

Pengaruh Serat Limbah Scrap Baja dan Abu Sekam Padi terhadap Properti Mekanis Beton SCC

Amalia¹⁾, Lilis Tiyani²⁾, Yanuar Setiawan³⁾, Johan Lautan Wijaya Nusantara⁴⁾

^{1, 2, 3)}Departemen Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta, Depok

⁴⁾Teknik Sipil, Sekolah Vokasi, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

Email: amalia@sipil.pnj.ac.id¹⁾, lilis.tiyani@sipil.pnj.ac.id²⁾,
yanuar.setiawan@sipil.pnj.ac.id³⁾, johan.lautan.w.n@staff.uns.ac.id⁴⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v15i2.1295>

(Received: 25 June 2025 / Revised: 23 July 2025 / Accepted: 09 August 2025)

Abstrak

Beton merupakan material getas yang mempunyai kuat tekan tinggi, namun memiliki kuat tarik rendah. Kelemahan ini dapat diantisipasi dengan penggunaan serat sebagai *micro reinforcement* pada beton. Penelitian ini menguji karakteristik beton *Self Compacting Concrete* (SCC) dengan campuran 5% Abu Sekam Padi (ASP) yang diberikan tambahan berbagai dosis serat limbah Scrap Baja, yaitu 0%, 0,25 %, 0,50 %, 0,75% , dan 1% dari berat beton. Pengujian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Tegangan-Regangan, dan Modulus Elastisitas dilakukan dengan menggunakan benda uji silinder beton diameter 15 cm, tinggi 30 cm. Sedangkan, Kuat Lentur beton diuji dengan benda uji balok berukuran 10 cm x 10 cm x 100 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan ASP sebesar 5% dan limbah serat baja sampai dengan 0,75% dapat meningkatkan Kuat Tekan, Kuat Lentur, Kuat Tarik, Modulus Elastisitas, dan Regangan maksimum pada beton.

Kata kunci: *Serat Limbah Scrap Baja, Abu Sekam Padi, Kuat Tekan, Kuat Lentur, Modulus Elastisitas*

Abstract

Concrete is a brittle material with high compressive strength but low tensile strength. This weakness can be addressed by adding fibers as micro-reinforcement within the concrete mixing. This research investigates the characteristics of Self-Compacting Concrete (SCC) with a 5% Rice Husk Ash (RHA) mixture, supplemented by varying dosages of waste steel scrap fibers: 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, and 1% of the concrete weight. Compressive Strength, Split Tensile Strength, Stress-strain behavior, and Modulus of Elasticity were tested using cylindrical concrete specimens with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm. Additionally, the Flexural Strength of the concrete was evaluated using beam specimens 10 cm x 10 cm x 100 cm. The results indicate that the addition of 5% RHA and steel fiber waste up to 0.75% can significantly enhance the compressive strength, flexural strength, tensile strength, modulus of elasticity, and maximum strain of the concrete.

Keywords: *Fiber of steel scrap waste, Rice Husk Ash, Compressive Strength, Flexural Strength, Modulus of Elasticity*

1. Latar Belakang

Perkembangan industri konstruksi saat ini, membutuhkan infrastruktur dan gedung dengan beban besar dan kompleks. Biasanya, struktur beton dengan beban besar dan kompleks membutuhkan tulangan yang rapat sehingga menyulitkan pemadatan beton. Akibatnya, beton menjadi berongga dan keropos yang

menyebabkan kekuatan dan daya tahan beton (durabilitas) menurun. Salah satu cara untuk mengatasi hal ini adalah dengan menggunakan beton yang dapat memadat sendiri yang dikenal dengan *Self Compacting Concrete* (SCC). SCC merupakan beton yang mampu mengalir mengisi bekisting dan celah-celah tulangan yang rapat tanpa terjadi segregasi dan beton tetap homogen.

Kebutuhan beton pada saat ini dan di masa yang akan datang adalah beton ramah lingkungan yang menggunakan bahan campuran limbah tanpa mengurangi kinerja dan kekuatan beton. Salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah pada SCC adalah Abu Sekam Padi (ASP). Pemanfaatan ASP sebagai bahan pengganti agregat halus dapat mengurangi sampah lingkungan serta mampu memberikan kontribusi kekuatan tambahan pada beton (Chachar et al., 2022). Penggunaan material ASP sebagai bahan tambahan pozolanik pada beton dapat mengurangi konsumsi semen portland dan juga meminimalkan limbah karbon yang dihasilkan dari produksi semen (Henry & Lynam, 2020; Singh & Singh, 2015). Di samping itu, pemanfaatan ASP juga dapat menurunkan efek korosi yang disebabkan oleh kondisi lingkungan yang ekstrim (Al-Alwan et al., 2024), serta mampu menurunkan efek *crack* karena adanya ikatan yang lebih baik antara material penyusun beton dan ASP (Bixapathi & Saravanan, 2022).

Secara mekanis, penggunaan ASP dapat meningkatkan nilai kuat lentur, kuat tekan, dan kuat tarik (Amalia et al., 2023). Hasil penelitian penggunaan ASP sebesar 5% pada SCC dapat meningkatkan Kuat Tekan, Kuat Tarik, dan Kuat Lentur beton (Amalia et al., 2022). Penggunaan ASP sebesar 10% pada SCC juga dapat meningkatkan kuat tekan beton dengan serat kawat (Prayuda et al., 2020). Hasil penelitian penggunaan ASP pada beton di air laut menunjukkan bahwa penggunaan ASP dapat meningkatkan Kuat Tarik dan *Modulus of Rupture* (MOR) beton (Chrismaningwang et al., 2017). Penelitian sejenis pada beton mutu tinggi, penggunaan Abu Sekam Padi sebesar 10% juga dapat meningkatkan sifat mekanis beton (Kishore et al., 2011).

Kelemahan beton adalah sangat getas, kuat tarik dan kuat lentur kecil, serta mudah retak. Salah satu cara untuk meningkatkan kuat tarik dan kuat lentur beton adalah dengan menambahkan serat ke dalam campuran beton. Beton yang diberikan penambahan serat baja dapat meningkatkan kuat tekan (Akter et al., 2022), serta memberikan kemampuan tambahan pada sifat kuat tarik, pengurangan *crack*, dan kemampuan daktilitas beton (Hussein & Abbas, 2022). Salah satu jenis serat yang dapat digunakan adalah limbah *scrap* baja. Limbah *scrap* baja merupakan limbah bubutan baja pada industri manufaktur berbentuk serat-serat spiral berdiameter 1-2 mm dengan panjang rata-rata 10 cm, yang bersifat ulet dan liat. Penggunaan serat baja sebesar 1,5%-2% terbukti dapat meningkatkan kuat lentur dan ketangguhan (*toughnes*) beton (Wang et al., 2022). Selain meningkatkan sifat mekanis beton, penggunaan serat dengan rasio volume serat tinggi, lebih dari 2% dapat menurunkan kemampuan *passing* beton SCC (Pajak & Ponikiewski, 2017).

Di dalam desain struktur beton bertulang, untuk memodelkan perilaku material beton di dalam memikul beban perlu diketahui bentuk/model kurva tegangan regangan. Dari bentuk kurva tegangan regangan dapat diketahui kemampuan beton di dalam memikul beban sekaligus kemampuan beton berdeformasi pada saat menerima beban. Selain tegangan dan regangan, modulus elastisitas beton merupakan parameter yang penting diketahui untuk memeriksa lendutan dan retak pada struktur beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi

pengaruh penambahan serat limbah *scrap* baja dan abu sekam padi terhadap properti mekanis beton SCC, yang meliputi Kuat Tekan, Kuat Lentur, Modulus Elastisitas, serta model tegangan-regangan.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di laboratorium pengujian bahan jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta. Serat limbah *scrap* baja yang digunakan berasal dari industri kecil dan menengah bidang bubutan logam di daerah kota Depok, Jawa Barat. Limbah *scrap* baja berbentuk spiral dengan panjang 50 mm-60 mm, dan diameter 1 mm-2 mm. Jumlah limbah yang digunakan pada penelitian ini adalah 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75%, dan 1% dari berat beton. Abu sekam padi digunakan sebagai bahan tambah pada beton SCC sebesar 5% dari berat semen untuk semua variasi benda uji. Abu sekam padi yang digunakan berasal dari limbah sekam padi yang digunakan untuk pembakaran bata merah daerah Kaliwungu, kota Kudus, Jawa Tengah. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen portland, agregat halus, agregat kasar, air, dan *admixture*. Bahan perekat beton digunakan jenis *Portland Composite Cement* (PCC) produksi PT. Indocement Tunggal Perkasa, dengan berat jenis 3.15. Dalam rangka mengurangi penggunaan air dan meningkatkan *flowability* beton SCC, penulis menggunakan *admixture* jenis superplastisizer NAPHTHA 511 P yang diproduksi oleh PT. Karya Naptha Belide Indonesia. Superplastisizer tipe ini dapat digunakan untuk mengurangi jumlah air sampai dengan 20% pada beton SCC. Jumlah superplastisizer yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 0,8% dari berat semen untuk semua variasi benda uji.

2.1 Pengujian Agregat

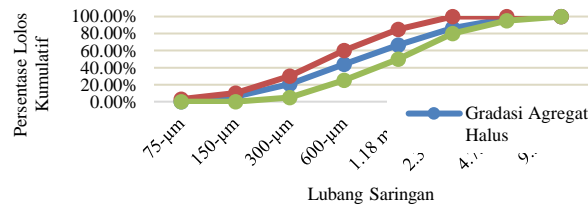
Agregat halus yang digunakan adalah pasir Bangka, sedangkan agregat kasar berupa batu pecah dengan diameter agregat maksimum 10 mm berasal dari Rumpin Bogor, Jawa Barat. Sebelum digunakan untuk membuat campuran beton, sifat-sifat agregat halus dan agregat kasar diuji sesuai dengan standar ASTM. Pengujian agregat halus meliputi: Berat Jenis dan Penyerapan Air (ASTM C128-15), Berat Isi *Bulk Density (Unit Weight) and Voids* (ASTM C29/C29M-17a), Analisa Ayakan (ASTM C136/C136M - 14), Kadar Air (ASTM C566-19), dan Kadar Lumpur (ASTM C117-17). Pengujian agregat kasar meliputi: Berat Jenis dan Penyerapan Air (ASTM C127-15), Berat Isi Asli (ASTM C29/C29M-17a), Analisa Ayakan (ASTM C136/C136M - 14), Kadar Air (ASTM C566-19), dan Kadar Lumpur (ASTM C117-17).

Hasil pengujian sifat-sifat agregat halus dan kasar disajikan pada Tabel 1, sedangkan gradasi agregat halus dan kasar Gambar 1 dan Gambar 2. Berdasarkan hasil pengujian material agregat halus dan kasar, terlihat bahwa agregat yang digunakan telah memenuhi standar untuk pembuatan SCC. Material ASP yang digunakan memiliki Angka Kehalusan ASP, serta 97 % lolos ayakan nomor 200.

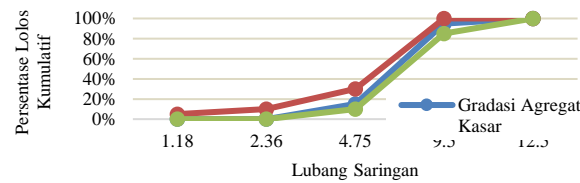
Tabel 1 Sifat-sifat agregat halus dan kasar

No	Sifat-Sifat Bahan	Agregat Halus	Agregat Kasar
1	Berat Jenis	2.57	2.56
2	Berat Jenis (SSD)	2.61	2.61
3	Berat Jenis Semu	2.69	2.71
4	Berat Isi Lepas (kg/m ³)	1382.02	1444.81

5	Berat Isi Padat (kg/m ³)	1514.55	1690.23
6	Penyerapan Air (%)	1.67	2.16
7	Kadar Air (%)	3.86	2.45
8	Fines Modulus (%)	2.79	5.67
9	Kadar Lumpur (%)	0.8%	0.8%
10	Analisa Ayakan	Diameter Agregat Maks 10 mm	



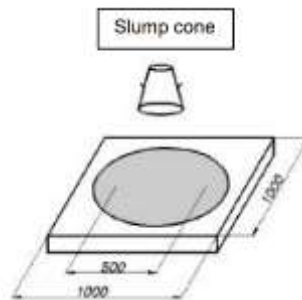
Gambar 1 Gradasi agregat halus



Gambar 2 Gradasi agregat kasar

2.2 Sifat Beton Segar SCC

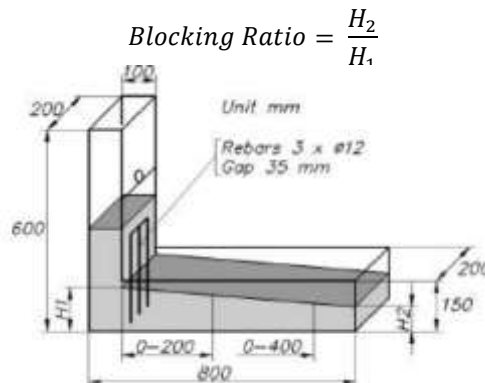
Workability merupakan sifat beton segar untuk menunjukkan kemudahan beton diaduk, dituang, dicetak, dan dipadatkan. Sifat ini dipengaruhi oleh kelecakan, daya menahan air, dan plastisitas adukan beton segar yang tidak terlepas dari sifat bahan dan kehalusan agregat. Properti utama yang harus dijaga pada beton SCC segar adalah *filling ability*, *passing ability*, dan *stability* (Lakshmi et al., 2022).



Gambar 3 Skematis pengujian *filling ability*
(sumber: EFNARC 2002)

Filling ability merupakan kemampuan adukan beton segar untuk mengisi ruang atau rongga. *Filling ability* dalam penelitian ini diuji dengan menggunakan alat Slump Flow T50cm. Campuran beton segar dimasukkan ke dalam Slump cone, selanjutnya cone diangkat. Waktu yang dibutuhkan untuk beton segar mencapai diameter 500mm dicatat sebagai hasil pengujian. Nilai yang kecil menunjukkan tingginya tingkat *filling ability*. EFNARC 2002 mensyaratkan besarnya waktu yang tercatat dalam rentang 2-5 detik untuk penggunaan konstruksi gedung.

Properti SCC segar lainnya adalah *passing ability* yang merupakan kemampuan campuran beton segar untuk melewati tulangan. Beton SCC yang mempunyai sifat *passing ability* yang baik, dapat melewati celah-celah tulangan yang rapat tanpa terjadi segregasi. Pengujian *passing ability* dilakukan dengan menggunakan alat L-Box. Beton segar diisikan pada L-box dan dibiarkan selama satu menit. Selanjutnya bukaan diangkat dan membiarkan beton segar untuk mengalir. Saat beton segar berhenti mengalir, jarak H1 dan H2 diukur, serta menghitung *blocking ratio*. EFNARC 2002 menyarankan besarnya *blocking ratio* minimum memiliki nilai 0.8.



Gambar 4 Skematis pengujian *passing ability*
(sumber: EFNARC 2002)

2.3 Sifat Beton Keras SCC

Sifat mekanis beton keras pada SCC setiap variasi diuji dengan seksama. Sifat yang diuji antara lain adalah Berat Isi, Kuat Tekan, Kuat Tarik, Kuat Lentur, Modulus Elastisitas, dan model Diagram-regangan beton.

2.3.1 Berat Isi Beton

Berat isi beton merupakan nilai yang menyatakan perbandingan antara berat dan volume beton dalam keadaan keras. Berat isi beton berfungsi untuk menghitung berat sendiri struktur. Semakin besar nilai berat isi, maka struktur memiliki berat sendiri yang besar pula. Berat isi beton berhubungan erat dengan kepadatan beton yang akan mempengaruhi kekuatan beton.

$$Berat\ isi = \frac{Berat\ silinder\ (kg)}{Volume\ silinder\ (m^3)} \quad (1)$$

2.3.2 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin uji tekan. Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton di dalam memikul beban yang bekerja pada struktur. Sifat ini merupakan sifat terpenting dan paling dominan pada beton, dibandingkan dengan sifat-sifat beton yang lain. Kuat tekan beton sangat dipengaruhi oleh mutu agregat, mutu perekat, komposisi adukannya, serta tingkat kepadatan beton. Untuk mengetahui perkembangan kekuatan beton, kuat tekan diuji pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Tujuan dilakukan pengujian kuat tekan pada umur ini adalah untuk mengetahui perkembangan kekuatan beton, sehingga dapat ditentukan kapan cetakan beton dapat dibuka, struktur dapat dipasang atau struktur dapat menerima beban. Pengujian kuat tekan

beton dilakukan pada umur 28 hari dengan menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15cm dan tinggi 30cm.

$$\text{Kuat Tekan (MPa)} = \frac{\text{Gaya Tekan (N)}}{\text{Luas lingkaran silinder (mm}^2\text{)}} \quad (2)$$

2.3.3 Kuat Tarik Beton

Kuat tarik beton merupakan kemampuan beton di dalam menahan tegangan tarik yang terjadi pada beton. Beton merupakan jenis material yang getas, yang mempunyai kuat tekan tinggi, namun kuat tariknya rendah. Kuat tarik beton biasanya berkisar antara 10%-15% dari kuat tekannya. Oleh karena itu, dalam menghitung kebutuhan penulangan saat perancangan struktur beton, kuat tarik beton ini diabaikan. Beton dengan kuat tarik tinggi mempunyai sifat tidak mudah retak bila terjadi penyusutan. Pengujian kuat tarik beton dilakukan pada umur 28 hari dengan menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15cm dan tinggi 30cm.

$$T = \frac{2P}{\pi ld} \quad (3)$$

Keterangan:

- T = Kuat tarik beton (MPa)
- P = Gaya (N)
- l = panjang (mm)
- d = diameter (mm)

2.3.4 Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton merupakan kemampuan beton di dalam memikul beban lentur. Gaya dalam yang ditimbulkan akibat beban lentur adalah momen dan geser. Di dalam desain struktur beton bertulang, biasanya elemen struktur yang dominan memikul beban lentur adalah balok dan pelat. Pengujian kuat lentur beton dilakukan pada umur 28 hari dengan menggunakan benda uji balok dengan ukuran 10x10x100cm.

$$R = \frac{3Pl}{2bd^2} \quad (4)$$

Keterangan:

- R = Kuat lentur beton (MPa)
- P = Gaya maksimal (N)
- l = panjang (mm)
- b = lebar rerata benda uji (mm)
- d = kedalaman rerata benda uji (mm)

2.3.5 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton merupakan kemiringan garis singgung dari kondisi tegangan nol ke kondisi tegangan 0,45f_c pada kurva tegangan-regangan beton. Modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh jenis agregat, kelembaban benda uji beton, faktor air semen, umur beton dan temperaturnya. Secara umum, peningkatan kuat tekan beton seiring dengan peningkatan modulus elastisitasnya. Menurut pasal 10.5 SNI-03-2847-2002, hubungan antara nilai modulus elastisitas beton normal dengan kuat tekan beton adalah 4700√f_c.

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan dengan memberikan beban secara bertahap sampai mencapai beban 40% beban puncak. Pemendekan benda uji (ΔL) untuk menghitung regangan longitudinal diperoleh dari hasil pembacaan pada *dial gauge* yang dipasang pada benda uji. Nilai modulus elastisitas beton hasil eksperimen dibandingkan dengan modulus elastisitas teoritis formulasi SNI 03-2846 (2002).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (5)$$

Keterangan:

E = Modulus elastisitas beton (MPa)

σ = Tegangan beton (MPa)

ε = Regangan beton

2.3.6 Tegangan-regangan Beton

Nilai regangan maksimum digunakan untuk mengetahui perilaku beton pada saat menerima beban puncak. Beton yang mempunyai regangan maksimum tinggi, mempunyai perilaku lebih daktil. Sebaliknya, beton yang mempunyai regangan maksimum kecil, bersifat lebih getas. Berdasarkan SNI-2847 (2002), regangan maksimum beton yang digunakan untuk desain struktur beton bertulang diambil sebesar 0,0030. Regangan maksimum beton pada penelitian ini tidak dapat dicapai, karena pengukuran regangan setelah benda uji retak, tidak akurat.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (6)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (7)$$

Keterangan:

P = Gaya tekan (N)

A = Luas bidang beton (mm²)

ΔL = Perubahan panjang benda uji (mm)

L = Panjang awal (mm)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Sifat Beton Segar SCC

Hasil pengujian terhadap sifat beton segar SCC disajikan pada, dan. Berdasarkan hasil uji *filling ability* yang tertera pada Tabel 2, penggunaan serat limbah *scrap* baja dalam campuran beton SCC menyebabkan fluiditas beton SCC turun. Hal ini terlihat dari waktu yang diperlukan aliran beton untuk mencapai diameter 50 cm semakin lama. Kondisi ini terjadi karena penambahan serat pada adukan membuat aliran beton menjadi terhambat. Semakin banyak persentase serat yang ditambahkan ke dalam beton SCC menyebabkan *filling ability* beton tersebut semakin kecil. Namun demikian, penggunaan serat limbah *scrap* baja sampai dengan 1%, *filling ability* beton tersebut masih memenuhi syarat yang ditentukan oleh EFNARC. Pada pengujian *Slump Flow* T50cm, juga terlihat homogenitas beton. Penambahan serat logam pada beton SCC tidak menyebabkan segregasi dan *bleeding* pada beton segar.

Berdasarkan hasil uji *passing ability* yang disajikan pada Tabel 3, beton SCC yang menggunakan serat limbah *scrap* baja menghasilkan nilai *passing ability* lebih tinggi dibandingkan dengan beton SCC tanpa limbah *scrap* baja. Kondisi ini terlihat

dari nilai *blocking ratio* hasil pengujian L-Box yang mengalami peningkatan. Hal tersebut menunjukkan bahwa kemampuan beton SCC dengan serat *scrap* baja untuk melewati celah tulangan yang rapat lebih tinggi dibandingkan dengan beton tanpa serat. Adukan beton untuk semua variasi memenuhi syarat beton sebagai beton SCC seperti dalam ketentuan EFNARC yang mensyaratkan nilai *blocking ratio* sebesar 0,8 – 1,0.

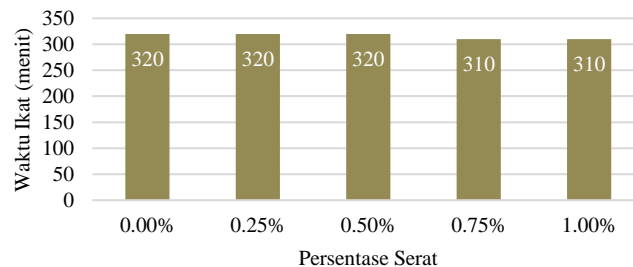
Tabel 2 Hasil pengujian *filling ability*

Persentase Serat	Waktu (detik)	Syarat (detik)	Keterangan
0.00%	3.00	2 - 5	Memenuhi
0.25%	3.10		Memenuhi
0.50%	3.20		Memenuhi
0.75%	3.93		Memenuhi
1.00%	4.25		Memenuhi

Gambar 5 menunjukkan hasil dari pengujian waktu ikat beton untuk semua variasi benda uji yang cenderung sama. Hal ini berarti penggunaan serat limbah *scrap* baja pada beton SCC tidak mempengaruhi waktu ikat awal beton karena limbah *scrap* baja tidak mempengaruhi reaksi kimiawi pada saat proses hidrasi semen.

Tabel 3 Hasil pengujian *passing ability*

Persentase Serat	H2 (cm)	H1 (cm)	<i>Blocking ratio</i> (H2/H1)	Syarat	Keterangan
0.00%	6.5	7	0.929	0.80 - 1.0	Memenuhi
0.25%	6.3	6.5	0.969		Memenuhi
0.50%	6.3	6.7	0.940		Memenuhi
0.75%	7	7.5	0.933		Memenuhi
1.00%	5.5	6	0.917		Memenuhi



Gambar 5 Hasil pengujian waktu ikat beton

3.2 Sifat Beton Keras SCC

3.2.1 Berat Isi Beton

Tabel 4 menyajikan hasil pengujian Berat Isi Beton. Penggunaan serat limbah *scrap* baja pada beton dapat meningkatkan berat isi beton. Namun demikian, berat isi beton pada kadar serat 1% menurun. Hal ini terjadi karena penambahan jumlah serat sebesar 1%, *workability* beton SCC menurun. Kondisi ini terlihat dari hasil pengujian *slump flow* T-50, dimana waktu yang dibutuhkan beton SCC untuk mengalir lebih lama dibandingkan dengan benda uji variasi lain, walaupun masih memenuhi syarat. Penurunan *workability* dapat menyebabkan pemadatan beton terganggu, yang mengakibatkan kepadatan beton menurun.

Tabel 4 Hasil pengujian berat isi beton

Persentase Serat	0.00%	0.25%	0.50%	0.75%	1.00%
Berat Isi Rata-Rata (Kg/m ³)	2308.72	2333.88	2365.34	2352.76	2187.12

3.2.2 Kuat Tekan Beton

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton disajikan pada Tabel 5. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan serat limbah *scrap* baja dapat meningkatkan kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Pada umur 28 hari, berturut-berturut beton dengan kadar serat 0,25% mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 10,26%, kadar serat 0,50% kuat tekan meningkat sebesar 37,32%, kadar serat 0,75% kuat tekan meningkat sebesar 29,91% serta kadar serat 1% kuat tekan meningkat sebesar 14,53%. Peningkatan kuat tekan terbesar terjadi pada beton dengan kadar serat 0,5%. Penggunaan serat limbah *scrap* baja dapat menghasilkan kuat tekan beton sebesar 45,48 MPa pada kadar serat 0,5%.

Tabel 5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Persentase Serat	Kuat Tekan Rerata (MPa)				% peningkatan pada umur 28 hari
	3 hari	7 hari	14 hari	28 hari	
0,00%	21,21	25,99	28,78	33,12	
0,25%	22,70	30,44	31,95	36,52	10,28%
0,50%	29,06	34,82	38,41	45,48	37,32%
0,75%	28,82	30,86	38,41	43,03	29,91%
1,00%	24,46	36,52	33,63	37,93	14,53%

3.2.3 Kuat Tarik Beton

Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik yang disajikan pada Tabel 6, terlihat bahwa penggunaan serat limbah *scrap* baja pada beton SCC menyebabkan kuat tarik beton meningkat. Pada beton dengan kadar serat 0,25%, kuat tarik beton meningkat sebesar 36,53%, kadar serat 0,50% kuat tarik beton meningkat sebesar 38,36%, kadar serat 0,75% kuat tarik beton meningkat sebesar 85,39%, serta kadar serat 1% kuat tarik beton meningkat sebesar 67,58%. Peningkatan kuat tarik terbesar pada beton dengan kadar serat 0,75%. Hal ini berarti penggunaan serat limbah *scrap* baja pada beton dapat mengurangi sifat getas dan dapat menghambat retak akibat penyusutan pada beton.

Tabel 6 Hasil pengujian kuat tarik belah beton

Persentase Serat	Kuat Tarik Formula SNI $0,33\sqrt{f_c}$ (MPa)	Kuat Tarik Belah rata-rata (MPa)	Peningkatan Kuat Tarik
0.00%	1.9	1.55	
0.25%	1.99	2.12	36.53%
0.50%	2.23	2.14	38.36%
0.75%	2.16	2.87	85.39%
1.00%	2.03	2.6	67.58%

Penambahan serat pada beton mengakibatkan beban tarik yang timbul akan dilawan oleh gaya lekatan antara beton dengan serat sehingga terjadi peralihan perlawanan tegangan tarik dari beton ke serat. Beton serat akan mengalami kegagalan apabila kuat lekat terlampaui dan terjadi proses cabut (*pull out*). Peningkatan kemampuan menahan beban tarik beton serat berasal dari kumulatif gaya perlawanan ikatan beton serat tunggal terhadap tegangan tarik. Kuat

tarik beton berbanding lurus dengan akar kuadrat kuat tekannya. Kuat tarik beton SCC untuk semua variasi, nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tarik yang diprasyarkan SNI 2847:2002, yaitu sebesar $0.33\sqrt{f_c}$.

3.2.4 Kuat Lentur Beton

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 7, terlihat bahwa penggunaan serat limbah *scrap* baja dapat meningkatkan kuat lentur beton. Penggunaan serat limbah *scrap* baja sebesar 0,25% dapat meningkatkan kuat lentur beton sebesar 20,5%, beton SCC dengan kadar serat 0,50% kuat lentur naik sebesar 20,5%, beton dengan kadar serat 0,75% kuat lentur meningkat sebesar 22,7%, sedangkan beton dengan kadar serat 1%, kuat lentur naik sebesar 18,2%. Kuat lentur berhubungan erat dengan kuat tarik dan kuat tekan beton. Semakin tinggi kuat tekan beton, maka kuat lentur dan kuat tariknya semakin tinggi.

Penambahan serat pada beton akan menjadikan beton mengalami peningkatan sifat struktural yang dipengaruhi oleh orientasi penyebaran serat (*fiber dispersion*), lekatan pada alur retakan, panjang tertanam serat yang tidak teratur. Adanya serat dalam beton membuat beton tidak mengalami patah seketika. Penggunaan serat dalam campuran beton, menyebabkan mekanisme penyerapan energi dilakukan secara bertahap mulai dari saat retakan matriks (*matrix cracking*), pelepasan ikatan pada permukaan serat/matriks (*fiber/matrix debonding*), aksi serat yang mengikat sekelilingnya (*fiber bridging*), proses cabut (*pull out*), dan keruntuhan serat (*fiber failure*). Mekanisme ini membuat beton serat masih dapat menerima pembebanan meskipun sudah mengalami retak pertama yang digambarkan dengan kurva beban-lendutan.

Dalam desain struktur beton bertulang, terutama untuk menghitung kebutuhan tulangan, kuat lentur beton diabaikan. Daerah tarik yang terjadi akibat momen lentur, ditahan seluruhnya oleh tulangan. Beton dianggap tidak mampu menahan tarik. Namun demikian, beton harus memenuhi persyaratan kuat tarik lentur seperti dalam ketentuan SNI T 12-2004 pasal 4.4.1.1.3 yaitu sebesar $0,6\sqrt{f_c}$. Hasil penelitian menunjukkan semua benda uji beton SCC tidak memenuhi syarat minimum kuat lentur ketentuan SNI.

Tabel 7 Hasil pengujian kuat lentur beton

Persentase Serat	Kuat Lentur Formula SNI = $0,60\sqrt{f_c}$ (MPa)	Kuat Lentur Rata-Rata (MPa)	Peningkatan Kekuatan
0.00%	3.45	2.86	
0.25%	3.63	3.45	20.50%
0.50%	4.05	3.45	20.50%
0.75%	3.94	3.51	22.70%
1.00%	3.7	3.38	18.20%

3.2.5 Modulus Elastisitas Beton

Dari hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 8, terlihat bahwa modulus elastisitas beton SCC serat limbah *scrap* baja tertinggi dihasilkan oleh beton dengan kadar serat 0,50%. Penggunaan serat limbah *scrap* baja sampai dengan 0,75 % dapat meningkatkan modulus elastisitas beton. Beton dengan kadar serat 0,25%, modulus elastisitas meningkat sebesar 18,19%, kadar serat 0,50% modulus elastisitas beton meningkat sebesar 53,14%, serta beton dengan kadar serat 0,75%

modulus elastisitas beton meningkat sebesar 52,51%. Modulus elastisitas beton menurun pada kadar serat 1%.

Modulus elastisitas beton berhubungan erat dengan kuat tekan beton, dimana modulus elastisitas beton semakin tinggi seiring dengan meningkatnya kuat tekan beton. Beton SCC dengan kadar serat 0,50%, mempunyai kuat tekan paling tinggi dibandingkan dengan beton tanpa serat, sehingga dengan energi yang sama dihasilkan pemendekan dan regangan longitudinal yang lebih kecil dibandingkan dengan beton tanpa serat. Regangan longitudinal yang kecil ini akan membuat nilai modulus elastisitas beton menjadi lebih tinggi. Selain itu, kuat tekan yang lebih tinggi menyebabkan kemampuan beton dalam mentransfer tegangan semakin meningkat sehingga modulus elastisitasnya juga meningkat.

Beton SCC dengan kadar serat 0,5% menghasilkan modulus elastisitas lebih tinggi dibandingkan dengan beton tanpa serat. Kondisi ini juga berhubungan dengan kepadatan beton. Beton dengan kadar serat 0,5% memiliki kepadatan yang tinggi, hal ini terlihat dari berat isi beton tersebut lebih tinggi dibandingkan beton tanpa serat. Nilai modulus elastisitas beton dengan serat limbah *scrap* baja memenuhi persyaratan nilai modulus elastisitas teoritis menurut formulasi yang ditetapkan SNI-03-2847 (2002). Hanya beton SCC dengan kadar serat 1% yang menghasilkan modulus elastisitas lebih kecil dibandingkan modulus elastisitas teoritis menurut formulasi SNI.

Tabel 8 Hasil modulus elastisitas beton

Persentase Serat	Modulus Elastisitas SNI 4700 $\sqrt{f_c}$ (MPa)	Rerata Modulus Elastisitas (MPa)	Peningkatan Modulus Elastisitas
0.00%	27209.53	25021.91	
0.25%	27036.1	29573.86	18.19%
0.50%	30719.95	38319.14	53.14%
0.75%	30812.45	38160.39	52.51%
1.00%	28868	24918.76	

3.2.6 Tegangan-Regangan Beton

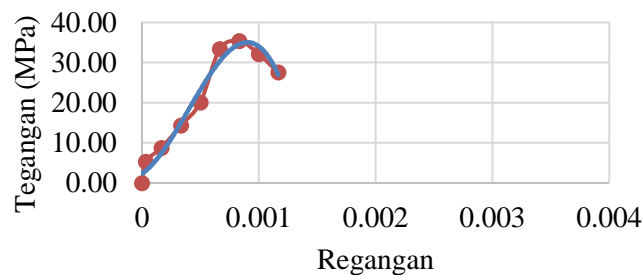
Hasil pengujian tegangan dan regangan beton ditampilkan pada Tabel 9. Berdasarkan hasil tersebut, terlihat bahwa beton dengan serat limbah *scrap* baja mempunyai tegangan maksimum lebih tinggi dibandingkan beton tanpa serat. Beton yang menggunakan serat sebesar 1% mempunyai regangan maksimum paling tinggi dibandingkan dengan benda uji variasi lain. Penggunaan serat limbah *scrap* baja pada beton dapat meningkatkan regangan maksimum beton.

Nilai regangan maksimum digunakan untuk mengetahui perilaku beton pada saat menerima beban puncak. Beton yang mempunyai regangan maksimum tinggi, mempunyai perilaku lebih daktil. Sebaliknya, beton yang mempunyai regangan maksimum kecil, bersifat lebih getas. Berdasarkan Tabel 9, dapat diketahui bahwa penggunaan serat limbah *scrap* baja pada beton membuat beton bersifat lebih daktil jika dilihat dari nilai regangan maksimumnya. Berdasarkan SNI-2847-2002, regangan maksimum beton yang digunakan untuk desain struktur beton bertulang diambil sebesar 0,0030. Regangan maksimum beton pada penelitian ini tidak dapat dicapai, karena pengukuran regangan setelah benda uji retak, tidak akurat. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa penggunaan serat limbah *scrap* baja juga meningkatkan nilai regangan pada saat beban puncak.

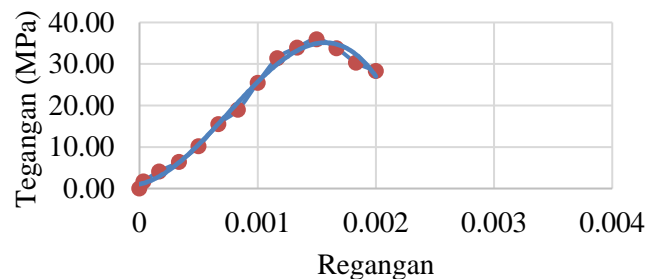
Gambar 6 hingga 10 memperlihatkan kurva hubungan tegangan regangan beton dengan berbagai dosis serat limbah *scrap* baja. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat pada bagian pertama kurva sekitar 40% dari tegangan maksimum masih linier, setelah mendekati $\pm 70\%$ tegangan maksimum beton banyak kehilangan kekakuannya sehingga bentuk kurva menjadi tidak linier. Pada beban batas, retak yang terjadi searah dengan beban semakin jelas dan pada kondisi ini silinder beton akan segera hancur. Hasil pengujian secara umum menunjukkan bahwa (1) Semakin rendah kuat tekan beton maka regangan maksimum beton semakin tinggi; (2) Terjadi reduksi terhadap daktilitas seiring dengan kenaikan kuat tekan beton. Hal ini terlihat dari bentuk kurva yang semakin tajam pada beton dengan kuat tekan tinggi. (3) Panjang bagian linier kurva semakin bertambah seiring dengan meningkatnya kuat tekan beton.

Pada bagian 40% tegangan puncak memperlihatkan kecenderungan yang hampir sama, namun setelah melewati 40% f_c , bentuk kurva beton dengan serat lebih landai dibandingkan dengan bentuk kurva beton tanpa serat. Pada beton dengan serat, kurva pra puncak dan pasca puncak terlihat lebih landai dibandingkan dengan beton tanpa serat. Dilihat dari bentuk kurvanya, beton SCC serat limbah *scrap* baja mempunyai perilaku lebih daktil dibandingkan beton tanpa serat.

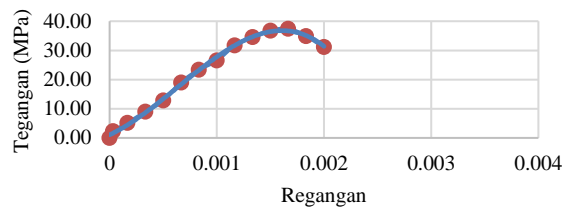
Bentuk kurva tegangan regangan beton SCC serat dengan kadar 0,5% sampai 1%, kurva pra-puncak sampai $\pm 70\%$ f_c menunjukkan bentuk lebih melengkung dan memiliki kekakuan lebih besar dibandingkan beton tanpa serat. Hal ini terjadi karena sampai pada pembebanan $\pm 70\%$ beban maksimum, penambahan gaya menyebabkan perubahan regangan yang kecil. Hasil pada Gambar dan 7 juga menunjukkan bahwa peningkatan tegangan maksimum pada beton SCC menyebabkan bentuk kurva tegangan regangan menjadi lebih curam dibandingkan beton dengan kuat tekan lebih rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan tegangan tekan beton menyebabkan beton bersifat lebih getas.



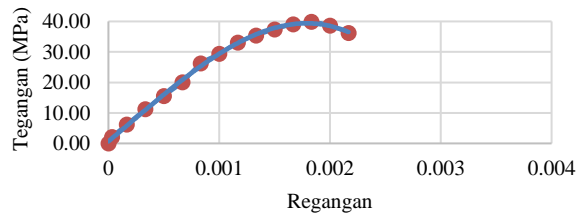
Gambar 6 Diagram tegangan-regangan beton tanpa serat *scrap* baja



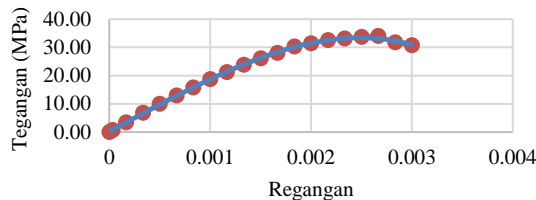
Gambar 7 Diagram tegangan-regangan beton dengan serat *scrap* baja 0,25%



Gambar 8 Diagram tegangan-regangan beton dengan serat *scrap* baja 0,5%



Gambar 9 Diagram tegangan-regangan beton dengan serat *scrap* baja 0,75%



Gambar 10 Diagram tegangan-regangan beton dengan serat *scrap* baja 1%

Tabel 9 Regangan dan tegangan maksimum beton

Persentase Serat	0.00%	0.25%	0.50%	0.75%	1.00%
Regangan maksimum Beton	0.0014	0.0016	0.0019	0.0020	0.0046
Tegangan maksimum Beton (MPa)	33.12	36.52	45.48	43.03	37.93

3 Kesimpulan dan Saran

3.2 Kesimpulan

Beton SCC dengan ASP 5% menggantikan semen dan serat limbah *scrap* baja menghasilkan nilai *filling ability* dan *passing ability* beton SCC memenuhi persyaratan beton SCC menurut standar EFNARC. Waktu ikat awal beton dengan ASP 5% menggantikan semen dan serat limbah *scrap* baja tidak jauh berbeda dengan waktu ikat awal beton SCC tanpa serat. Berat isi beton dengan dengan ASP 5% menggantikan semen dan serat limbah *scrap* baja lebih tinggi dibandingkan berat isi beton tanpa serat. Penggunaan ASP 5% dan serat limbah *scrap* baja sampai dengan 1%, dapat meningkatkan kuat tekan beton. Peningkatan kuat tekan beton tertinggi pada kadar serat 0,5%. Kuat tekan tertinggi sebesar 45,48 MPa. Penggunaan ASP 5% dan serat limbah *scrap* baja sampai dengan 1%, dapat meningkatkan kuat tarik beton sebesar 85,39% pada kadar serat 1%. Kuat lentur beton mengalami peningkatan seiring dengan penambahan jumlah serat limbah *scrap* baja. Kuat lentur tertinggi dihasilkan oleh beton dengan kadar serat 0,75%. Modulus elastisitas beton tertinggi dihasilkan oleh beton dengan kadar serat sebesar 0,5%. Penggunaan serat limbah *scrap* baja sampai dengan 0,75% dapat

meningkatkan modulus elastisitas beton. Penggunaan ASP 5% dan serat limbah *scrap* baja sampai dengan 1%, dapat meningkatkan regangan beton maksimum dan dapat meningkatkan daktilitas beton. Penggunaan ASP 5% dan serat limbah *scrap* baja sampai dengan 1%, dapat meningkatkan semua sifat mekanis beton. Sifat-sifat mekanis beton yang dihasilkan memenuhi persyaratan SNI 03-2847-2002.

3.3 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut terkait penggunaan jenis serat limbah bubutan logam yang berbentuk lurus. Selain itu juga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang daktilitas beton jika serat diaplikasikan pada balok beton bertulang.

Daftar Kepustakaan

- Akter, F., Das, S. S., Rahman, A., Rahmatullah, M., Ahmed, T., & Mamun, H. A. (2022). An Experimental Study on Compressive Strength of Fiber Reinforced Concrete With Fly Ash. *6th International Conference on Advances in Civil Engineering (ICACE-2022)*, 508–515. www.cuet.ac.bd/icace
- Al-Alwan, A. A. K., Al-Bazoon, M., I.Mussa, F., Alalwan, H. A., Hatem Shadhar, M., Mohammed, M. M., & Mohammed, M. F. (2024). The Impact of Using Rice Husk Ash as a Replacement Material in Concrete: An Experimental Study. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 36(4), 249–255. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2022.03.002>
- Amalia, Setiawan, Y., Tiyani, L., & Murdiyoto, A. (2023). Effect of Rice Husk Ash and Steel Fibers on Self-Compacting Concrete Properties. *International Journal of GEOMATE*, 25(108), 130–137. <https://doi.org/10.21660/2023.108.3677>
- Amalia, Tiyani, L., Setiawan, Y., & Hasan, M. F. R. (2022). Performance of SCC Concrete with Additional Materials of Rice Husk Ash. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1116(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1116/1/012074>
- ASTM International. (2014). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates (ASTM C136/C136M-14)*. ASTM International. https://doi.org/10.1520/C0136_C0136M-14
- ASTM International. (2015a). *ASTM C128-15: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate (ASTM C128-15)*.
- ASTM International. (2015b). *Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate (ASTM C127-15)*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0127-15>
- ASTM International. (2017a). *ASTM C29/C29M-17a: Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate (ASTM C129/C129M-17a)*. ASTM International.
- ASTM International. (2017b). *ASTM C117-17: Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing (ASTM C117-17)*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0117-17>

- ASTM International. (2019). *ASTM C566-19: Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying* (ASTM C566-19). ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0566-19>
- Bixapathi, G., & Saravanan, M. (2022). Strength and Durability of Concrete using Rice Husk Ash as a Partial Replacement of Cement. *Materials Today: Proceedings*, 52, 1606–1610. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.267>
- Chachar, Z. A., Ali, I., Raza, M. S., Narwani, T. Das, Raza, I., & Hussain, M. (2022). Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams by using Rice Husk Ash as Partial Replacement of Fine Aggregates in Cement Concrete. *Jurnal Kejuruteraan*, 34(4), 599–604. [https://doi.org/10.17576/jkukm-2022-34\(4\)-08](https://doi.org/10.17576/jkukm-2022-34(4)-08)
- Chrismaningwang, G., Basuki, A., & Sambowo, K. A. (2017). The Effect of Seawater Curing on the Correlation between Split Tensile Strength and Modulus of Rupture in High-strength Concrete Incorporating Rice Husk Ash. *Procedia Engineering*, 171, 774–780. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.447>
- Henry, C. S., & Lynam, J. G. (2020). Embodied Energy of Rice Husk Ash for Sustainable Cement Production. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100004>
- Hussein, O. A., & Abbas, A. N. (2022). Self-Compacting Concrete Strengthening Efficiency Investigation by Using Recycled Steel Waste as Fibers. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*, 31(4), 249–258. <https://doi.org/10.22630/srees.3901>
- Kishore, R., Bhikshma, V., & Jeevana Prakash, P. (2011). Study on Strength Characteristics of High Strength Rice Husk Ash Concrete. *Procedia Engineering*, 14, 2666–2672. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.335>
- Lakshmi, B., Kumar Merugu, V., Vyas A, Solanki, K., & Katukam, M. (2022). Study on Self Compacting Concrete using Industrial Waste Material (Steel Slag). *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 13(03), 1336–1347.
- Pajak, M., & Ponikiewski, T. (2017). Experimental Investigation on Hybrid Steel Fibers Reinforced Self-compacting Concrete under Flexure. *Procedia Engineering*, 193, 218–225. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.207>
- Prayuda, H., Cahyati, M. D., & Monika, F. (2020). Fresh Properties Characteristics And Compressive Strength Of Fiber Self-Compacting Concrete Incorporated With Rice Husk Ash And Wire Steel Fiber. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 11(1), 290–299. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2020.11.01.028>
- Singh, J., & Singh, H. (2015). A Review on Utilization of Rice Husk Ash in Concrete. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology (IJIERT)*, 2(11).
- Wang, S., Zhu, H., Liu, F., Cheng, S., Wang, B., & Yang, L. (2022). Effects Of Steel Fibers And Concrete Strength On Flexural Toughness Of Ultra-High Performance Concrete With Coarse Aggregate. *Case Studies in Construction Materials*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01170>