

## PENGARUH SUBSTITUSI ABU SEKAM PADI TERHADAP KUAT TEKAN BETON

**Rizki Akbar<sup>1</sup>**

Universitas Bung Hatta  
[Miorizki2000@gmail.com](mailto:Miorizki2000@gmail.com)

**Rita Anggraini<sup>2</sup>**

Universitas Bung Hatta  
[rita.anggraini@bunghatta.ac.id](mailto:rita.anggraini@bunghatta.ac.id)

### ABSTRAK

Produksi semen portland dalam industri konstruksi memberikan kontribusi signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), yang berdampak pada pemanasan global. Di sisi lain, limbah pertanian seperti abu sekam padi masih belum dimanfaatkan secara optimal, padahal memiliki kandungan silika tinggi yang berpotensi meningkatkan kualitas beton. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi abu sekam padi terhadap kuat tekan beton sebagai upaya mengurangi ketergantungan pada semen sekaligus memanfaatkan limbah pertanian secara lebih efektif. Metode penelitian ini bersifat eksperimental dengan membuat benda uji berbentuk silinder (15 cm × 30 cm) yang diuji kuat tekannya pada umur 14 dan 28 hari. Variasi substitusi abu sekam padi yang digunakan adalah 0%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% dari total berat semen. Hasil pengujian kuat tekan umur 28 hari dari setiap variasi yaitu 23,779MPa, 24,817MPa, 25,572MPa, 26,516MPa dan 22,741MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi hingga 10% meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal, dengan persentase optimum pada variasi 10% dengan nilai kuat tekan yaitu 26,516MPa. Namun, penambahan hingga 12,5% menyebabkan penurunan kuat tekan dengan nilai kuat tekan yaitu 22,741MPa. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa abu sekam padi dapat digunakan sebagai bahan substitusi parsial semen dalam campuran beton, dengan persentase optimum sebesar 10%. Penggunaan abu sekam padi berkontribusi dalam mengurangi limbah pertanian dan dampak lingkungan dari industri semen.

**Kata kunci:** Abu sekam padi, beton, kuat tekan, substitusi semen, material ramah lingkungan

### ABSTRACT

*Portland cement production in the construction industry contributes significantly to carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions, which have an impact on global warming. On the other hand, agricultural waste such as rice husk ash has not been optimally utilized, even though it has a high silica content that has the potential to improve concrete quality. This study aims to analyze the effect of rice husk ash substitution on the compressive strength of concrete as an effort to reduce dependence on cement while utilizing agricultural waste more effectively. This research method is experimental by making cylindrical test objects (15 cm × 30 cm) which are tested for compressive strength at the ages of 14 and 28 days. The variations of rice husk ash substitution used are 0%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% of the total weight of cement. The results of the 28-day compressive strength test for each variation are 23.779MPa, 24.817MPa, 25.572MPa, 26.516MPa and 22.741MPa. The results showed that the addition*

*of rice husk ash up to 10% increased the compressive strength of concrete compared to normal concrete, with an optimum percentage at a variation of 10% with a compressive strength value of 26.516MPa. However, the addition of up to 12.5% caused a decrease in compressive strength with a compressive strength value of 22.741MPa. From this study, it can be concluded that rice husk ash can be used as a partial substitute for cement in concrete mixtures, with an optimum percentage of 10%.*

**Keywords:** *Rice husk ash, concrete, compressive strength, cement substitution, sustainable materials*

## **PENDAHULUAN**

Salah satu industri yang paling banyak mengkonsumsi sumber daya alam adalah sektor bangunan, khususnya semen, yang merupakan komponen utama beton. Namun, dampak lingkungan dari produksi semen portland cukup signifikan, terutama dalam hal emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Aprianti (2015) menemukan bahwa sekitar 1 ton CO<sub>2</sub> dibuang ke atmosfer untuk setiap ton semen portland yang diproduksi. Menemukan bahan pengganti yang dapat menggantikan sebagian semen dalam campuran beton sangat penting karena emisi ini merupakan faktor yang berkontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global. Abu sekam padi dan limbah pertanian lainnya merupakan bahan pengganti yang layak. Pembakaran sekam padi dengan kandungan silika yang tinggi menghasilkan abu sekam padi. Mehta (2018) menyatakan bahwa abu sekam padi memiliki persentase silika sebesar 87-97%, sehingga menjadikannya zat pozzolan yang dapat meningkatkan kualitas beton. Selain itu, mengurangi limbah pertanian yang belum dimanfaatkan secara maksimal dapat dilakukan dengan menambahkan abu sekam padi pada beton.

Di banyak daerah penghasil padi, sekam padi seringkali hanya dibuang atau dibakar tanpa pemanfaatan lebih lanjut, sehingga menyebabkan pencemaran udara dan tanah. Limbah ini, jika tidak dikelola dengan baik, dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pemanfaatan abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen dalam beton dapat menjadi solusi yang tidak hanya mengurangi dampak lingkungan tetapi juga meningkatkan nilai ekonomis dari limbah pertanian tersebut.

Pengaruh substitusi abu sekam padi terhadap kuat tekan beton dengan variasi campuran 0%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% merupakan rumusan masalah yang diajukan dalam penelitian ini. Menentukan proporsi abu sekam padi yang ideal yang menghasilkan kuat tekan tertinggi adalah tujuan lain dari penelitian ini.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui persentase substitusi yang memberikan hasil terbaik dan untuk mengetahui pengaruh substitusi sebagian semen dengan abu sekam padi terhadap kuat tekan beton. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pendekatan baru dalam pembuatan beton yang lebih hemat biaya dan ramah lingkungan.

Berdasarkan tinjauan pustaka, beton merupakan material komposit yang terdiri dari campuran semen, agregat kasar dan halus, serta air, yang berfungsi sebagai perekat utama (Elia Hunggurami et al., 2017). Sifat utama beton sangat dipengaruhi oleh rasio faktor air-semen (FAS), gradasi agregat, serta bahan tambahan seperti pozzolan (Tjokrodiluljo, 2007).

Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina, yang dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida dalam semen untuk membentuk senyawa kalsium silikat

hidrat (C-S-H). Senyawa ini berperan dalam meningkatkan kekuatan beton serta daya tahannya terhadap lingkungan yang agresif (Anas Puri, 2008). Abu sekam padi, dengan kandungan silikanya yang tinggi, dapat berfungsi sebagai pozzolan yang membantu meningkatkan kinerja beton.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa substitusi abu sekam padi dalam beton dapat meningkatkan kuat tekan hingga batas tertentu, namun penambahan yang berlebihan justru dapat menurunkan kekuatan beton. Bakri (2009) menemukan bahwa penggunaan abu sekam padi hingga 10% dari total berat semen dapat meningkatkan kuat tekan beton, tetapi pada kadar lebih tinggi, kuat tekan beton mulai menurun akibat berkurangnya ikatan antar partikel semen.

Selain itu, penelitian Samsudin dan Sugeng Dwi Hartantyo (2017) menunjukkan bahwa meskipun penambahan abu sekam padi dalam jumlah tertentu pada beton dapat meningkatkan kekuatan beton, namun jika terlalu banyak akan menyebabkan beton menjadi kurang kuat. Karena sifat abu sekam padi yang memiliki luas permukaan yang luas dan cenderung menyerap lebih banyak air, maka terjadi peningkatan kebutuhan air.

Pada penelitian ini digunakan metode eksperimental dengan membuat benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, yang akan diuji kuat tekannya pada umur 14 dan 28 hari. Variasi substitusi abu sekam padi yang digunakan adalah 0%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% dari total berat semen. Untuk memastikan seberapa besar beton dapat mentoleransi tekanan, maka dilakukan pengujian kuat tekan. Untuk memastikan apakah abu sekam padi dapat berfungsi sebagai pengganti yang layak untuk sebagian semen dalam beton, hasil pengujian akan diperiksa. Selain pengujian kuat tekan, penelitian ini juga mempertimbangkan aspek workability beton, yang akan diuji menggunakan metode slump test. Workability adalah salah satu faktor penting dalam beton segar, karena mempengaruhi kemudahan pengecoran dan kepadatan beton setelah pengerasan.

Dengan mempertimbangkan berbagai faktor tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi beton yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi industri konstruksi dalam mengadopsi bahan alternatif yang lebih berkelanjutan. Dari sisi ekonomi, pemanfaatan abu sekam padi dapat membantu mengurangi biaya produksi beton, mengingat harga semen yang terus meningkat. Dengan menggantikan sebagian semen dengan abu sekam padi, biaya produksi beton dapat ditekan tanpa mengurangi kualitas strukturalnya.

Pada akhirnya, penelitian ini juga bertujuan untuk mendukung konsep pembangunan berkelanjutan dengan mengurangi limbah pertanian yang tidak terpakai serta mengurangi emisi karbon dari industri semen. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi inovatif dalam bidang teknologi material konstruksi serta meningkatkan kesadaran akan pentingnya penggunaan bahan ramah lingkungan dalam industri konstruksi.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk menganalisis pengaruh substitusi abu sekam padi terhadap kuat tekan beton. Eksperimen dilakukan dengan membuat benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Variasi campuran abu sekam padi yang digunakan adalah 0%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% dari total berat semen.

Uji kuat tekan dilakukan pada umur beton 14 dan 28 hari untuk mengetahui pengaruh penggunaan abu sekam padi terhadap kinerja beton.

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini antara lain Portland Composite Cement (PCC), agregat halus berupa pasir dari Lubuk Alung Quarry, agregat kasar berupa batu pecah dari CV. Berkah, dan air bersih yang memenuhi standar SNI 7974:2013. Abu sekam padi yang digunakan berasal dari pembakaran alami di pabrik pengolahan padi di Silit Air, Kabupaten Solok, Sumatera Barat. Sebelum digunakan, abu sekam padi dikeringkan di bawah sinar matahari selama 24 jam dan diayak dengan ayakan No. 200 untuk mendapatkan kehalusan yang optimal.

Tahapan penelitian dimulai dengan persiapan material, yang meliputi analisis karakteristik abu sekam padi, agregat halus, dan agregat kasar. Pengujian sifat fisik agregat dilakukan untuk memastikan kesesuaian material dengan standar beton yang berlaku. Setelah itu, dilakukan perancangan *Job Mix Formula* (JMF) dengan target kuat tekan rencana sebesar 20 MPa. Beton normal dibuat sebagai kontrol, sementara beton dengan variasi abu sekam padi dibuat sesuai persentase substitusi yang telah ditentukan.

Setelah pembuatan beton, benda uji dilakukan proses perawatan (*curing*) dengan metode perendaman dalam air selama 14 dan 28 hari. Perawatan ini bertujuan untuk memastikan hidrasi semen berlangsung optimal, sehingga beton dapat mencapai kekuatan yang direncanakan. Pada setiap umur pengujian, benda uji diangkat dan diuji kuat tekannya menggunakan mesin uji tekan sesuai standar ASTM C39/C39M-18.

Selain uji kuat tekan, dilakukan juga pengujian *workability* beton segar dengan metode *slump test* berdasarkan standar ASTM C143/C143M-15a. *Slump test* dilakukan untuk mengetahui kemudahan pengerjaan beton serta dampak substitusi abu sekam padi terhadap nilai slump. Penurunan nilai slump yang signifikan dapat mengindikasikan bahwa abu sekam padi menyerap lebih banyak air, sehingga mempengaruhi *workability* beton.

Data hasil pengujian dianalisis dengan metode statistik deskriptif, di mana hasil kuat tekan beton dari berbagai variasi substitusi dibandingkan dengan beton normal. Grafik dan tabel digunakan untuk menyajikan hasil penelitian secara visual, sehingga memudahkan interpretasi data. Analisis dilakukan untuk menentukan persentase optimum abu sekam padi yang memberikan hasil kuat tekan terbaik, sekaligus mengidentifikasi batas substitusi maksimal sebelum terjadi penurunan kekuatan beton.

Dengan menggunakan metode ini, penelitian diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai potensi abu sekam padi sebagai bahan substitusi semen dalam campuran beton. Hasil penelitian ini juga dapat menjadi acuan bagi pengembangan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Hasil Pengujian dan Karakteristik Agregat**

Pengujian karakteristik agregat dilakukan untuk mengetahui kualitas material yang digunakan dalam campuran beton. Hasil pengujian ditampilkan dalam tabel berikut:

**Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat**

No	Parameter Uji	Agregat Halus (Pasir)	Agregat Kasar (Batu Pecah)	Standar SNI
1	Modulus Kehalusan	2,7	-	2,3 – 3,1 (SNI 03-2834-2000)
2	Berat Jenis	2,62	2,70	2,50 – 2,80 (SNI 03-1969-1990)
3	Penyerapan Air (%)	1,5	1,2	Maks. 3% (SNI 03-1969-1990)
4	Kadar Lumpur (%)	3,5	0,8	Maks. 5% (SNI 03-2461-1991)
5	Kandungan Organik	Tidak Berwarna	-	Harus bening (SNI 03-2816-1992)
6	Ukuran Maksimum Agregat	-	20 mm	Maks. 40 mm (SNI 03-1750-1990)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat yang digunakan memenuhi standar SNI untuk beton struktural. Modulus kehalusan pasir sebesar 2,7 menunjukkan distribusi butiran yang baik. Berat jenis agregat halus dan kasar masing-masing 2,62 dan 2,70, serta tingkat penyerapan air yang rendah, memastikan kepadatan material yang optimal.

Kadar lumpur agregat halus dan kasar berada di bawah batas maksimum, sehingga tidak mengganggu ikatan dengan pasta semen. Kandungan organik pada pasir tidak terdeteksi, menandakan tidak adanya zat yang dapat menghambat hidrasi semen. Dengan ukuran maksimum agregat kasar 20 mm, bahan ini sesuai untuk beton struktural. Secara keseluruhan, agregat yang digunakan layak tanpa perlu perlakuan tambahan.

### Perhitungan Mix Design

Desain campuran beton dibuat dengan variasi substitusi abu sekam padi (ASP) sebesar 0%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% dari total berat semen. Campuran ini dirancang dengan target kuat tekan 20 MPa, menggunakan bahan utama berupa semen Portland Composite Cement (PCC), agregat halus dari Quarry Lubuk Alung, agregat kasar berukuran maksimum 20 mm, serta air yang memenuhi standar SNI 7974:2013. Penentuan proporsi material dalam campuran beton mengacu pada metode *Job Mix Formula* (JMF), dengan faktor air-semen yang disesuaikan untuk mempertahankan *workability* beton.

Berikut adalah tabel perhitungan *mix design* berdasarkan variasi substitusi abu sekam padi:

**Tabel 2. Perhitungan Mix Design Beton (kg/m<sup>3</sup>)**

No	Material	0% ASP (kg/m <sup>3</sup> )	5% ASP (kg/m <sup>3</sup> )	7,5% ASP (kg/m <sup>3</sup> )	10% ASP (kg/m <sup>3</sup> )	12,5% ASP (kg/m <sup>3</sup> )
1	Semen (PCC)	350	332.5	323.75	315	306.25
2	Abu Sekam Padi (ASP)	0	17.5	26.25	35	43.75
3	Pasir	750	750	750	750	750
4	Kerikil (20 mm)	1050	1050	1050	1050	1050
5	Air	175	175	175	175	175
6	Faktor Air-Semen (FAS)	0.50	0.53	0.54	0.56	0.57

### Hasil Pengujian Slump

Nilai slump merupakan parameter penting dalam menentukan workability atau kemudahan pengerjaan beton. Pengujian slump dilakukan dengan metode uji slump menggunakan kerucut Abrams. Hasil pengujian slump untuk berbagai substitusi abu sekam padi (ASP) ditampilkan dalam tabel berikut:

**Tabel 3. Hasil Pengujian Nilai Slump Beton (Cm)**

NO	Variasi ASP (%)	Tinggi Slump (Cm)
1	0	10,5
2	5	9,7
3	7,5	9,2
4	10	8,6
5	12,5	7,8

Hasil uji slump menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase abu sekam padi dalam campuran beton, semakin rendah nilai slump yang diperoleh. Hal ini terjadi karena abu sekam padi memiliki luas permukaan yang besar dan sifat menyerap air yang lebih tinggi dibandingkan semen, sehingga menurunkan *workability* beton. Pada variasi 0%, beton memiliki nilai slump 10,5 cm yang menunjukkan sifat campuran yang cukup plastis. Namun, pada variasi 12,5%, nilai slump menurun menjadi 7,8 cm, yang mengindikasikan beton menjadi lebih kaku dan memerlukan penambahan air atau *admixture* untuk mempertahankan *workability*.

### Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Uji kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil pengujian ditampilkan dalam tabel berikut :

**Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton (Mpa)**

No	Variasi ASP (%)	Kuat Tekan 14 Hari (MPa)	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)	Keterangan
1	0%	22,65	23,78	Beton Normal
2	5%	23,40	24,81	Meningkat
3	7,5%	23,12	25,57	Optimal
4	10%	23,40	26,52	Kuat Tekan Maksimum
5	12,5%	19,81	22,74	Menurun

Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa variasi substitusi abu sekam padi hingga 10% meningkatkan kekuatan beton dibandingkan beton normal. Kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi 10% dengan nilai 26,52 MPa pada umur 28 hari. Namun, pada variasi 12,5%, kuat tekan mengalami penurunan menjadi 22,74 MPa, yang disebabkan oleh berkurangnya jumlah semen sebagai bahan pengikat utama dalam beton.

Karena abu sekam padi menyerap lebih banyak air daripada semen, sehingga meningkatkan porositas campuran beton, maka perbedaan 12,5% pada kuat tekan mungkin disebabkan oleh peningkatan kebutuhan air. Berdasarkan temuan ini, dapat dikatakan bahwa 10% adalah

jumlah abu sekam padi yang ideal untuk disubstitusikan ke dalam campuran beton karena memberikan peningkatan kuat tekan terbesar tanpa mengurangi kemampuan kerja beton.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan ASP mempengaruhi sifat mekanis beton, terutama dalam hal *workability* dan kuat tekan. Uji *slump* mengindikasikan bahwa semakin tinggi persentase ASP, semakin rendah nilai *slump* yang diperoleh. Pada beton normal (0% ASP), nilai *slump* mencapai 10,5 cm, sedangkan pada variasi 12,5% ASP, nilai *slump* menurun menjadi 7,8 cm. Hal ini disebabkan oleh sifat ASP yang memiliki luas permukaan lebih besar dibandingkan semen, sehingga menyerap lebih banyak air dalam campuran dan menyebabkan beton menjadi lebih kaku serta sulit dikerjakan.

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 14 dan 28 hari. Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan ASP hingga 10% meningkatkan kuat tekan beton jika dibandingkan dengan beton biasa. Kuat tekan beton biasa pada umur 28 hari adalah 23,78 MPa, namun pada variasi ASP 10% naik menjadi 26,52 MPa. Alasan kenaikan ini adalah karena kualitas pozzolan ASP memungkinkannya bereaksi dengan kalsium hidroksida semen untuk menghasilkan kalsium silikat hidrat (C-S-H), yang memperkuat beton. Namun demikian, kuat tekan turun menjadi 22,74 MPa untuk variasi ASP 12,5%. Hal ini disebabkan oleh porositas yang lebih besar akibat peningkatan penyerapan air oleh ASP dan penurunan kandungan semen sebagai pengikat utama dalam beton.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Bakri (2009) yang menemukan bahwa substitusi ASP dalam jumlah tertentu dapat meningkatkan kuat tekan beton, namun pada kadar yang terlalu tinggi justru menyebabkan penurunan kekuatan. Samsudin dan Sugeng Dwi Hartantyo (2017) juga menyatakan bahwa penggunaan ASP sebagai bahan substitusi semen dapat meningkatkan kuat tekan beton, tetapi berdampak pada penurunan *workability*. Selain itu, penelitian Pirdaus dan Ririn Susanti (2019) menunjukkan bahwa batas optimal penggunaan ASP adalah sekitar 10%, karena pada kadar lebih tinggi terjadi penurunan mutu beton.

Menurut temuan penelitian, penggunaan ASP sebagai pengganti semen pada beton dapat menjadi alternatif yang hemat biaya dan bermanfaat bagi lingkungan. Penggunaan ASP tidak hanya mengurangi penggunaan semen, tetapi juga mengurangi limbah pertanian yang tidak termanfaatkan. Beton yang dihasilkan dapat digunakan dalam berbagai proyek bangunan karena memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi daripada beton biasa dan tingkat substitusi yang ideal sebesar 10%. Untuk mencegah masalah pada *workability* dan porositas beton, penggunaan ASP perlu memodifikasi rasio air-semen dan metode pencampuran.

Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa substitusi ASP dalam jumlah tertentu dapat meningkatkan kuat tekan beton, dengan kadar optimum sebesar 10%. Penggunaan ASP yang berlebihan (>10%) cenderung menurunkan kuat tekan dan *workability* beton. Oleh karena itu, ASP dapat digunakan sebagai bahan substitusi parsial semen dalam beton dengan tetap mempertimbangkan aspek desain campuran dan metode pencampuran yang tepat. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengevaluasi durabilitas beton dengan ASP dalam berbagai kondisi lingkungan serta mengkaji penggunaan bahan tambahan (*admixture*) guna meningkatkan *workability* beton. Selain itu, analisis biaya dan dampak lingkungan dari penggunaan ASP dalam skala industri perlu dilakukan untuk mendukung penerapan teknologi beton ramah lingkungan secara lebih luas.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh substitusi abu sekam padi (ASP) terhadap kuat tekan beton, dapat disimpulkan bahwa penggunaan ASP sebagai bahan substitusi semen memberikan dampak yang signifikan terhadap sifat mekanis beton, terutama pada kuat tekan dan *workability*. Penggunaan ASP dalam jumlah tertentu mampu meningkatkan kuat tekan beton, namun pada kadar yang terlalu tinggi justru menyebabkan penurunan kualitas beton akibat berkurangnya jumlah semen sebagai bahan pengikat utama dalam campuran.

Hasil pengujian *workability* dengan metode *slump test* menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase ASP dalam campuran, semakin rendah nilai slump yang diperoleh. Pada campuran beton normal (0% ASP), nilai slump mencapai 10,5 cm, yang menunjukkan beton dengan tingkat kelecakan yang baik. Namun, pada variasi 12,5% ASP, nilai slump menurun menjadi 7,8 cm, yang menandakan bahwa beton menjadi lebih kaku dan sulit dikerjakan. Hal ini disebabkan oleh luas permukaan ASP yang lebih besar dibandingkan semen, sehingga lebih banyak menyerap air dalam campuran beton. Akibatnya, beton dengan kadar ASP tinggi memerlukan tambahan air atau *admixture* agar tetap dapat dikerjakan dengan baik.

Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa substitusi ASP hingga 10% mampu meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal. Pada umur 14 hari, kuat tekan beton dengan 10% ASP mencapai 23,40 MPa, sedangkan pada umur 28 hari meningkat menjadi 26,52 MPa, yang merupakan nilai kuat tekan tertinggi dalam penelitian ini. Peningkatan ini disebabkan oleh reaksi pozzolanik ASP dengan kalsium hidroksida dalam semen yang membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H), yang memperkuat struktur beton. Namun, pada variasi ASP sebesar 12,5%, kuat tekan mengalami penurunan menjadi 22,74 MPa pada umur 28 hari. Penurunan ini disebabkan oleh berkurangnya kandungan semen dalam campuran, sehingga reaksi hidrasi yang menghasilkan pasta semen menjadi lebih sedikit, serta meningkatnya porositas akibat sifat penyerap air ASP yang tinggi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penggunaan ASP sebagai substitusi parsial semen dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga batas tertentu. Bakri (2009) menyatakan bahwa substitusi ASP dalam jumlah yang sesuai dapat meningkatkan kualitas beton, tetapi pada kadar yang terlalu tinggi justru menurunkan kuat tekan akibat berkurangnya semen sebagai bahan pengikat. Samsudin dan Sugeng Dwi Hartantyo (2017) juga menyatakan bahwa penggunaan ASP dalam beton dapat meningkatkan kuat tekan, namun *workability* beton cenderung menurun seiring dengan meningkatnya kadar ASP. Sementara itu, penelitian Pirdaus dan Ririn Susanti (2019) menemukan bahwa batas optimal penggunaan ASP adalah sekitar 10%, karena pada kadar lebih tinggi, terjadi penurunan mutu beton akibat meningkatnya porositas dan berkurangnya jumlah pasta semen yang terbentuk.

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan ASP sebagai pengganti semen dalam campuran beton dapat menjadi alternatif yang hemat biaya dan bermanfaat bagi lingkungan. Dengan menggunakan ASP sebagai pengganti semen, maka akan lebih sedikit semen yang digunakan, yang akan menurunkan emisi karbon yang dihasilkan selama proses pembuatan semen. Penggunaan ASP juga membantu mengurangi limbah pertanian yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Beton yang dihasilkan dapat digunakan pada berbagai proyek bangunan, terutama untuk pekerjaan non-struktural dan struktural dengan beban sedang,

karena memiliki kuat tekan yang lebih baik dari beton biasa dan tingkat substitusi yang ideal sebesar 10%.

Namun, perlu diperhatikan bahwa penggunaan ASP dalam campuran beton memerlukan penyesuaian dalam rasio faktor air-semen serta teknik pencampuran yang tepat untuk menghindari masalah *workability* dan porositas beton. Jika substitusi ASP terlalu tinggi, beton akan menjadi lebih kaku dan sulit dipadatkan, yang dapat berdampak pada kekuatan akhir beton. Oleh karena itu, dalam penerapan ASP sebagai bahan substitusi semen, perlu dilakukan optimasi komposisi campuran serta evaluasi terhadap metode pencampuran dan perawatan beton.

Sebagai rekomendasi untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan evaluasi terhadap durabilitas beton dengan ASP dalam berbagai kondisi lingkungan, seperti ketahanan terhadap sulfat, karbonasi, dan perubahan suhu ekstrem. Selain itu, kajian mengenai penggunaan bahan tambahan (*admixture*) seperti superplasticizer atau retarder perlu dilakukan untuk meningkatkan *workability* beton dengan ASP tanpa mengorbankan kekuatan tekan. Penelitian mengenai analisis biaya dan dampak lingkungan dari penggunaan ASP dalam skala industri juga perlu dilakukan untuk mendukung penerapan teknologi beton ramah lingkungan yang lebih luas dalam industri konstruksi. Dengan adanya penelitian lanjutan, diharapkan penggunaan ASP sebagai bahan substitusi semen dapat semakin dioptimalkan sehingga memberikan manfaat yang lebih besar, baik dari segi teknis, ekonomi, maupun lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aprianti, E. (2015). A huge number of artificial waste material can be supplementary cementitious material (SCM) for concrete production – a review part II. *Journal of Cleaner Production*, 142, 4173–4193. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.081>
- Anas Puri, A. (2008). *Pengaruh penggunaan abu sekam padi sebagai bahan tambahan dalam campuran beton*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Bakri, E. (2009). Utilization of rice husk ash in cementitious materials: Effect on hydration and strength development. *Construction and Building Materials*, 24(4), 484–489. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.013>
- Elia Hunggurami, D., Supriyono, & Wahyudi, A. (2017). Teknologi beton dan metode pengujiannya. *Jurnal Teknik Sipil*, 5(2), 123–130.
- Mehta, P. K. (2018). *Pozzolanic and cementitious materials*. London: Taylor & Francis.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete* (5th ed.). Pearson Education.
- Pirdaus, A., & Susanti, R. (2019). Pengaruh penambahan abu sekam padi sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), 54–61.
- Samsudin, & Hartantyo, S. D. (2017). Studi pengaruh penambahan abu sekam padi terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 4(2), 87–94.
- SNI 03-1969-1990. (1990). Metode pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar. Badan Standarisasi Nasional.

- SNI 03-2834-2000. (2000). Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-2461-1991. (1991). Metode pengujian kadar lumpur dalam agregat halus untuk beton. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 7974:2013. (2013). Persyaratan air yang digunakan dalam campuran beton. Badan Standarisasi Nasional.
- Tjokrodimuljo, K. (2007). *Teknologi beton*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wahyudi, A. (2014). Beton ramah lingkungan dengan abu sekam padi sebagai pengganti sebagian semen pada era new normal. *Jurnal Teknik Material dan Lingkungan*, 6(3), 203–210.
- Warpani, S. (2002). *Transportasi dan dampak lingkungan*. Bandung: ITB Press.