is waste that is useful as a mortar mixture, namely sugar cane bagasse ash (AAT). This study aims to determine the chemical composition of SBA and its suitability as a material for reducing cement content in the mortar formation process. Laboratory tests, including chemical composition tests, XRD, and SEM, were conducted to determine the morphological structure of SBA and mortar. Additionally, physical tests were conducted on the mortar-forming materials to verify whether they met the standards. Furthermore, mortar samples with SBA content of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% SBA content, with dimensions of 5x5x5 cm³, were prepared for compressive strength testing at 7, 14, and 28 days, and with a diameter of 7.5 cm and length of 15 cm for splitting tensile strength and water absorption testing at 28 days. Tensile strength and water absorption tests were conducted at 28 days. The compressive strength test results showed that mortar with 5% SBA content had the highest compressive strength and split tensile strength at 28 days, specifically 22.26 MPa and 4.48 MPa, representing increases of 29.02% and 13.71% from mortar with 0% SBA. Meanwhile, the results of the water absorption test showed that the 5% SBA mortar had the lowest water absorption rate, which was 8.59%.

Keywords: *sugarcane bagasse ash, mortar, compressive strength, split-tensile strength, water absorption*

Abstrak

Sejumlah limbah berpotensi menyebabkan pencemaran namun terdapat limbah yang bermanfaat sebagai campuran pembentuk mortar yaitu Abu Ampas Tebu (AAT). Studi ini bertujuan untuk mengetahui kandungan kimia AAT sebagai bahan reduksi kadar semen pada proses pembentukan mortar. Uji laboratorium dilakukan seperti uji komposisi kimia, XRD dan SEM untuk mengetahui struktur morfologi AAT dan mortar. Selain itu juga dilakukan uji fisik bahan pembentuk mortar untuk mengetahui bahwa material pembentuk mortar telah sesuai standar. Selanjutnya pembuatan sampel mortar kadar AAT 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dengan ukuran 5x5x5 cm³ dilakukan untuk uji kuat tekan mortar pada usia 7, 14 dan 28 hari dan ukuran diameter 7,5 cm Panjang 15 cm untuk uji kuat tarik belah dan daya serap air pada usia 28 hari. Uji kuat Tarik dan daya serap air dilakukan pada usia mortar 28 hari. Hasil uji kuat tekan menunjukkan bahwa mortar dengan kadar AAT 5% memiliki kuat tekan dan kuat tarik belah paling tinggi pada usia 28 hari yakni 22,26 MPa dan 4,48 MPa atau meningkat sebesar 29,02% dan 13,71% dari mortar 0% AAT. Sedangkan hasil pada uji daya serap air, mortar kadar AAT 5% memiliki daya serap air yang paling rendah yaitu sebesar 8,59%.

Kata Kunci: *abu ampas tebu, mortar, kuat tekan, kuat tarik belah, penyerapan air*

1. Pendahuluan

Abu Ampas Tebu (AAT) merupakan limbah hasil proses penggilingan tebu di pabrik gula. Berdasarkan sumber data dari Kementerian Pertanian Republik Indonesia, produksi gula kristal putih di Indonesia tahun 2021 mencapai 2,42 juta ton, yang berasal dari 444,83 ribu hektar lahan perkebunan tebu yang tersebar di beberapa provinsi di Indonesia [1]. Realisasi kenaikan tonase produksi tebu di Indonesia mengalami kenaikan sebesar 3,56 juta ton pada tahun 2023 [2]. Jumlah tersebut hanya mencerminkan sekitar 5 % dari keseluruhan produksi tebu, sedangkan produk sampingan berupa ampas tebu mencakup sekitar 35% - 40% [3]. Dari data tersebut, jumlah produk sampingan berupa ampas tebu yang dari produksi gula kristal putih adalah sekitar 0,847 juta ton dan 1,246 juta ton pada tahun 2021 dan tahun 2023. Limbah ampas tebu saat ini kebanyakan digunakan untuk pakan ternak, bahan tekstil dan pembuatan pulp [4]. Namun, upaya-upaya tersebut belum berjalan secara optimal dalam meningkatkan pemanfaatan limbah

ampas tebu, karena belum mampu memberikan nilai ekonomi yang signifikan dan belum sepenuhnya menyelesaikan permasalahan limbah yang dihasilkan.

Di sisi lain, seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, pembangunan infrastruktur terus mengalami pertumbuhan yang berdampak pada meningkatnya kebutuhan bahan bangunan. Konsumsi sumber daya alam dalam jumlah besar pada industri konstruksi seperti semen, pasir dan agregat batuan menyebabkan sumber daya alam tersebut semakin menipis [5]–[7]. Bahan bangunan yang didapat saat ini cenderung lebih mengeksploitasi alam dengan melakukan penambangan yang memberi dampak pada degradasi lingkungan seperti penggundulan hutan, hilangnya mata air, erosi tanah, sedimentasi dan ekosistem [8], [9]. Secara umum, kegiatan konstruksi serta operasional bangunan mengonsumsi energi dalam jumlah yang sangat besar, dan diperkirakan berkontribusi sekitar 40% dari total emisi karbon dioksida (CO_2) global setiap tahunnya [10]–[12]. Selain itu, bahan bangunan seperti semen dalam pembuatannya menyumbang antara 7-8% dari total emisi CO_2 secara keseluruhan di atmosfer [13], [14]. Oleh karena itu diperlukan bahan bangunan yang ramah lingkungan yang diharapkan dapat meminimalisir terjadinya kerusakan alam.

Abu Ampas Tebu (AAT) sebagaimana abu terbang batu bara (*fly ash*) adalah solusi sebagai bahan dalam pembuatan beton maupun mortar, khususnya untuk mengurangi penggunaan semen dalam campuran tersebut. Namun, belum terdapat kesimpulan yang menyatakan bahwa AAT dapat menggantikan semen secara keseluruhan berdasarkan sejumlah penelitian. AAT sejauh ini hanya berfungsi sebagai substitusi parsial, yaitu sebagai bahan tambahan untuk mengurangi kadar semen dalam campuran beton. AAT memiliki potensi sebagai substitusi parsial semen karena bersifat pozzolan yakni mampu bereaksi dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ketika dicampur dengan air, sehingga membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H) sekunder [15]–[17]. Sifat pozzolan ini berasal dari kandungan silika amorf yang tinggi dalam AAT, yang menjadikannya berkontribusi dalam proses hidrasi dan pembentukan kekuatan pada campuran mortar atau beton [18], [19]. Selain itu, penggunaan AAT sebagai substitusi parsial semen juga mampu mengurangi dampak lingkungan akibat produksi beton yang disebabkan oleh rendah emisi CO_2 dan menghemat penggunaan bahan alam untuk material bangunan [20], [21].

Beberapa penelitian mengenai AAT sebagai pengganti parsial semen untuk campuran beton telah banyak dilakukan. Singh et al., 2020 [22] meneliti komposisi AAT pada campuran beton dengan melakukan variasi komposisi campuran sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran beton dengan komposisi AAT sebesar 10% menghasilkan kuat tekan tertinggi dibandingkan dengan variasi lainnya. Namun, ketika proporsi AAT dalam campuran melebihi 10%, kuat tekan beton cenderung mengalami penurunan. Berbeda dengan Singh et al., 2020, Bayapureddy et al., 2023 [23] mengemukakan bahwa penggantian 15% semen dengan AAT mampu menghasilkan peningkatan kekuatan beton hingga 20% pada umur 56 hari. Studi lain melaporkan bahwa penggantian 5% semen dengan AAT menghasilkan kuat tekan tertinggi [24].

Tingkat substitusi AAT yang optimal bervariasi dari beberapa penelitian terdahulu, secara umum berkisar antara 5% sampai dengan 20%. Sebagai contoh, Batool et al., 2020 [25] menemukan bahwa penggantian semen sebesar 10% dengan AAT merupakan komposisi optimal untuk memperoleh kekuatan tekan, lentur, dan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton konvensional. Lebih lanjut, Subhani et al., 2024 [26] melaporkan bahwa beton biner dengan substitusi 20% Sugarcane Bagasse Ash (SCBA) menunjukkan peningkatan kuat tekan sebesar 10–20% dibandingkan dengan beton referensi. Namun demikian, penggunaan AAT dalam jumlah yang lebih tinggi, yaitu di atas 20%, cenderung menyebabkan penurunan kekuatan mekanik. Hal ini disebabkan oleh rendahnya kandungan natrium, yang berpengaruh terhadap reaksi pozzolan dan pembentukan ikatan struktur mikroskopis beton [27], [28].

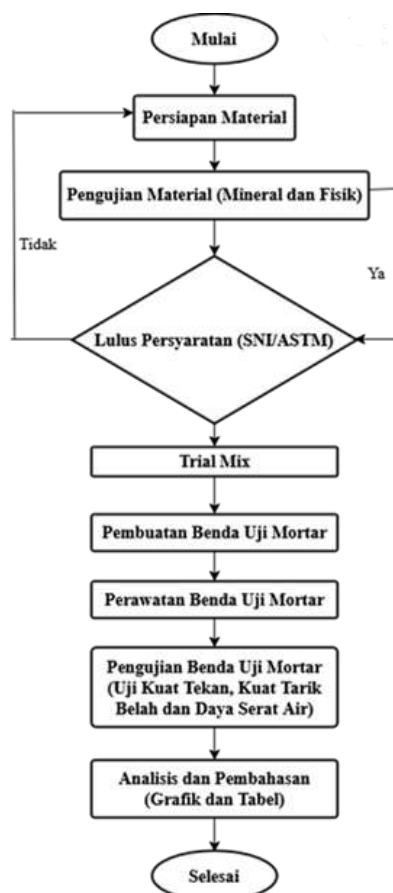
Penelitian-penelitian terdahulu lebih menitikberatkan pada penggunaan AAT sebagai bahan pengganti parsial semen pada beton untuk menghasilkan kuat tekan beton yang optimal. Namun, studi mengenai pemanfaatan AAT untuk pengganti parsial semen pada mortar masih relatif terbatas. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini berupaya untuk memanfaatkan AAT sebagai bahan substitusi parsial pada mortar yang diharapkan dapat menjadi alternatif material dalam pekerjaan sipil non-struktural, seperti bahan pembuatan bata, genteng, paving stone dan sejenisnya. Pengujian pada AAT dalam penelitian ini mencakup mineralogi dan mikrostruktur yang dilakukan menggunakan metode *X-ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Kemudian untuk mendapatkan campuran yang optimal, dilakukan pengujian karakteristik material antara lain uji gradasi, berat jenis, kadar air dan kadar lumpur pada agregat halus, serta pengujian berat jenis semen. Lebih lanjut, untuk menilai performa mortar yang dihasilkan, dilakukan pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan penyerapan air pada sampel mortar.

2. Metode penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada studi ini adalah metode eksperimental dengan langkah-langkah sebagai berikut, yaitu mempersiapkan material AAT, melakukan uji karakteristik mineral dan fisik material AAT, uji properties raw material, *trial mix* mortar, membuat benda uji mortar, *curing* benda uji mortar, dan yang terakhir melakukan pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah mortar. Gambar 1 menyajikan bagan alir tahapan penelitian. Adapun teknik pengumpulan data dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

Tahap persiapan

Mempersiapkan kebutuhan material dan alat-alat yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji mortar AAT. Sampel AAT diperoleh dari Pabrik Gula yang berada di Kabupaten Malang, Jawa Timur. Material Semen Portland Pozzolan Cement (PPC) yang dipakai pada penelitian merupakan produksi Semen Indonesia yang tersedia dipasaran. Material pasir menggunakan pasir hitam Lumajang. Sementara itu alat-alat yang digunakan untuk pembuatan benda uji meliputi: wadah *mix*, *moulding*, pengaduk atau spatula, besi baja penumbuk mortar, palu karet, dan cetok.



Gambar 1. Alur Kerja Tahapan Penelitian
Sumber: Analisis peneliti (2025)

Tahap pengujian material

Sebelum dilakukan pencampuran (*mix*) untuk pembuatan benda uji mortar, tahapan pengujian material pada studi ini antara lain sebagai berikut:

- Pengujian AAT, meliputi: pengujian komposisi kimia AAT, analisis *X-ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).
- Pasir, meliputi: pengujian gradasi pasir, modulus kehalusan (*fineness modulus*), uji berat jenis, uji berat volume, uji penyerapan air, dan uji kadar lumpur.
- Semen, meliputi: uji berat jenis dan uji berat volume.

Tahap pembuatan benda uji mortar AAT

Benda uji mortar terdiri dari 2 (dua) jenis, yakni benda uji kubus ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$, dan benda uji silinder ukuran diameter 7,5 cm dan panjang 15 cm. Rasio campuran AAT terhadap semen adalah 0% (kontrol), 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Proporsi masing-masing material untuk campuran mortar AAT ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Proporsi campuran mortar AAT

Kode Uji	Semen (kg/m ³)	AAT (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Air (ltr/m ³)	Rasio Air/Binder
M.0	666	0	1833	322	0,48
M.5	663	33	1833	322	0,48
M.10	600	66	1833	322	0,48
M.15	566	100	1833	322	0,48
M.20	533	133	1833	322	0,48
M.25	500	166	1833	322	0,48

Sumber: Analisis peneliti (2025)

Tahapan pembuatan mortar AAT adalah sebagai berikut:

- Timbang semua material untuk membuat sampel mortar AAT;
- Masukkan pasir kedalam wadah pencampur terlebih dahulu, tambahkan dengan material AAT sesuai variasi takaran kemudian diaduk selama 4 menit sampai merata;
- Masukkan semen sesuai takaran kedalam campuran pasir dan AAT, aduk sampai merata sekitar 2 menit ;
- Tambahkan air sedikit demi sedikit dan lakukan pengadukan, selama 2 menit, sampai semua takaran air tercampur dengan campuran AAT, pasir dan semen untuk membuat adonan mortar;
- Lakukan tes *workability* untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan pembuatan mortar;
- Cetak campuran mortar kedalam cetakan kubus ($5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$) dan cetakan silinder (diameter 7,5 cm Panjang 15 cm), kemudian lakukan pemadatan dan bentuk permukaan permukaan dengan baik dan rata;
- Lepaskan mortar dari cetakan setelah umur 3 hari, kemudian lakukan *curing* pada suhu ruangan $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ dan kelembaban relatif $80 \pm 5 \%$ sebelum benda uji siap untuk dilakukan uji tekan dan uji tarik belah.

Benda uji kubus untuk masing-masing variasi campuran sebanyak 12 buah (uji kuat tekan dan uji daya serap air), dan benda uji silinder sebanyak 6 buah (uji kuat tarik belah). Benda uji kubus dipergunakan untuk pengujian kuat tekan dengan umur pengujian 7 hari, 14 hari, dan 28 hari, sedangkan benda uji silinder dipakai untuk pengujian kuat tarik belah dan daya serap air pada umur mortar 28 hari. **Tabel 2** menunjukkan umur pengujian, tipe pengujian dan jumlah benda uji untuk masing-masing variasi campuran.

Tabel 2. Jumlah masing-masing variasi sampel terhadap jenis dan umur pengujian

Kode Uji	Uji Kuat Tekan (umur pengujian)			Uji Kuat Tarik Belah (umur pengujian)	Uji Daya Serap Air (umur pengujian)
	7 hari	14 hari	28 hari	28 hari	28 hari
M.0	3	3	3	3	3
M.5	3	3	3	3	3
M.10	3	3	3	3	3
M.15	3	3	3	3	3
M.20	3	3	3	3	3
M.25	3	3	3	3	3

Sumber: Analisis peneliti (2025)

Uji kuat tekan mortar AAT

Pengujian kuat tekan (*compressive strength*) mortar AAT dilakukan saat mortar berumur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Uji kuat tekan benda uji kubus dilakukan berdasarkan standar [30]. **Gambar 2a** menunjukkan set up pengujian tekan mortar AAT.

Uji kuat tarik belah mortar AAT

Pengujian kuat tarik belah (*split-tensile strength*) mortar AAT dilakukan saat mortar berumur 28 hari menggunakan alat UTM. Uji kuat tarik belah sampel silinder dilakukan berdasarkan standar [31]. **Gambar 2b** menunjukkan set up pengujian kuat tarik belah mortar AAT.

Uji daya serap air mortar AAT

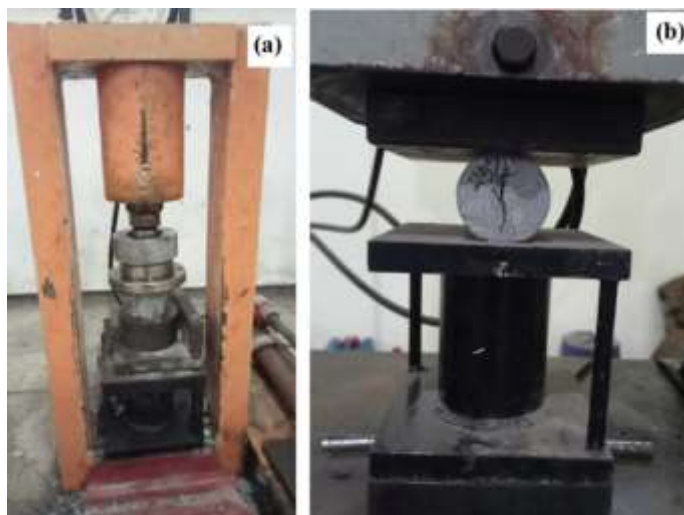
Peng`ujian daya serap air mortar AAT dilakukan pada benda uji mortar AAT saat berumur 28 hari. Daya serap air mortar AAT diukur dengan membandingkan berat kering sampel dengan berat mortar dalam kondisi SSD selama batas waktu perendaman yang telah ditentukan (dalam penelitian ini perendaman dilakukan selama 7 hari). Nilai daya serap benda uji mortar AAT dirumuskan dengan menggunakan persamaan:

$$R = \frac{W_{SSD} - W_k}{W_k} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana: R : Nilai daya serap air pada sampel mortar (%)

W_{SSD} : Berat mortar dalam kondisi SSD (gr)

W_k : Berat mortar dalam kondisi kering (gr)



Gambar 2. Set up (a) uji kuat tekan, dan (b) kuat tarik belah mortar AAT

3. Hasil dan pembahasan

Uji mineral abu ampas tebu

Uji mineral dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung di dalam Abu Ampas Tebu (AAT). Uji komposisi kimia dilakukan dengan metode XRF (*X-Rays Fluorescence*). Hasil uji komposisi kimia disajikan pada **Tabel 3** di bawah ini:

Tabel 3 Tabel Komposisi Kimia Abu Ampas Tebu (AAT)

Komposisi Kimia	Hasil Uji, %		
	Sampel A	Sampel B	Rata-rata
Silikon Dioksida, SiO ₂	64,26 ± 0,48	63,98 ± 0,47	64,12
Besi (III) Oksida, Fe ₂ O ₃	3,25 ± 0,14	3,09 ± 0,14	3,17
Aluminium Oksida, Al ₂ O ₃	4,07 ± 0,04	3,91 ± 0,04	3,99
Kalsium Oksida, CaO	6,47 ± 0,07	6,96 ± 0,07	6,72
Magnesium Oksida, MgO	1,11 ± 0,04	1,08 ± 0,04	1,10
Belerang Trioksida, SO ₃	0,31 ± 0,04	0,32 ± 0,04	0,32
Hilang pada pemijaran	24,55 ± 0,52	23,97 ± 0,51	24,26
Titanium Dioksida, TiO ₂	0,212 ± 0,005	0,209 ± 0,005	0,211
Fosfor Pentaoksida, P ₂ O ₅	0,919 ± 0,449	0,949 ± 0,463	0,934
Mangan Trioksida, Mn ₂ O ₃	0,163 ± 0,010	0,168 ± 0,010	0,166
Kromium Trioksida, Cr ₂ O ₃	0,007 ± 0,002	0,006 ± 0,001	0,007
Alkali sebagai (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O)	0,46 ± 0,07	0,42 ± 0,07	0,44
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	71,58 ± 0,50	70,98 ± 0,49	71,28

Sumber: Analisis peneliti (2025)

Dari hasil uji komposisi kimia yang tersaji pada **Tabel 3** di atas dapat dibandingkan dengan kandungan komposisi kimia pada semen seperti **Tabel 4** sebagai berikut :

Tabel 4. Perbandingan Komposisi Kimia Abu Ampas Tebu (AAT) dengan Semen

Komposisi Kimia	Semen (%)	AAT (%)
Silikon dioksida, SiO ₂	22	64,12
Besi (III) Oksida, Fe ₂ O ₃	2,5	3,17
Aluminium Oksida, Al ₂ O ₃	6	3,99
Kalsium Oksida, CaO	63	6,72
Magnesium Oksida, MgO	2,6	1,1
Belerang Trioksida, SO ₃	2,0	0,32
Alkali sebagai (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O)	1,4	0,44

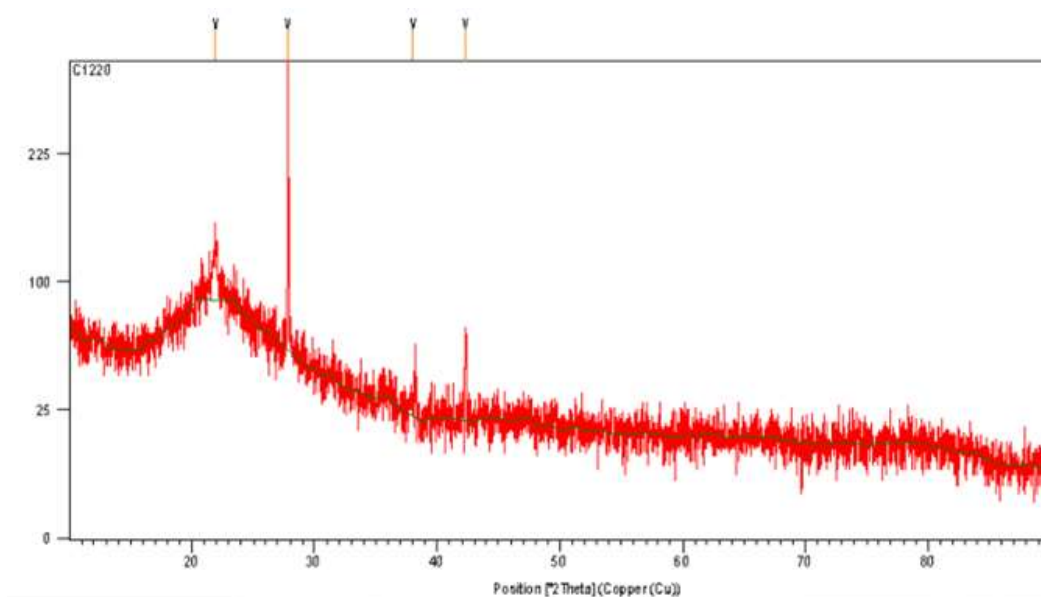
Sumber: Analisis peneliti (2025)

Dari **Tabel 4** di atas dapat ditunjukkan bahwa komposisi kimia antara semen dengan AAT secara keseluruhan memiliki prosentasi yang hampir sama, tetapi ada 2 (dua) komposisi kimia yang jauh berbeda yaitu pada kandungan Silikondioksida (SiO₂) dan pada kandungan Kalsium Oksida (CaO). Semen memiliki kandungan CaO lebih tinggi yaitu 63% daripada AAT yaitu 6,72%. Kemudian AAT memiliki kandungan SiO₂ lebih tinggi yaitu 64,12% daripada semen yaitu 22%.

Semen Portland terbentuk dari serbuk halus yang komposisi utamanya adalah kalsium dan alumunium silikat. Penambahan pada mineral tersebut akan menghasilkan pasta yang pada saat mengering akan memiliki kekuatan seperti batu. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa peranan semen dalam pembentukan mortar maupun beton menjadi keras seperti batu adalah kandungan kalsiumnya. Sementara AAT memiliki kandungan kalsium yang cukup rendah. Hal inilah yang membedakan peranan utama antara semen dan AAT dalam pembentukan mortar maupun beton, sementara itu, AAT memiliki kandungan silikat yang lebih tinggi yang memungkinkan berperan dalam pembentukan mortar.

Analisis XRD AAT

Analisis mikro struktur pada material AAT seperti ditunjukkan oleh grafik sebagaimana pada **Gambar 3**. Perekaman pada pelaksanaan XRD dengan sudut 2θ dan pada rentang sudut 10° s.d. 90°. Sebagaimana dalam uji XRD bahwa hasil pengamatan unsur silika menempati porsi yang paling tinggi yaitu pada posisi 27,91°, hal ini sama dengan pengamatan difraksi atom AAT hasil pengamatan dari Prabhath et al., 2023 [32].

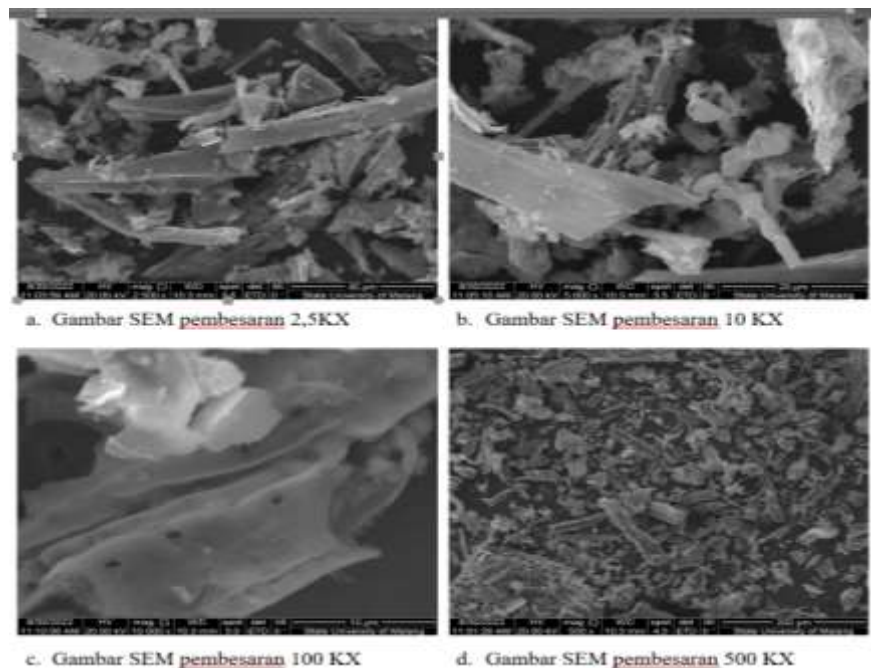


Gambar 3. Analisis XRD Abu Ampas Tebu (AAT)

Analisis SEM AAT

Analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan dengan menscan permukaan sampel dengan menggunakan alat SEM dengan tujuan untuk mendapatkan hasil gambar permukaan AAT. Gambar

AAT bermacam-macam berdasar pada pembesaran (500,00 KX, 100,00 KX, 10,00 KX dan 2,50 KX) sebagaimana ditunjukkan **Gambar 4** di bawah ini.

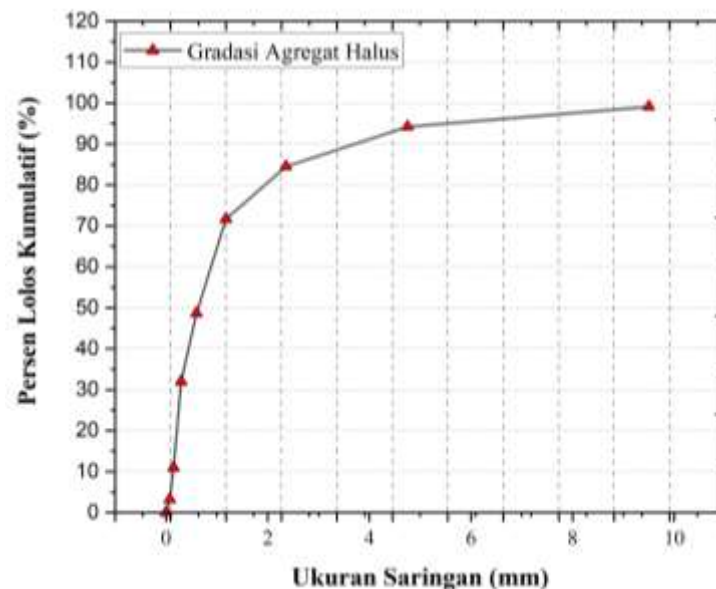


Gambar 4. Analisis SEM Abu Ampas Tebu (AAT)

Menurut Prabhat et al., 2023 [32] menyatakan bahwa permukaan AAT berserat alami, berbentuk tetrahedral (prisma), berkarakter seperti kristal sebagaimana terlihat mineral kuarsa pada silika.

Pengujian pasir dan semen

Dalam pembentukan mortar diperlukan campuran material antara pasir, semen, bahan ATT dan air dengan kadar campuran tertentu dengan melakukan *trial mix* untuk mendapatkan target kuat tekan yang diharapkan. Grafik persen lolos kumulatif terhadap saringan ditunjukkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Grafik hasil uji gradasi agregat halus

Gradasi adalah tingkat ukuran butiran pada agregat baik agregat kasar maupun agregat halus. Gradasi pada beton terdapat tiga macam yaitu gradasi menerus, seragam dan gradasi sela. Gradasi yang diharapkan pada beton adalah gradasi menerus karena dengan ukuran butiran yang tidak seragam diharapkan antar butiran akan saling mengunci dan mengurangi ruang pori. **Tabel 5** menunjukkan hasil uji gradasi dan persyaratan prosentase jumlah butir lolos sesuai ASTM C33/C33M-23 [33]. Dari hasil pengujian gradasi

pasir prosentase jumlah butir lolos telah mamenuhi syarat, sedikit dibawah persyaratan untuk ukuran saringan diameter 5,5 mm dan 4,75 mm namun tidak terlalu signifikan.

Tabel 5. Persyaratan gradasi agregat halus

Ukuran Diameter Saringan (mm)	Jumlah Butir Lolos (%)	Prosentase Lolos (%) sesuai ASTM C33/C33M-23
9,5	99,132	100
4,75	94,226	95 - 100
2,36	84,513	80 - 100
1,18	71,696	50 - 85
0,6	48,665	25 - 60
0,3	31,976	5 - 30
0,15	10,981	0 - 10
0,075	3,238	0 - 3

Sumber: Analisis peneliti (2025)

Berat jenis dan penyerapan air pasir diuji berdasarkan ASTM C128-22 [34] diperoleh nilai 2,38 g/cm³ dan 1,35%. Pengujian kadar air diperoleh nilai 0,78%. Dalam ASTM C33/C33M-23 bahwa tingkat ukuran butiran agregat didasarkan pada modulus kehalusan yang diuji secara periodik dengan nilai modulus kehalusan tidak boleh kurang dari 2,3 dan tidak boleh lebih dari 3.1 (Pasal 6.2). Secara lebih detail hasil uji agregat halus (pasir Lumajang) yang dipakai pada penelitian ini meliputi: uji berat jenis, kadar air, modulus kehalusan, dan berat volume, ditunjukkan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil agregat halus (pasir): uji berat jenis, kadar air, modulus kehalusan dan berat volume, dan semen: uji berat jenis dan berat volume

Material	Jenis pengujian	Hasil Uji	Standar pengujian	Keterangan
Pasir	Berat Jenis (g/cm ³)	2,38	ASTM C128-22 [34]	Memenuhi
	Penyerapan (%)	1,35	ASTM C128-22 [34]	Memenuhi
	Kadar Air (%)	0,78	ASTM C566-19 [35]	Memenuhi
	Modulus Kehalusan	3,05	ASTM C33/C33M-23 [33]	Memenuhi
	Berat Volume (g/cm ³)	1,70	ASTM C29/C29M-23 [36]	Memenuhi
	Kadar Lumpur (%)	1,34	ASTM C117-23 [37]	Memenuhi
Semen	Berat Jenis (g/cm ³)	3,07	ASTM C188-17 [38]	Memenuhi
	Berat Volume (g/cm ³)	1,13	ASTM C29/C29M-23 [36]	Memenuhi

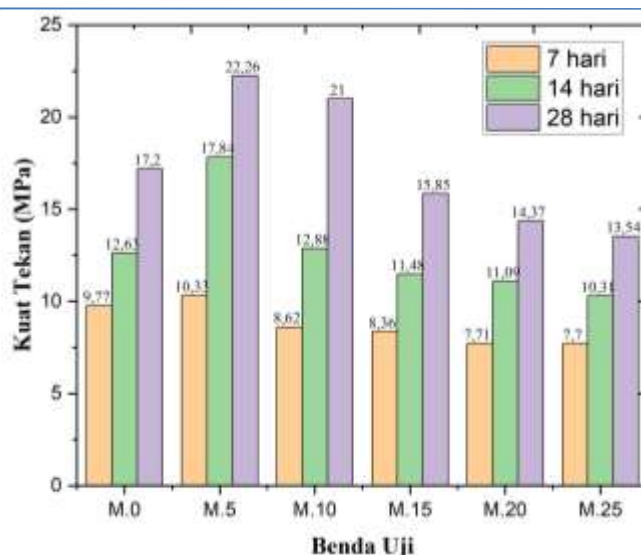
Sumber: Analisis peneliti (2025)

Hasil uji kuat tekan mortar

Uji kuat tekan (*Compressive Strength Test*) dilakukan untuk mengetahui kualitas mortar desain sesuai target yang diinginkan. Dalam hal ini uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kuat tekan mortar dengan kadar AAT yang berbeda-beda yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Sedangkan usia pengujian kuat tekan sampel mortar yaitu pada usia mortar 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. **Gambar 6** menunjukkan hasil uji kuat tekan mortar AAT.

Secara umum kuat tekan mortar meningkat seiring bertambahnya umur baik pada benda uji kontrol (tanpa AAT) dan mortar dengan penambahan AAT, hal ini dapat dibuktikan dengan bertambahnya nilai kuat tekan mortar AAT dari umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Proses hidrasi mortar masih menunjukkan nilai peningkatan sampai dengan umur 28 hari, sehingga pembentukan senyawa C-S-H semakin padat dan berdampak pada peningkatan nilai kuat tekan mortar.

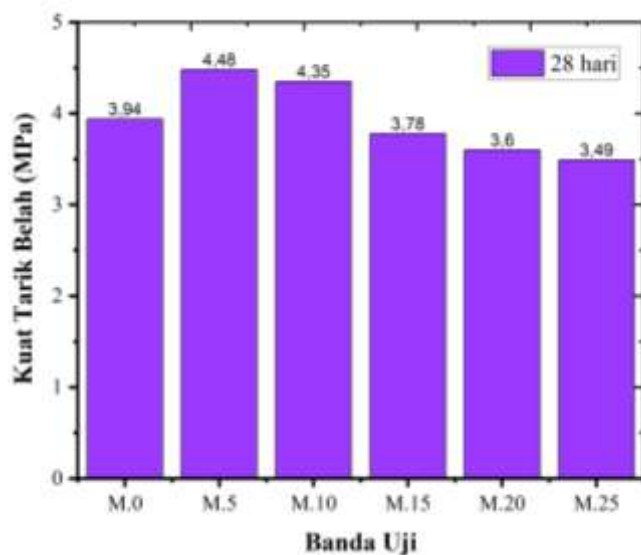
Pemanfaatan AAT sebagai bahan pengganti parsial mortar efektif pada prosentase 5 % dan 10 %. Hal ini dibuktikan dengan nilai kuat tekan yang meningkat sebesar 29,42% dan 22,09% dari benda uji tanpa AAT. Prosentase maksimal pada benda uji dengan penambahan AAT sebesar 5% dengan kuat tekan maksimum sebesar 22,26 MPa pada umur 28 hari. Kemudian kuat tekan mortar secara kontinyu mengalami penurunan nilai kuat tekan. Kondisi ini dapat dijelaskan dengan semakin besarnya proporsi AAT menggantikan semen telah mengurangi senyawa aktif pada proses hidrasi. Hal ini disebabkan karena AAT lebih berperan sebagai filler dibandingkan sebagai pengikat dan sifat pozzolanik AAT belum sepenuhnya bereaksi.



Gambar 6. Hasil uji kuat tekan mortar AAT umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

Hasil uji kuat tarik belah mortar

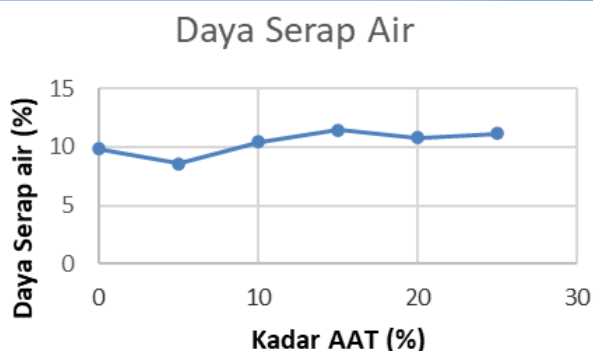
Gambar 7 menunjukkan hasil uji kuat tarik belah mortar AAT pada umur sampel 28 hari. Hasil menunjukkan bahwa kuat tarik belah maksimum mortar AAT sebesar 4,48 MPa dengan campuran AAT sebagai pengganti parsial semen sebesar 5%. Kemudian diikuti dengan mortar AAT 10% dengan nilai kuat tarik belah sebesar 4,35%. Peningkatan nilai kuat tarik belah AAT 5% dan 10% adalah sebesar 13,71% dan 10,41% dibandingkan dengan kuat tarik belah benda uji control M.0 (3,94 MPa). Jika dibandingkan dengan mortar M.0 kuat tarik belah diatas 10% mengalami penurunan (pada penambahan AAT sebesar 15%, 20% dan 25%). Hal ini disebabkan karena meningkatnya substitusi material AAT yang secara reaktif lebih rendah daripada semen sehingga ikatan antar partikel menjadi lebih lemah dan mortar AAT lebih mudah mengalami retak tarik.



Gambar 7. Hasil uji kuat tarik nelah mortar AAT umur 28 hari.

Hasil uji daya serap air mortar AAT

Gambar 8 menunjukkan grafik hasil uji daya serap air (*water absorption*) mortar AAT pada umur sampel 28 hari. Uji daya serap air dilakukan untuk mengetahui pengaruh daya serap air terhadap kuat tekan mortar apakah semakin tinggi kuat tekannya atau sebaliknya dengan daya serap air yang tinggi akan berkurang kuat tekannya.



Gambar 8. Grafik hasil uji daya serap air mortar AAT umur 28 hari

Dari **Gambar 8** dapat dijelaskan bahwa daya serap mortar pada usia 28 hari dengan komposisi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% AAT memiliki daya serap rata-rata secara berurutan yaitu 9,823 %, 8,594 %, 10,434 %, 11,478 %, 10,805 %, 11,153%.

Hasil uji di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi daya serap air mortar maka semakin rendahnya kuat tekan mortar. Hal ini disebabkan ada perbedaan karakter antara semen dengan AAT. Semen memiliki modulus kehalusan dan sifat hidrasi yang lebih besar daripada AAT sehingga mortar dengan kandungan AAT yang lebih banyak cenderung memiliki pori yang lebih besar. Sebaliknya semen dengan sifat yang lebih halus memiliki peranan dalam mortar yaitu menutup pori sehingga air tidak mudah masuk namun cenderung bereaksi dengan semen dalam proses hidrasi

4. Kesimpulan

- a. Perekaman pada pelaksanaan XRD dengan sudut 2θ dan pada rentang sudut 10° s.d. 90° . Sebagaimana dalam uji XRD bahwa hasil pengamatan unsur silika menempati porsi yang paling tinggi yaitu pada posisi $27,91^\circ$. Sementara itu, analisis SEM didapatkan gambarkan permukaan AAT berserat alami, berbentuk tetrahedral (prisma), berkarakter seperti kristal sebagaimana terlihat mineral kuarsa pada silika.
- b. Hasil pengujian gradasi pasir menunjukkan prosentase jumlah butir lolos saringan sesuai dengan ASTM C33/C33M-23. Pengujian lainnya terhadap pasir didapatkan nilai berat jenis $2,38 \text{ g/cm}^3$, penyerapan air 1,35%, kadar air 0,78%, modulus kehalusan 3,05, berat volume $1,70 \text{ g/cm}^3$, dan kadar lumpur 1,34%. Sementara itu, pengujian berat jenis dan berat volume semen didapatkan nilai $3,07 \text{ g/cm}^3$ dan $1,13 \text{ g/cm}^3$.
- c. Kuat tekan mortar AAT meningkat seiring dengan bertambahnya umur, pengujian pada umur 28 hari didapatkan kuat tekan tertinggi dibandingkan umur 7 hari dan 14 hari. Peningkatan kuat tekan terjadi pada mortar AAT dengan prosentase penambahan parsial 5% dan 10% jika dibandingkan dengan mortar kontrol (0% AAT), kemudian kuat tekan mengalami penurunan dengan bertambahnya material AAT (pada penambahan $>10\%$). Prosentase peningkatan kuat tekan sebesar 29,42% dan 22,09% untuk mortar AAT 5% dan 10% dibandingkan dengan mortar kontrol.
- d. Hasil uji kuat tarik belah mortar AAT dengan penambahan 5% meningkat sebesar 13,71% dan dengan penambahan 10% AAT meningkat sebesar 10,41% jika dibandingkan dengan mortar tanpa penambahan parsial AAT. Sama halnya dengan kuat tekan, penambahan material AAT lebih dari 10% mengalami penurunan nilai kuat tarik belah mortar AAT.
- e. Pada umur 28 hari, daya serap air mortar AAT dengan komposisi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% AAT adalah sebesar 9,823 %, 8,594 %, 10,434 %, 11,478 %, 10,805 %, 11,153%.
- f. Hasil dari pengujian-pengujian terhadap material AAT dan mortar AAT tersebut dapat dijadikan sebagai acuan bagi peneliti maupun praktisi yang bergerak dalam bidang konstruksi pekerjaan sipil. Pengembangan penelitian material AAT juga dapat dilakukan dikemudian hari oleh peneliti, sehingga didapatkan hasil yang optimal terutama pada peningkatan daya ikat (*pozzolanic*) material AAT dengan treatment tertentu.

5. Daftar Pustaka

- [1] R. Darmawan, A. A. Susanti, R. K. Putra, and E. Respati, "Outlook Komoditas Perkebunan Tebu," *Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal , Kementerian Pertanian*. pp. 1–94, 2022.

- [2] I. Food, "Sinergi Untuk Nusantara-Laporan Keberlanjutan 2023," PT. Rajawali Nusantara Indonesia (Persero), Jakarta, 2023.
- [3] A. A. Sulaiman *et al.*, *Menjaring Investasi Meraih Swasembada Gula*. Jakarta: IAARD Press, 2018.
- [4] A. S. Pradana, S. Bahri, A. Muarif, N. Sylvia, and Sulhatun, "Pemanfaatan ampas tebu untuk pembuatan pulp," *Chem. Eng. J. Storage*, vol. 4, no. 6, pp. 813–824, 2024.
- [5] Kumar, Leevesh, et al. "Effect of fly ash and sand stone slurry on mechanical properties of concrete materials." *Materials Today: Proceedings* 45 (2021): 2878-2882.
- [6] G. J. Treloar, H. Gupta, P. E. D. Love, and B. Nguyen, "An analysis of factors influencing waste minimisation and use of recycled materials for the construction of residential buildings," *Manag. Environ. Qual. An Int. J.*, vol. 14, no. 1, pp. 134–145, 2003, doi: 10.1108/14777830310460432.
- [7] Z. Yu, A. Nurdiawati, Q. Kanwal, M. M. Al-Humaiqani, and S. G. Al-Ghamdi, "Assessing and mitigating environmental impacts of construction materials: Insights from environmental product declarations," *J. Build. Eng.*, vol. 98, 2024, doi: 10.1016/j.jobbe.2024.110929.
- [8] Makkasau, A. R., D. Malamassam, and A. Umar. "Mapping of environmental supporting capacity based on ecosystem services in Wajo Regency 2021." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 870. No. 1. IOP Publishing, 2021.
- [9] Olago, Daniel O., and Eric O. Odada. "Sediment impacts in Africa's transboundary lake/river basins: Case study of the East African Great Lakes." *Aquatic Ecosystem Health & Management* 10.1 (2007): 23-32.
- [10] Mannan, Mehzabeen, and Sami G. Al-Ghamdi. "Building for climate change: examining the environmental impacts of the built environment." *Sustainable Cities in a Changing Climate: Enhancing Urban Resilience* (2023): 39-59.
- [11] M. M. Sesana and P. Dell'Oro, "Sustainability and Resilience Assessment Methods: A Literature Review to Support the Decarbonization Target for the Construction Sector," *Energies*, vol. 17, no. 6, 2024, doi: 10.3390/en17061440.
- [12] Omar, Osama. "Navigating Nearly Zero-Energy Strategies for Urban Climate Change Adaptation and Mitigation." *Urban Climate and Urban Design*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025. 101-116.
- [13] S. Sarfraz *et al.*, "Potentials for Energy Savings and Carbon Dioxide Emissions Reduction in Cement Industry BT - Sustainable Manufacturing as a Driver for Growth," H. Kohl, G. Seliger, F. Dietrich, and S. Mur, Eds., Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, pp. 765–773.
- [14] N. T. T. Phuong and H. T. H. Ngat, "Research on the Production of Low-Cement Concrete Aims to Achieve Sustainable and Economically Circular Development BT - Proceedings of the International Conference on Building Materials (ICBM 2024) 31 October – 03 November, Hanoi, Vietnam," R. Siddique, M. Soutsos, J. Li, T.-P. Huynh, and T. Ngo, Eds., Singapore: Springer Nature Singapore, 2025, pp. 97–111.
- [15] P. Zhang, W. Liao, A. Kumar, Q. Zhang, and H. Ma, "Characterization of sugarcane bagasse ash as a potential supplementary cementitious material: Comparison with coal combustion fly ash," *J. Clean. Prod.*, vol. 277, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123834.
- [16] C. K. Gupta, A. K. Sachan, and R. Kumar, "Utilization of sugarcane bagasse ash in mortar and concrete: A review," in *Materials Today: Proceedings*, Research Scholar, Motilal Nehru National Institute of Technology, Allahabad, 211004, India: Elsevier Ltd, 2022, pp. 798–807. doi: 10.1016/j.matpr.2022.03.304.
- [17] A. Bahurudeen, D. Kanraj, V. Gokul Dev, and M. Santhanam, "Performance evaluation of sugarcane bagasse ash blended cement in concrete," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 59, pp. 77–88, 2015, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2015.03.004.
- [18] A. Tripathy and P. K. Acharya, "Characteristics of Sugarcane Bagasse Ash as a Pozzolanic Material—A Report on Present Knowledge," in *Lecture Notes in Civil Engineering*, D. B.B., G. C.P., and M. B.G., Eds., School of Civil Engineering, KIIT DU, Odisha, Bhubaneswar, India: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2022, pp. 463–479. doi: 10.1007/978-981-16-8433-3_40.
- [19] G. C. Cordeiro, R. D. Toledo Filho, L. M. Tavares, and E. M. R. Fairbairn, "Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 30, no. 5, pp. 410–418, 2008, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2008.01.001.
- [20] P. K. Goyal and M. Murmu, "A review of sugarcane bagasse ash: Characteristics, properties and sustainable applications in concrete," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, S. K.V.L., S. R.K., K. S.V., and S. M.V.S.S., Eds., Department of Civil Engineering, NIT, Raipur,

- India: Institute of Physics, 2024. doi: 10.1088/1755-1315/1409/1/012002.
- [21] W. Ahmad, A. Ahmad, K. A. Ostrowski, F. Aslam, P. Joyklad, and P. Zajdel, "Sustainable approach of using sugarcane bagasse ash in cement-based composites: A systematic review," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 15, 2021, doi: 10.1016/j.cscm.2021.e00698.
- [22] M. Singh, R. Siddique, S. S. Setia, and G. Singh, "Recycling of waste bagasse ash in concrete for sustainable construction," *Asian J. Civ. Eng.*, vol. 22, no. 5, pp. 831–842, 2021, doi: 10.1007/s42107-021-00349-0.
- [23] Y. Bayapureddy, K. Muniraj, and M. M. Gangireddy, "Characteristic evaluation of concrete containing sugarcane bagasse ash as pozzolanic admixture," *Res. Eng. Struct. Mater.*, vol. 9, no. 4, pp. 1287–1307, 2023, doi: 10.17515/resm2023.819ma0712.
- [24] A. A. E. Hussein, N. Shafiq, M. F. Nuruddin, and F. A. Memon, "Compressive strength and microstructure of sugar cane bagasse ash concrete," *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 12, pp. 2569–2577, 2014, doi: 10.19026/rjaset.7.569.
- [25] F. Batool, A. Masood, and M. Ali, "Characterization of Sugarcane Bagasse Ash as Pozzolan and Influence on Concrete Properties," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 45, no. 5, pp. 3891–3900, 2020, doi: 10.1007/s13369-019-04301-y.
- [26] S. Subhani, S. M. Subhani, and A. Bahurudeen, "Utilization of sugarcane bagasse ash in binary, ternary, and quaternary blended cement concrete –A waste to Wealth approach," *Mater. Today Sustain.*, vol. 28, 2024, doi: 10.1016/j.mtsust.2024.100954.
- [27] J. T. Rojas Llanos, J. Bazán Hernández, M. P. Rodriguez Vasquez, A. C. Flores Quispe, and F. Del Carpio Delgado, "Effect of sugarcane bagasse ash on the mechanical properties of pervious concrete," *Salud, Cienc. y Tecnol. - Ser. Conf.*, vol. 2, 2023, doi: 10.56294/sctconf2023337.
- [28] A. Cheng, W.-T. Lin, S.-J. Chao, and H.-M. Hsu, "Variation in fineness of cement-based composites containing sugarcane bagasse ashes," in *Advanced Materials Research*, Department of Civil Engineering, National Ilan University, Ilan, Taiwan, 2014, pp. 13–17. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.894.13.
- [29] DLHK3 Banda Aceh, *PROFIL DLHK3*. Banda Aceh, 2016.
- [30] Badan Standardisasi Nasional Indonesia, "SNI 03-6825-2002: Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil," *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*. pp. 1–14, 2002.
- [31] Badan Standardisasi Nasional Indonesia, "SNI 2491-2014: Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder," *Badan Standardisasi Nasional*. pp. 1–17, 2014.
- [32] N. Prabhath *et al.*, "Investigation of Pozzolan Properties of Sugarcane Bagasse Ash for Commercial Applications," *ACS Omega*, vol. 8, no. 13, pp. 12052–12061, 2023, doi: 10.1021/acsomega.2c07844.
- [33] ASTM C33/C33M-23, "Standard Specification for Concrete Aggregates," *ASTM International, West Conshohocken, PA*. pp. 1–8, 2023. doi: 10.1520/C0033.
- [34] ASTM C128-22, "Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate," *ASTM International, West Conshohocken, PA*. pp. 1–6, 2023. doi: 10.1520/C0128-22.1.
- [35] ASTM C556-19, "Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying," *ASTM International, West Conshohocken, PA*, vol. 97, no. Reapproved 2004. pp. 5–7, 1997.
- [36] ASTM C29/C29M-23, "Standard Test Method for Bulk Density (' Unit Weight ') and Voids in Aggregate," *ASTM International, West Conshohocken, PA*. pp. 1–5, 2023. doi: 10.1520/C0029.
- [37] ASTM C117-23, "Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral," *ASTM International, West Conshohocken, PA*. pp. 1–4, 2023. doi: 10.1520/C0117-23.1.
- [38] ASTM C188-17, "Method for Density of Hydraulic Cement." pp. 1–2, 2023. [Online]. Available: www.astm.org,