

APLIKASI PEMANFAATAN ABU SEKAM PADI DAN SERAT KALENG BEKAS PADA BETON MUTU TINGGI

Imam Junaidi^{1*}, Tedy Pranadiarso², Slamet Rohadi Budi Prasetyo³, dan Bagas R. Subchan⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknologi Rekayasa Kontruksi Bangunan Gedung, Universitas Jember, Jl. Kalimantan No. 37, Jember, Jawa Timur, Indonesia.

* E-mail Corresponding : imamjunaidi.teknik@unej.ac.id

Abstrak: Perkembangan teknologi beton mutu tinggi menjadi kebutuhan penting dalam pembangunan infrastruktur modern yang menuntut material dengan kinerja optimal, efisiensi penggunaan sumber daya, serta mendukung prinsip keberlanjutan lingkungan. Upaya pemanfaatan limbah industri dan pertanian sebagai bahan tambah menawarkan solusi inovatif dalam mewujudkan konsep beton ramah lingkungan (green concrete) yang tidak hanya kuat secara mekanik tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan dampak lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh penambahan abu sekam padi, serat kaleng bekas, serta superplasticizer viscocrete-1005 terhadap sifat mekanik beton mutu tinggi, dengan fokus utama pada kelecakan beton segar dan kekuatan tekan beton. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimental dengan spesimen silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang diuji pada umur 7, 14, dan 28 hari. Variasi campuran terdiri atas beton normal (SN) dan beton modifikasi (SC) yang terdiri dari 10% abu sekam padi terhadap berat semen, 4% serat kaleng bekas terhadap agregat halus (filler), serta penambahan superplasticizer sebesar 2%. Hasil pengujian slump menunjukkan bahwa spesimen SC memiliki kelecakan yang lebih kecil daripada spesimen SN. Nilai kuat tekan spesimen SC pada umur 7, 14, dan 28 hari berturut-turut mencapai 52,23 MPa, 59,09 MPa, dan 73,32 MPa, lebih tinggi sekitar 3% - 4% dibandingkan spesimen SN. Disimpulkan bahwa kombinasi antara limbah abu sekam padi dan serat kaleng bekas berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai material alternatif dalam produksi beton ramah lingkungan dapat berkontribusi dalam pengurangan limbah domestik serta limbah industri.

Katakunci: Beton, Abu, Serat, Viscocrete-1005, Ramah Lingkungan.

Abstract: The development of high-strength concrete has become an essential requirement in modern infrastructure projects that demand materials with optimal performance, efficient resource utilization, and adherence to sustainability principles. The incorporation of industrial and agricultural waste as supplementary materials provides an innovative approach to producing environmentally friendly concrete (green concrete) that demonstrates superior mechanical performance and contributes to reducing environmental impact. This study aims to evaluate the effect of adding rice husk ash, recycled can fibers, and viscocrete-1005 superplasticizer on the mechanical properties of high-strength concrete, with a particular focus on fresh concrete workability and compressive strength. An experimental method was employed using cylindrical specimens measuring 15 cm in diameter and 30 cm in height, tested at curing ages of 7, 14, and 28 days. Two mixture variations were designed: a normal concrete (SN) and a modified concrete (SC), where SC contained 10% rice husk ash as a cement replacement, 4% recycled can fibers as filler, and 2% superplasticizer. The slump test results indicated that SC exhibited lower workability compared to SN, although the values remained within acceptable limits for construction applications. The compressive strength of SC specimens reached 52.23 MPa, 59.09 MPa, and 73.32 MPa at 7, 14, and 28 days, respectively, which was approximately 3–4% higher than that of SN. These findings demonstrate that the combination of rice husk ash and recycled can fibers has significant potential as an alternative material in high-strength concrete production, supporting sustainable construction practices while reducing both domestic and industrial waste (Eco-Friendly).

Keywords: Concrete, Ash, Fibers, Viscocrete-1005, Eco-Friendly

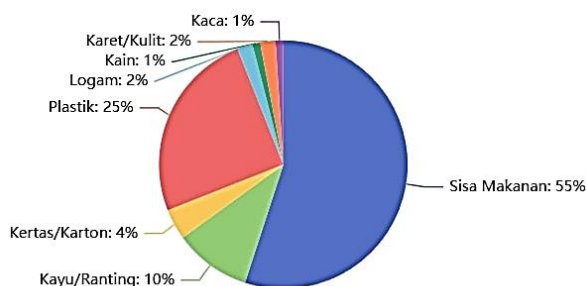
PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi kontruksi mengalami peningkatan. Kebutuhan serta tuntutan publik dalam pemenuhan fasilitas infrastruktur seperti gedung bertingkat, jembatan bentang panjang, dan struktur beton tahan gempa semakin besar. Perencanaan fasilitas mengarah pada material beton dengan mutu tinggi. Karakteristik utama beton dengan mutu tinggi adalah kekuatan tekan tinggi di atas 50 MPa, durabilitas bagus, serta *workability* yang baik untuk pelaksanaan di lapangan. Namun, pembuatan beton mutu tinggi

tergantung pada pemilihan material agregat yang berkualitas dan *admixture* dengan nilai ekonomi yang tinggi (Lalitha, 2022). Seiring meningkatnya tuntutan terhadap mutu dan material konstruksi berkelanjutan, material yang digunakan juga diharapkan bersifat ramah lingkungan dan hemat biaya, sehingga mampu menekan emisi karbon dioksida (W et al., 2025).

Indonesia merupakan negara agraris dengan tingkat produksi padi yang tinggi, sehingga limbah sekam padi sebagai hasil sampingannya pun terus meningkat (Farhan et al., 2023). Berdasarkan catatan Badan Pusat Statistik Indonesia, Kabupaten Jember merupakan penghasil padi tertinggi ke empat di wilayah Jawa Timur dengan jumlah produksi Gabah Kering Giling (GKG) sebesar 623,265 ton per tahun 2024 (BPS, 2025). Gabah Kering Giling tersebut digiling menghasilkan sekam padi dan beras padi. Limbah sekam padi umumnya dimanfaatkan sebagai bahan bakar Gabah Padi yang belum kering di dalam tungku pengeringan Gabah seperti pada CV. Pabrik Beras Rajawali Rambipuji Jember Jawa Timur. Sekam padi lalu dibakar pada suhu 4500 – 5000 C selama 4 hingga 6 jam lamanya. Sisa sampingan pembakaran tersebut menghasilkan Abu Sekam Padi. Pada riset ini digunakan Abu Sekam Padi sebagai upaya mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan akibat menumpuknya sampah Abu Sekam Padi yang melimpah. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa material Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash / RHA) mengandung silika (SiO₂) tinggi, antara sekitar 87% hingga 97%, menjadikannya bahan pozzolan yang efektif untuk memperkuat beton (Ridwan et al., 2025). Misalnya, pada beton self compacting concrete (SCC) mutu tinggi, substitusi abu sekam padi 10% memberikan kekuatan tekan mencapai 57 MPa pada umur 28 hari (Trisnasari et al., 2017). Sedangkan substitusi 5% hingga 15% mampu meningkatkan durabilitas beton, meskipun substitusi melebihi 12 % mulai menurunkan kekuatan (Santosa et al., 2024). Selain memperkuat beton, pemanfaatan material abu sekam padi sebagai bahan tambahan pada semen membantu mengurangi emisi CO₂ dari industri pembuatan semen (Jhatial et al., 2019).

Disisi lain, Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup dan Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2024 tercatat jumlah timbunan sampah non-organik di Indonesia mengalami kenaikan. Dilaporkan rata-rata peningkatan total timbunan sampah dalam 5 tahun terakhir dari tahun 2020 hingga 2024 mengalami peningkatan sebesar 18%. Total timbunan sampah pada tahun 2020 sebesar 27,592,603.06 ton per tahun, sedangkan pada tahun 2024 mengalami peningkatan secara drastis sebesar 34,273,876.85 ton per tahun. Tercatat pada Kabupaten Jember tahun 2024 menghasilkan timbunan sampah perhari sebesar 835.52 ton dan menghasilkan sampah total pertahun sebesar 304,964.95 ton. Sampah tersebut terdiri dari sampah dari limbah makanan, kayu atau ranting, karet, logam, kain, kertas atau karton, plastik dan kaca. Grafik persentase jenis sampah di Kabupaten Jember tahun 2024 dapat dilihat pada Gambar 1 (SIPSN, 2025). Data peningkatan timbunan sampah menunjukkan bahwa Kabupaten Jember menghadapi tantangan serius dalam pengelolaan limbah padat, khususnya limbah non-organik seperti kaleng bekas serta limbah pertanian berupa sekam padi. Volume sampah logam dan limbah pertanian yang tinggi menunjukkan potensi besar untuk dimanfaatkan kembali sebagai bahan campuran di dalam beton ramah lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pemanfaatan dua jenis limbah seperti abu sekam padi dan kaleng bekas.



Gambar 1. Grafik Komposisi Sampah Berdasarkan Jenis Sampah (SIPSN, 2025)

Upaya dalam pemanfaatan sisa limbah industri dan pertanian sebagai bahan alternatif dalam beton terus dikembangkan. Melihat kondisi seperti ini, salah satu usaha memanfaatkan material sampah adalah memanfaatkan kaleng bekas sebagai agregat fiber dalam beton. Kaleng bekas memiliki kuat tarik dan modulus elastis bahan yang tinggi serta berpotensi meningkatkan kuat beton dan daktilitas beton (Yan et al., 2023), sedangkan abu sekam padi dengan kandungan silika hingga 90% terbukti efektif sebagai filler alami yang dapat memberikan peningkatan kuat tekan beton (Siddika et al., 2021). Belum banyak studi yang mengevaluasi kombinasi keduanya pada beton mutu tinggi dengan tambahan superplastisizer. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada pemanfaatan kombinasi dua jenis limbah berbeda antara abu sekam padi

sebagai pozzolan dan serat kaleng bekas untuk menghasilkan beton ramah lingkungan dengan kuat tekan tinggi, yang belum banyak dieksplorasi pada penelitian sebelumnya. Dengan demikian, kombinasi kedua limbah ini sebagai bahan tambah memberikan solusi yang tidak hanya ekonomis, tetapi juga mendukung pembangunan yang lebih hijau dan efisien (*Green Concrete*).

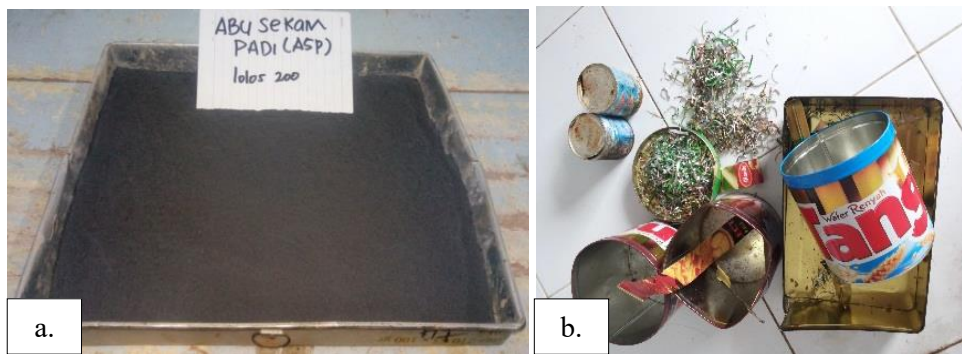
Riset ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan Abu Sekam Padi, serat kaleng bekas, dan superplasticizer viscocrete-1005 terhadap karakteristik mekanik beton mutu tinggi, khususnya kuat tekan dan daktilitasnya. Secara ilmiah, penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi beton melalui rekayasa bahan menggunakan limbah domestik yang belum banyak dimanfaatkan pada beton mutu tinggi. Urgensi penelitian ini adalah memanfaatkan material limbah sebagai campuran dalam beton untuk menghasilkan kuat tekan tinggi dan ramah lingkungan (*Green Concrete*). Pemanfaatan dua jenis limbah tersebut dalam beton berpotensi mendukung konstruksi yang berkelanjutan, dan menciptakan solusi konstruksi yang lebih hemat biaya dan ramah lingkungan (Kumar & Kumar, 2024). Abu sekam padi yang digunakan dalam riset ini merupakan hasil samping pembakaran sekam padi sebagai bahan bakar pengeringan padi, tanpa melalui proses pemanasan lanjutan untuk menghasilkan silika amorf. Hal ini dipertimbangkan karena proses pengolahan tambahan akan meningkatkan biaya sehingga kurang ekonomis untuk aplikasi nyata. Namun, sebagian besar penelitian terdahulu hanya meneliti pemanfaatan abu sekam padi sebagai bahan pozzolan atau serat logam dari limbah industri secara terpisah. Penelitian yang secara simultan menggabungkan abu sekam padi dan serat kaleng bekas pada beton mutu tinggi masih sangat terbatas dengan penambahan superplasticizer didalam campuran beton. Hal ini menunjukkan perlunya penelitian yang menggabungkan kedua limbah untuk mengevaluasi pengaruh terhadap performa beton mutu tinggi. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi rujukan dalam pemanfaatan limbah padat industri selanjutnya.

METODE

Tahapan Penelitian dan Pemilihan Material

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Langkah awal adalah mengumpulkan data dan bahan yang relevan. Literasi yang didapatkan diambil pada jurnal, buku, literatur ilmiah dan internet sebagai bahan rujukan awal. Langkah kedua adalah menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan. Langkah ketiga adalah melakukan pengujian bahan dan material untuk mengetahui karakteristik utama penyusun beton. Uji bahan agregat yang akan dilakukan adalah Analisis Saringan Agregat, Berat Jenis dan Penyerapan Agregat, Pengujian Kelembaban, Uji Kadar Lumpur dan Uji Berat Volume. Langkah keempat adalah membuat Job Mix Formula beton menggunakan SNI-03-2834 tahun 2000 (SNI-03-2834, 2000) dengan rencana mutu beton sebesar $f_c' 70$ MPa. Spesimen yang digunakan adalah silinder berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm dan dilakukan perawatan pada spesimen sesuai dengan umur pengujian.

Bahan material semen yang digunakan dalam riset ini adalah *Portland Composite Cement* (PCC) merek Tiga Roda. Material abu sekam padi digunakan sebagai binder di dalam campuran beton dengan mengurangi kebutuhan semen sebesar 10% terhadap kebutuhan semen total. Nilai persentase 10% diambil berdasarkan hasil persentase maksimal efektif campuran abu sekam padi terhadap semen di dalam beton sesuai dengan hasil penelitian terdahulu (Farhan et al., 2023; Ridwan et al., 2025; Santosa et al., 2024; Trisnasari et al., 2017). Abu sekam padi yang digunakan didalam campuran beton diambil pada CV. Pabrik Beras Rajawali Rambipuji Jember Jawa Timur dengan pembakaran pada suhu 4500 – 5000 C selama 4 hingga 6 jam. Abu Sekam Padi dihaluskan dan disaring lolos ayakan saringan nomor 200 seperti pada Gambar 2a. Material tambahan lainnya adalah serat kaleng bekas yang didapatkan dari limbah sekitar lingkungan masyarakat seperti pada Gambar 2b. Kaleng bekas kemudian dipotong dengan ukuran 20 hingga 25 mm untuk dijadikan serat tambahan di dalam campuran beton. Digunakan serat kaleng bekas sebagai bahan tambah di dalam campuran beton sebesar 4% terhadap agregat halus (filler). Nilai persentase serat kaleng bekas sebagai filler diambil berdasarkan hasil penelitian (Channa & Saand, 2021) yang menunjukkan terjadi peningkatan kekuatan di dalam beton. Agregat kasar dalam penelitian ini diambil dari Jember sedangkan agregat halus berasal dari Lumajang. Agar didapatkan kuat tekan tinggi dan *workability* yang bagus, maka digunakan superplasticizer seperti viscocrete-1005 dengan dosis 0,7% - 2% terhadap berat semen. Tujuan utama penggunaan viscocrete-1005 adalah mengurangi penggunaan air dengan tetap menjaga kelecakan campuran material beton. Komposisi campuran penyusun beton dapat dilihat pada Tabel 1. Tahapan pembuatan dan perawatan spesimen benda uji mengikuti peraturan (SNI-4810-2018, 2018). Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14 dan 28 hari dengan total spesimen sebanyak 4 buah di setiap variasinya sesuai dengan peraturan (SNI-1974-2011, 2011).



Gambar 2. a. Abu Sekam Padi Lolos Saringan Nomor 200, b. Serat Kaleng Bekas

Tabel 1. Proporsi Campuran Beton (per silinder Ø15 cm dan Tinggi 30 cm)

| Material | Variasi | |
|-----------------------|---------|-------|
| | SN | SC |
| Semen (kg) | 4,54 | 4,13 |
| Pasir (kg) | 2,98 | 2,53 |
| Kerikil (kg) | 6,44 | 6,44 |
| Air (L) | 1,22 | 1,22 |
| FAS | 0,27 | 0,27 |
| Abu Sekam Padi (kg) | 0 | 0,414 |
| Serat Kaleng (kg) | 0 | 0,451 |
| Superplasticizer (ml) | 32,00 | 90,08 |

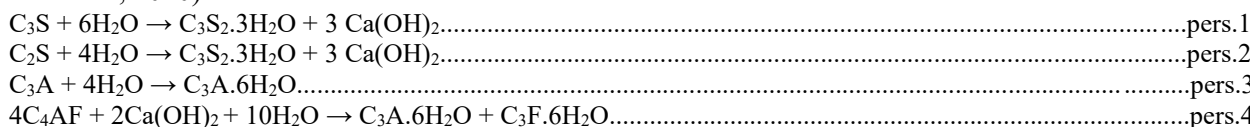
Keterangan :

- SN (Spesimen Normal / Beton Normal dengan 0,7% Superplasticizer)
- SC (Spesimen Campuran / Beton 10% Abu Sekam Padi & 4% Serat Kaleng Bekas & 2% Superplasticizer)

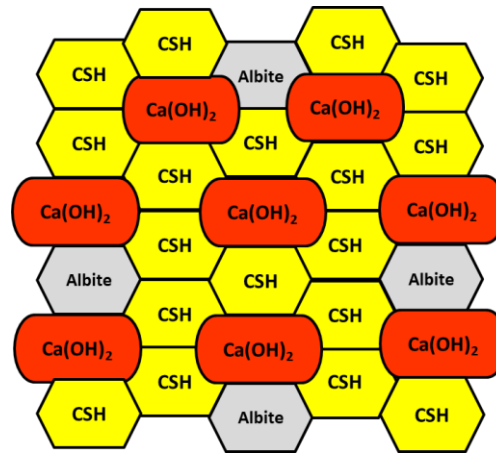
Prosedur pembuatan beton diawali dengan pencampuran bahan berupa semen, abu sekam padi, pasir, dan kerikil hingga homogen. Kemudian air dan superplasticizer viscocrete-1005 dimasukkan secara bertahap untuk mencapai kelecakan yang diinginkan. Nilai faktor air-semen (FAS) yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,27. Variasi campuran terdiri dari dua jenis: (1) Beton normal (SN) dengan 0,7% superplasticizer terhadap berat semen, dan (2) Beton campuran (SC) dengan 10% abu sekam padi terhadap berat semen, 4% serat kaleng bekas terhadap berat agregat halus, dan 2% superplasticizer terhadap berat semen. Setelah proses pencampuran, beton segar dituangkan ke dalam cetakan silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm, kemudian dipadatkan dengan alat vibrator agar tidak terdapat rongga udara. Benda uji dilepaskan dari cetakan setelah 24 jam dan dilakukan perawatan (*curing*) dengan cara perendaman dalam air bersuhu 25 ± 2 °C hingga mencapai umur pengujian. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari sesuai SNI 1974:2011, sedangkan pembuatan dan perawatan benda uji mengacu pada SNI 4810:2018. Semua prosedur pengujian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan Bangunan Universitas Jember.

Efek penambahan pozzolan didalam beton

Hidrasi semen didefinisikan sebagai reaksi pembentukan *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H) ketika material semen dan air dicampurkan. Senyawa pendukung proses hidrasi semen adalah *Tricalcium silicate* (C₃S), *Dicalcium silicate* (C₂S), *Tricalcium aluminate* (C₃A), dan *Tetracalcium aluminoferrite* (C₄AF). Kandungan mineral dalam material semen dapat dilihat pada Tabel 2. Mineral yang terbentuk seperti C-S-H sebanyak 60% dan Ca(OH)₂ sebesar 25% yang kemudian mengisi pori-pori kosong yang sebelumnya ditempati oleh air. Persamaan kimia rekasi hidrasi dapat dilihat pada persamaan 1 hingga 4 (Saleh & Eskander, 2020).

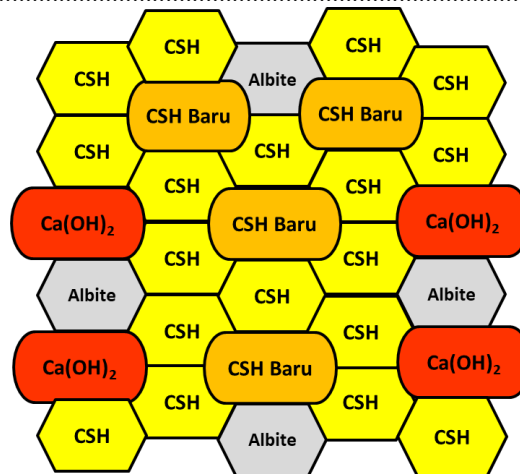
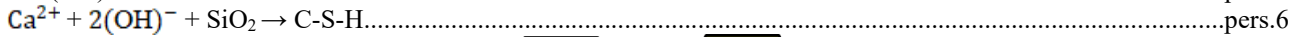
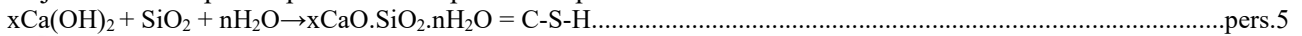


Pada persamaan kimia 1 hingga 4 disimpulkan bahwa kedua silika seperti C₃S dan C₂S membutuhkan massa air yang hampir sama untuk melakukan proses hidrasi semen. Pendekatan matriks pada proses hidrasi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pendekatan Hasil Produksi Hidrasi pada Matriks Beton

Terlihat pada Gambar 3 bahwa Produk C-S-H dan C-S-A yang berfungsi untuk mengikat dan memperkuat beton. Semakin sedikit mineral C-S-H dan C-S-A terbentuk, maka semakin sedikit kuat tekan yang didapatkan (Saleh & Eskander, 2020). Produk sampingan proses hidrasi semen adalah Ca(OH)_2 atau portlandite. Ca(OH)_2 inilah yang nantinya memecah fase kristal silika alumina di dalam material abu sekam padi. Kandungan mineral dalam material abu sekam padi dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Tahapan selanjutnya adalah pembentukan *Calcium Silicate Hydrate* lanjutan seperti pada Persamaan 5 dan 6. Proses ini disebut dengan proses pozzolanik (Sargent, 2015). Pendekatan matriks pada proses pembentukan C-S-H lanjutan melalui proses pozzolanik dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pendekatan Proses Pozzolanik di dalam Beton

Tabel 2. Rekapitulasi Kandungan Mineral Semen

| Senyawa | Hasil Pengujian Terdahulu | | |
|--------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| | XRF 1 (Junaidi et al., 2022) | XRF 2 (Umasabor & Okovido, 2018) | XRF 3 (Chopra et al., 2015) |
| SiO ₂ | 19,19 | 22,00 | 21,24 |
| Al ₂ O ₃ | 5,42 | 5,03 | 5,98 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,11 | 4,65 | 4,10 |
| CaO | 63,08 | 62,0 | 60,78 |
| MgO | 1,77 | 2,06 | 0,96 |
| Na ₂ O | 0,22 | 0,19 | 0,86 |
| K ₂ O | 0,57 | 0,4 | 2,20 |
| SO ₃ | 1,54 | 1,43 | 3,98 |
| C ₃ S | 59,23 | - | - |
| C ₃ A | 9,13 | - | - |
| C ₄ AF | 9,44 | - | - |
| C ₂ S | 10,43 | - | - |
| LOI | 5,94 | - | - |

Tabel 3. Rekapitulasi Kandungan Mineral Abu Sekam Padi

| Senyawa | Hasil Pengujian Terdahulu | | |
|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| | XRF 1 (Chopra et al., 2015) | XRF 2 (Umasabor & Okovido, 2018) | XRF 3 (Hasan et al., 2022) |
| SiO ₂ | 94,0 | 87,22 | 75,24 |
| Al ₂ O ₃ | 1,2 | 0,70 | 2,18 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,37 | 1,68 | 2,24 |
| CaO | 0,60 | 2,12 | 2,42 |
| MgO | 2,93 | 1,18 | 2,98 |
| Na ₂ O | - | 0,20 | 0,86 |
| K ₂ O | 0,50 | 1,12 | 1,72 |
| SO ₃ | 0,30 | 0,04 | 0,12 |
| C ₃ S | - | - | - |
| C ₃ A | - | - | - |
| C ₄ AF | - | - | - |
| C ₂ S | - | - | - |
| LOI | - | 1,06 | 12,99 |

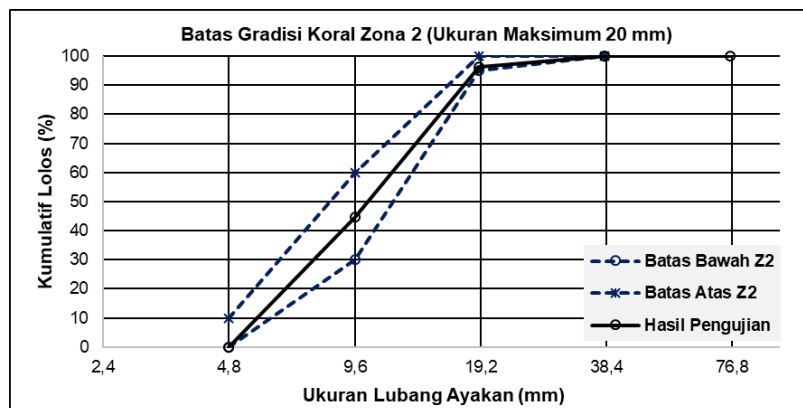
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Agregat Kasar

Pengujian material agregat kasar dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Material Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember. Tujuan dari pengujian ini untuk memeriksa karakteristik agregat kasar apakah sudah sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan. Hasil rekapitulasi pengujian agregat kasar seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Kasar

| Pengujian | Standar | Hasil |
|------------------------------------|-----------|--------|
| Uji Saringan | - | Zona 2 |
| <i>Fine Modulus</i> | 6,0 – 7,1 | 6,59 |
| Berat Jenis (gr/cm ³) | > 2,5 | 2,70 |
| Penyerapan (%) | < 2% | 1,77 |
| Kelembaban (%) | - | 2,82 |
| Kadar Lumpur (%) | < 3 | 2,03 |
| Berat Volume (gr/cm ³) | - | 1,28 |



Gambar 5. Grafik Gradasi Agregat Kasar

Hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 4 terlihat bahwa material agregat kasar yang digunakan sudah memenuhi persyaratan standar mutu berdasarkan Standar Nasional Indonesia dan ASTM. Terlihat hasil nilai pengujian berada di dalam rentang yang diperbolehkan. Hasil uji saringan menunjukkan bahwa agregat kasar masuk ke dalam batas atas dan bawah zona 2 atau agregat kasar masuk dalam zona sedang. Grafik batas gradasi zona 2 (SNI-03-2834, 2000) dapat dilihat pada Gambar 5. Nilai *fine modulus* sebesar 6,59 masih berada dalam batas standar 6,0 – 7,1 (ASTM C33, 2020) yang menunjukkan bahwa agregat memiliki tekstur yang sesuai untuk campuran beton struktural. Berat jenis agregat kasar sebesar 2,7 gr/cm³ telah melebihi batas minimum > 2,5 gr/cm³ (ASTM C33, 2020) yang menunjukkan bahwa agregat memiliki densitas yang baik. Nilai penyerapan air sebesar 1,77% masih di bawah batas maksimum 2% (ASTM C33, 2020), sehingga agregat tidak menyerap air berlebih yang dapat mengganggu keseimbangan kadar air dalam

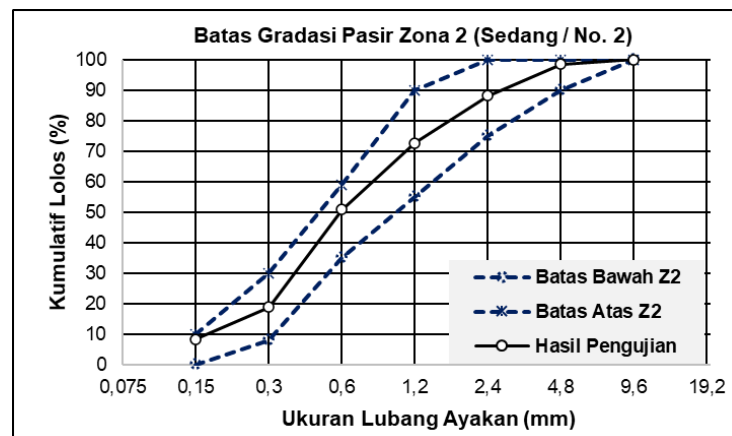
campuran beton. Kelembaban agregat tercatat sebesar 2,82% meskipun tidak tercantum batas standar, namun nilai ini perlu diperhitungkan untuk melakukan koreksi air pada campuran beton. Nilai kadar lumpur sebesar 2,03% masih di bawah batas maksimum < 3,0% (ASTM C33, 2020) yang menunjukkan bahwa agregat bebas dari kontaminasi partikel halus berlebih yang dapat menghambat lekatan pasta semen dengan agregat. Berat volume sebesar 1,28 gr/cm³ juga tergolong sesuai sebagai data pendukung dalam perhitungan proporsi campuran beton. Dengan terpenuhinya seluruh parameter pengujian berdasarkan standar yang berlaku, disimpulkan bahwa material agregat kasar yang digunakan sudah sesuai persyaratan sebagai bahan penyusun dalam campuran beton mutu tinggi.

Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat halus dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat karakteristik agregat halus apakah sudah sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan. Hasil rekapitulasi pengujian agregat halus seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Agregat Halus

| Pengujian | Standar | Hasil |
|------------------------------------|-----------|--------|
| Uji Saringan | - | Zona 2 |
| <i>Fine Modulus</i> | 2,1 – 3,8 | 2,63 |
| Berat Jenis (gr/cm ³) | > 2,5 | 2,74 |
| Penyerapan (%) | < 2,3 | 1,49 |
| Kelembaban (%) | - | 0,97 |
| Kadar Lumpur (%) | < 5 | 0,62 |
| Berat Volume (gr/cm ³) | - | 1,30 |

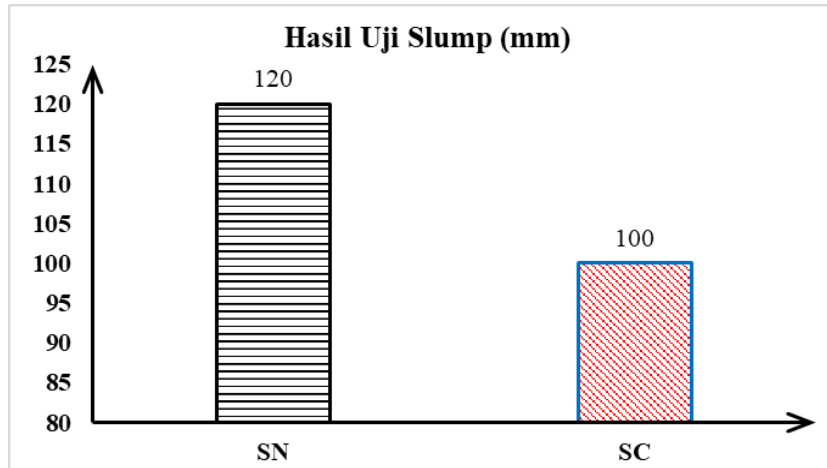


Gambar 6. Grafik Gradasi Agregat Halus

Hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 5 terlihat bahwa material agregat halus yang digunakan telah memenuhi persyaratan standar mutu berdasarkan Standar Nasional Indonesia dan ASTM. Hasil analisis gradasi menunjukkan bahwa agregat halus berada dalam zona 2 atau zona pasir sedang (SNI-03-2834, 2000), ditandai dengan distribusi ukuran butiran yang berada di antara batas atas dan bawah zona 2 seperti pada Gambar 6. Nilai *fine modulus* agregat halus sebesar 2,63 masih berada dalam rentang standar 2,1 – 3,8 (ASTM C33, 2020). Hal ini menunjukkan bahwa agregat halus memiliki tekstur sedang dan sesuai untuk campuran beton struktural. Berat jenis agregat halus sebesar 2,74 gr/cm³ telah melebihi batas minimum > 2,5 gr/cm³ yang dan berat volume sebesar 1,3 gr/cm³ yang menunjukkan bahwa agregat halus memiliki kerapatan yang baik. Nilai penyerapan air sebesar 1,49% masih di bawah batas maksimum 2,3% (ASTM C33, 2020) sehingga agregat tidak menyerap air berlebih. Kelembaban agregat sebesar 0,92%, lebih kecil dari pada penyerapan yang menunjukkan bahwa agregat dalam kondisi kering. Meskipun standar kelembaban tidak memiliki batasan standar, akan tetapi nilai kelembaban perlu diperhitungkan untuk melakukan koreksi air pada campuran beton. Nilai kadar lumpur sebesar 0,62% masih berada di bawah batas maksimum 5% (ASTM C33, 2020), yang menunjukkan bahwa agregat halus tidak bercampur dengan lumpur yang dapat menurunkan kuta tekan beton. Dengan terpenuhinya seluruh parameter pengujian berdasarkan standar yang berlaku, disimpulkan bahwa material agregat halus yang digunakan sudah layak digunakan sebagai bahan penyusun dalam campuran beton mutu tinggi.

Pengujian Nilai Slump

Uji slump merupakan salah satu pengujian penting dalam menentukan tingkat kelecakan (*workability*) beton segar. *Workability* sangat berpengaruh terhadap kemudahan beton dalam proses pencampuran, pemadatan, dan pengecoran di lapangan. Nilai slump dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti perbandingan air-semen, penggunaan bahan tambahan (*admixture*), serta karakteristik agregat. Pengujian slump menggunakan alat kerucut Abrams. Hasil pengujian slump memberikan gambaran awal mengenai kualitas adukan beton sebelum dilakukan proses pencetakan benda uji. Hasil uji slump dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Hasil Uji Slump

Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai slump spesimen SN (beton normal) sebesar 120 mm, sedangkan spesimen SC sebesar 100 mm. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat penurunan nilai slump sebesar 20 mm setelah beton dicampurkan dengan material abu sekam padi dan serat kaleng bekas. Penurunan ini disebabkan oleh tingginya luas permukaan spesifik abu sekam padi (RHA) yang meningkatkan kebutuhan air akibat kemampuan partikel halus menyerap air dan mengikat pasta semen, serta oleh penambahan serat kaleng bekas yang meningkatkan gesekan antar partikel dan viskositas campuran. Hasil ini sejalan dengan penelitian Trisnasari et al., (2017) yang melaporkan bahwa penambahan 10% RHA dapat menurunkan slump 15–25%, serta Channa & Saand, (2021) yang menemukan bahwa 3–5% serat logam bekas menurunkan slump 10–20 mm. Meskipun demikian, nilai slump 100–120 mm masih memenuhi standar *moderate workability* beton struktural berdasarkan SNI 7656:2012, dan penggunaan superplasticizer mampu mempertahankan kelecakan campuran tanpa menaikkan faktor air-semen (Ridwan et al., 2025). Dengan demikian, penurunan slump ini bersifat wajar dan menunjukkan peningkatan viskositas campuran yang berdampak pada homogenitas serta potensi peningkatan kekuatan dan durabilitas beton pada tahap selanjutnya.

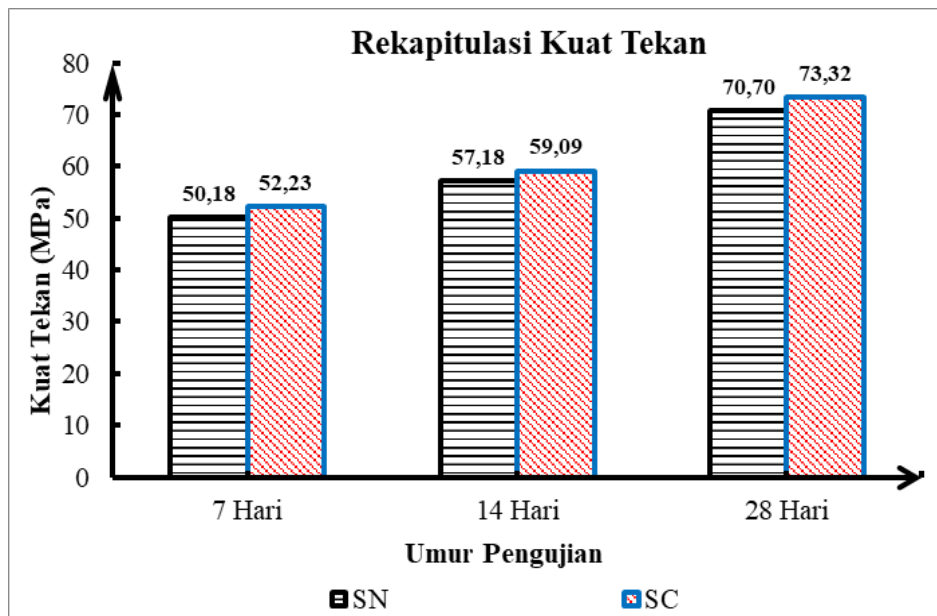
Pengujian Kuat Tekan Beton

kuat tekan beton menjadi salah satu parameter mekanik utama yang digunakan dalam menilai kualitas dan performa beton dalam menahan beban tekan. Parameter ini menjadi indikator penting dalam mendesain struktur bangunan. Nilai kuat tekan sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya proporsi campuran, kualitas bahan penyusun dan lain-lain. Umumnya kuat tekan beton yang digunakan dalam mendesain suatu bangunan memiliki satuan Megapascal (MPa). Digunakan spesimen silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Kuat tekan beton diuji pada umur 7, 14, dan 28 hari dengan benda uji minimal 3 buah sesuai dengan peraturan (SNI-1974-2011, 2011). Tempat pengujian dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Material Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 9.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan

| Spesimen | Umur (Hari) | Beban (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|-------------------|-------------|------------|------------------|
| SN (Beton Normal) | 7 | 885 | 50,11 |
| | 7 | 875 | 49,54 |
| | 7 | 890 | 50,39 |
| | 7 | 895 | 50,67 |
| Rata-rata | | | 50,18 |

| | | | |
|---|-----------|------|-------|
| SC (10% Abu Sekam Padi + 4% Serat Kaleng) | 7 | 925 | 52,37 |
| | 7 | 920 | 52,09 |
| | 7 | 925 | 52,37 |
| | 7 | 920 | 52,09 |
| | Rata-rata | | 52,23 |
| SN (Beton Normal) | 14 | 1010 | 57,18 |
| | 14 | 995 | 56,33 |
| | 14 | 1015 | 57,47 |
| | 14 | 1020 | 57,75 |
| | Rata-rata | | 57,18 |
| SC (10% Abu Sekam Padi + 4% Serat Kaleng) | 14 | 1045 | 59,16 |
| | 14 | 1040 | 58,88 |
| | 14 | 1050 | 59,45 |
| | 14 | 1040 | 58,88 |
| | Rata-rata | | 59,09 |
| SN (Beton Normal) | 28 | 1250 | 70,77 |
| | 28 | 1235 | 69,92 |
| | 28 | 1255 | 71,05 |
| | 28 | 1255 | 71,05 |
| | Rata-rata | | 70,70 |
| SC (10% Abu Sekam Padi + 4% Serat Kaleng) | 28 | 1295 | 73,32 |
| | 28 | 1290 | 73,04 |
| | 28 | 1300 | 73,60 |
| | 28 | 1295 | 73,32 |
| | Rata-rata | | 73,32 |



Gambar 8. Grafik Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Hasil uji kuat tekan yang disajikan pada Tabel 6 dan rekapitulasi kuat tekan pada Gambar 8 menunjukkan bahwa kuat tekan beton mengalami kenaikan seiring bertambahnya umur pengujian, baik pada sampel SN (beton normal) maupun SC (10% Abu Sekam Padi + 4% Serat Kaleng). Pada umur 7 hari, kuat tekan beton spesimen SN sebesar 50,16 MPa, sedangkan spesimen SC menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi sebesar 52,09 MPa. Peningkatan ini berlanjut pada umur 14 hari, di mana spesimen beton SN mencapai 57,00 MPa, sedangkan spesimen SC sebesar 59,04 MPa. Pada umur 28 hari, kuat tekan maksimum diperoleh spesimen SC sebesar 73,36 MPa dan spesimen SN lebih rendah sebesar 70,65 MPa. Disisi lain, selisih kuat tekan antara SC dan SN konsisten di setiap tahap pengujian yang menunjukkan bahwa material modifikasi dalam campuran SC berkontribusi positif terhadap peningkatan kekuatan beton. Peningkatan kuat tekan pada beton dengan campuran abu sekam padi dan serat kaleng bekas (SC) dibandingkan beton normal (SN) disebabkan oleh reaksi pozzolanik dan penguatan mekanis serat. Hasil ini menunjukkan peningkatan kuat tekan sebesar sekitar 8–12% pada umur 28 hari, sejalan dengan penelitian Trisnasari et al., (2017) dan

Santosa et al., (2024) yang melaporkan bahwa penggunaan abu sekam padi 10% dapat meningkatkan kekuatan beton melalui pembentukan Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) tambahan. Secara mikrostruktural, kandungan silika amorf tinggi pada abu sekam padi bereaksi dengan Ca(OH)_2 hasil hidrasi semen membentuk senyawa C-S-H gel yang berperan memperhalus struktur pori dan meningkatkan kerapatan matriks beton. Proses pozzolanik ini juga mengurangi kandungan portlandite yang rapuh, sehingga beton menjadi lebih padat dan tahan terhadap retak mikro (Saleh & Eskander, 2020). Di sisi lain, penambahan serat kaleng bekas memberikan kontribusi penguatan mekanis melalui mekanisme crack bridging dan stress transfer, di mana serat menahan penyebaran retak dan membantu redistribusi tegangan di dalam beton. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Channa & Saand, (2021) yang menunjukkan bahwa penambahan serat logam bekas 4% mampu meningkatkan kekuatan dan daktilitas beton. Kombinasi dua jenis limbah ini (abu sekam padi dan serat kaleng bekas) menghasilkan beton dengan struktur mikro yang lebih rapat dan homogen. Mekanisme pozzolanik memperbaiki zona transisi antar muka (*Interfacial Transition Zone/ITZ*) antara pasta semen dan agregat, sedangkan serat kaleng meningkatkan ketahanan tarik beton. Oleh karena itu, peningkatan kuat tekan yang diperoleh pada spesimen SC dapat dijelaskan sebagai hasil dari peningkatan mikrostruktur serta efek penguatan serat yang bekerja secara bersamaan. Dengan demikian, spesimen SC terbukti mampu menghasilkan beton mutu tinggi dengan performa yang lebih baik dibandingkan beton normal (SN), dan berpotensi untuk diaplikasikan pada konstruksi struktural yang membutuhkan kekuatan tekan tinggi.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan abu sekam padi, serat kaleng bekas, dan superplasticizer viscocrete-1005 terhadap karakteristik mekanik beton mutu tinggi. Berdasarkan hasil dan pembahasan, tujuan penelitian telah tercapai dengan baik. Penambahan 10% abu sekam padi terhadap berat semen dan 4% serat kaleng bekas terhadap agregat halus terbukti berpengaruh terhadap *workability* dan kuat tekan beton mutu tinggi. Nilai slump menurun sebesar 20 mm dibandingkan beton normal, meskipun nilai tersebut masih memenuhi standar *workability* beton struktural berdasarkan peraturan. Disisi lain, kuat tekan beton meningkat di setiap umur pengujian, yaitu 52,23 MPa (7 hari), 59,09 MPa (14 hari), dan 73,32 MPa (28 hari) atau sekitar 3–4% lebih tinggi dibandingkan beton normal (SN) menunjukkan efek positif dari reaksi pozzolanik abu sekam padi dan penguatan mekanis serat kaleng bekas. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi antara limbah abu sekam padi dan serat kaleng bekas berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai material alternatif dalam produksi beton ramah lingkungan (*green concrete*) dan berkontribusi dalam pengurangan limbah domestik serta limbah industri. Penelitian ini merekomendasikan pemanfaatan limbah lokal sebagai inovasi material dalam pengembangan beton mutu tinggi yang ekonomis, berkelanjutan, dan aplikatif untuk kebutuhan konstruksi beton. Dalam pengembangan lanjutan penelitian ini, diharapkan dapat melakukan uji XRF (*X-ray Fluorescence*) pada semen dan abu sekam padi untuk menentukan komposisi unsur dalam suatu material, melakukan uji XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengidentifikasi fase dan struktur kristal suatu bahan padat pada setiap material, melakukan uji kuat tekan di umur 56 hari untuk menganalisis proses pembentukan C-S-H lanjutan yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C33. (2020). *Standard Specification for Concrete Aggregates: Vol. i* (Issue C). <https://doi.org/10.1520/C0033>
- BPS. (2025). *Produksi Padi Menurut Kabupaten/Kota 2024-BADAN PUSAT STATISTIK PROVINSI JAWA TIMUR*. <https://jatim.bps.go.id/id/statistics-table/2/NTc5IzI=/produksi-padi-menurut-kabupaten-kota.html>
- Channa, I. A., & Saand, A. (2021). Mechanical behavior of concrete reinforced with waste aluminium strips. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 7(7), 1169–1182. <https://doi.org/10.28991/cej-2021-03091718>
- Chopra, D., Siddique, R., & Kunal. (2015). Strength, permeability and microstructure of self-compacting concrete containing rice husk ash. *Biosystems Engineering*, 130, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.12.005>
- Farhan, M., Nuklirullah, M., & Bahar, F. F. (2023). Pengaruh Penggunaan Abu-Sekam Padi sebagai Bahan Tambahan Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik*, 21(1), 58–67. <https://doi.org/10.37031/jt.v21i1.351>
- Hasan, N. M. S., Sobuz, M. H. R., Khan, M. M. H., Mim, N. J., Meraz, M. M., Datta, S. D., Rana, M. J., Saha, A., Akid, A. S. M., Mehedi, M. T., Houda, M., & Sutan, N. M. (2022). Integration of Rice Husk

- Ash as Supplementary Cementitious Material in the Production of Sustainable High-Strength Concrete. *Materials*, 15(22). <https://doi.org/10.3390/ma15228171>
- Jhatial, A. A., Goh, W. I., Mo, K. H., Sohu, S., & Bhatti, I. A. (2019). The Potential Utilization of Rice Husk Ash and Egg Shells. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 5(1), 74–81.
- Junaidi, I., Ekaputri, J. J., Purnomo, S., Sumartono, I. H., Agustin, W., & Astuti, W. (2022). APLIKASI MIKROBA DALAM AGREGAT BUATAN UNTUK MENINGKATKAN KUAT TARIK BELAH BETON MENGANDUNG FLY ASH Imam. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(4), 289–301.
- Kumar, A., & Kumar, A. (2024). Comparative Study on Green and Conventional Concrete. *AMERICAN Journal of Engineering Mechanics and Architecture*, 2(1), 67–74.
- Lalitha, G. (2022). Development of high strength Sustainable E-Waste concrete. *Materials Today: Proceedings*, 51, 2479–2484. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.623>
- Ridwan, M., Istiqomah, & Kudwadi, B. (2025). Substitusi Limbah Abu Sekam Padi Pada Beton Self Compacting Concrete (Scc). *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 7(4), 1389–1400. <https://doi.org/10.24912/jmts.v7i4.31227>
- Saleh, H. M., & Eskander, S. B. (2020). Innovative cement-based materials for environmental protection and restoration. In *New Materials in Civil Engineering* (pp. 613–641). INC. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818961-0.00018-1>
- Santosa, R. P., Rochman, A., & Sulaiman, H. M. (2024). Analisis Ketahanan Beton Dengan Memanfaatkan Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash) Sebagai Pengganti Sebagian Semen Pada Lingkungan Sulfat. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2024*, 61–68.
- Sargent, P. (2015). The development of alkali-activated mixtures for soil stabilisation. In *Handbook of Alkaliactivated Cements, Mortars and Concretes*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9781782422884.4.555>
- Siddika, A., Mamun, M. A. Al, Alyousef, R., & Mohammadhosseini, H. (2021). State of the art review on rice husk ash: A supplementary cementitious material in concrete. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 33(5), 294–307. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.10.006>
- SIPSN. (2025). *Kementerian Lingkungan Hidup dan Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional*. Sipsn. <https://sipsn.kemenvh.go.id/sipsn/public/data/komposisi>
- SNI-03-2834. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Beton Normal*.
- SNI-1974-2011. (2011). Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. In *Badan Standardisasi Nasional, Jakarta*. <https://www.academia.edu/download/57886647/SNI-1974-2011-.pdf>
- SNI-4810-2018. (2018). " *Badan Standardisasi Nasional Tata cara pembuatan dan perawatan spesimen uji beton di lapangan (ASTM C31/C31M – 17)*. www.bsn.go.id
- SNI 7656:2012. (2012). *Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal Beton Berat dan Beton Massa*.
- Trisnasari, Z., Wibowo, & Safitri, E. (2017). Kajian Pengaruh Variasi Komposisi Rice Husk Ash Terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri Dengan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. *Matriks Teknik Sipil*, 1427–1434.
- Umasabor, R. I., & Okovido, J. O. (2018). Fire resistance evaluation of rice husk ash concrete. *Heliyon*, 4(12), e01035. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e01035>
- W, D. D., S, S. A., F, A. A. N., P, S. B., & Shid, L. (2025). Teknologi Bahan Susun Beton Dengan Pemanfaatan Abu-Sekam. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2025*, 218–228.
- Yan, J., Gao, Y., Fan, T., Xu, Q., Yuan, W., & Zhao, X. (2023). Experimental Study on Flexural Performance of Recycled Steel Fiber Concrete Beams. *Buildings*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/buildings13123046>

