



Analisis Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Sawit pada HESC untuk Peningkatan Kualitas Mutu Beton

Delfian Masrura^{1*}, Aulia Rahman², Inseun Yuri Salena³, Alvisyahrin⁴, Cut Nadia Putri⁵

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar,
⁵ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar,
Jl. Alue Peunyareng, Aceh Barat 23615, Indonesia

*Corresponding author: delfianmasrura@utu.ac.id

ARTICLE INFO

Received: 23-04-2025
Revision: 26-04-2025
Accepted: 28-04-2025

Keywords:

Concrete
Palm Shell Ash
Compressive Strength

ABSTRACT

West Aceh Regency produces 2,804 tons/year of palm oil with a total of 1.8 million tons/year of palm shell waste. Utilization and solutions to palm shell waste can be done by burning palm shells at high temperatures until they become ashes. Palm ash contains a certain amount of silica and has pozzolan qualities. This study aims to decide the impact of the utilize of palm shell ash and silicafume in High Early Strength Concrete (HESC) concrete mixtures on the magnitude of the compressive strength of concrete. The method used is the experimental laboratory method using American Concrete Institute (ACI) method. The composition of the test pieces is normal concrete (BN), palm shell ash concrete (BCS) with a percentage of 3%, 5%, and 7% plus silicafume 1.5% of the cement weight. The test specimen uses a cylinder with a diameter of 15 cm x 30 cm totaling 24 pieces. Based on the results of the maximum compressive strength of 7-day concrete life of 22.552 MPa of BN test piece, the minimum value is 19.155 MPa of 7% BCS test piece. At 28 days of concrete age, the maximum compressive strength is 26.893 MPa for 3% BCS test piece, and the minimum value is 22.364 MPa for 5% BCS test piece. Based on the results of the tests and analyses carried out, it can be concluded that the expansion of palm shell fiery remains and silicafume to the concrete blend can increment the compressive quality of concrete on average above 20 MPa over time due to the influence of the percentage of pozzolan shell ash and the additive substance silicafume.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan beton sebagai bahan bangunan utama meliputi kemampuannya menahan tekanan tekan, mudah dibentuk, tahan terhadap tingginya temperatur, dan lebih ekonomis dalam pembuatannya jika perbandingannya terhadap baja. Beton juga memiliki kekurangan selain banyak manfaatnya. Kerapuhan beton dan ketahanannya yang buruk terhadap tekanan tarik merupakan kekurangannya [1]. Dalam pembuatan beton yang berkekuatan tinggi, salah satu syarat pentingnya adalah komposisi material sedemikian rupa sehingga beton dipertahankan sesuai dengan kriteria yang direncanakan [2]. Untuk menghasilkan kualitas beton yang baik dilakukan penambahan bahan tambah pada beton agar mampu meningkatkan kekuatan terhadap beton dan memperbaiki sifat-sifat beton menjadi lebih berkualitas [3].

Beton normal memiliki kuat tekan kurang dari 50 MPa, beton kinerja tinggi memiliki kuat tekan antara 50 dan 90 MPa, dan beton kinerja ultra tinggi memiliki kuat tekan lebih dari 90 MPa [4]. Kuat tekan beton menjadi dasar dari ketiga klasifikasi tersebut [5]. Selain agregat dan semen, air juga merupakan salah satu faktor penting dalam pembuatan beton. Faktor Air Semen (FAS) dapat diketahui berdasarkan jenis semen yang dipakai dan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur 28 hari [6]. Rendahnya nilai FAS adalah faktor terpenting dalam produksi beton

berkualitas tinggi untuk meminimalkan porositas beton. Semakin besar volume faktor air semen (FAS), semakin rendah ketahanan tekanan beton [2].

Kabupaten Aceh Barat menghasilkan kelapa sawit sebanyak 4 ton/tahun dengan limbah cangkang sawit besarnya dapat menyentuh angka 1,8 juta ton/tahun. Pemanfaatan dan solusi harus dilakukan terhadap jumlah limbah cangkang sawit yang cukup besar. Secara khusus pembakaran cangkang sawit pada suhu tinggi akan mengakibatkan terbentuknya kerak keras berwarna putih keabu-abuan yang dikenal sebagai abu cangkang sawit [7]. Seperti diketahui abu sawit mengandung sejumlah besar silika (sekitar 61%) dan memiliki kualitas pozzolan. Abu cangkang sawit tersebut diupayakan agar dapat menjadi bahan yang berguna sebagai bahan campuran beton karena jumlah ketersediaan cangkang sawit sangat banyak dan mudah diperoleh [8]. Bahan tambah lainnya yang dapat digunakan bisa berupa kimia (chemical admixture) dan mineral (admixture additive) [9]. Silica fume merupakan campuran mineral yang berbentuk zat pozzolan halus dan memiliki rentang ukuran silika fume berkisar antara 0,1 hingga 1 mikron. Dengan mengisi ruang antar butiran semen, silika fume dapat membuat campuran beton lebih padat dan mengalami fase jenuh, yang dapat meningkatkan kuat tekan beton [3].

Seiring bertambahnya pengetahuan tentang aditif dan komponen beton [10], kekuatan tekan beton itu sendiri dapat ditingkatkan, menjadi fokus utama dalam penelitian ini dengan memanfaatkan material yang ramah lingkungan abu cangkang sawit dan silika fume additive pada beton. Penggunaan abu cangkang sawit dan silika fume pada beton High Early Strength Concrete (HESC) menghasilkan mutu beton yang baik dari yang direncanakan sehingga mengetahui besarnya nilai kuat tekan dan kuat tarik belah maksimum yang dihasilkan [11]. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengurangi keberadaan limbah palem untuk menciptakan lingkungan yang bersih dan sehat.

Untuk penelitian terdahulu terkait dengan Campuran Abu Boiler pada beton yang dibandingkan dengan beton normal untuk Jembatan di Seunagan [12] bertujuan untuk menganalisis efek komponen beton pada kekuatan tekan antara beton biasa dan bahan boiler abu yang ditambahkan. Dari hasil kekuatan tekan, kesimpulan yang didapat adalah peningkatan nilai menjadi 17,57 MPa pada kadar tambahan 6% dan juga meningkat 2,21 MPa ketika ditambahkan kadar 4%. Pada penelitian lainnya, masih berkaitan dengan seberapa besar dampak dari penggunaan Silica Fume pada campuran beton terhadap kuat tekannya untuk kategori High Strength Self Compacting Concrete [13] dilakukan dengan beberapa metode, yaitu flow table test, l-box test, dan v- funnel test. Berdasarkan hasil penelitian kuat tekan maksimum yang dicapai di umur beton matangnya adalah sebesar 67,65 Mpa dengan penambahan silika fume sebesar 9%. Disimpulkan bahwa dengan adanya silika fume dapat menambah nilai kuat tekan beton di usia 14, maupun usia 28 hari.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh abu cangkang sawit dengan bahan tambah silika fume terhadap High Early Strength Concrete (HESC) dengan persentase sebesar 0%, 3%, 5%, dan 7% terhadap berat semenn serta untuk mengetahui nilai kuat tekan maksimum dari pengaruh abu cangkang sawit pada umur beton 7 dan 28 hari. Dengan demikian, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui perbandingan antara beton biasa yang dikombinasikan dengan silika fume dan abu cangkang sawit, sehingga menciptakan salah satu inovasi beton yang paling ramah lingkungan karena membantu mengurangi limbah cangkang sawit terhadap lingkungan.

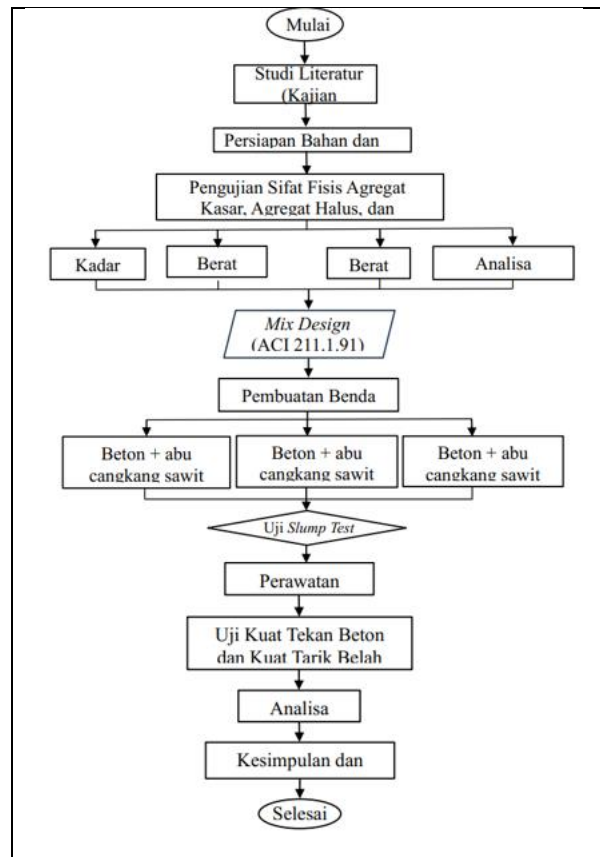
2. METODE PENELITIAN

Metode eksperimental adalah metode yang dipilih dalam penelitian ini yaitu dengan membuat sampel beton sebagai benda ujinya Penelitian ini dilakukan di Jalan Alue Peunyareng Kecamatan Meureubo Kabupaten Aceh Barat titik koordinat 4°08'40" N 96°11'46"E untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar berperan sebagai tempat pengujian dan eksperimen untuk penelitian ini. Untuk memudahkan pelaksanaannya tahapan-tahapan dalam pelaksanaan penelitian ini ditampilkan dalam bentuk bagan alir (*flow chart*).



Gambar 2. Bagan Alir

Penelitian ini tidak dapat dipisahkan dari informasi pendukung. Informasi pendukung bersumber dari data primer dan data sekunder. mendapatkan data primer, tahapan pelaksanaan yang ditempuh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tahapan Pemeriksaan Agregat (Kasar dan Halus)
Pada tahap ini akan dilakukan pemeriksaan terhadap agregat diantaranya periksa nilai berat jenis oven dry (OD) dan berat jenis saturated surface dry (SSD) [14].
2. Perencanaan campuran (Mix Design)
Tahap selanjutnya adalah merencanakan campuran beton (mix design) setelah dilakukan pengujian air, cangkang kelapa sawit, agregat kasar, dan agregat halus. Proses Mix Design menggunakan metode ACI 211.1.91.
3. Pembuatan Benda Uji
Benda uji yang dibuat untuk penelitian ini adalah beton dengan ukuran tinggi 30 cm adalah beton berdiameter 15 cm. Benda uji berbentuk seperti tabung dan ditetapkan nilai mutu beton rencana nya sebesar 25 Mpa. Masing-masing sampel dibuat sebanyak 3 buah untuk setiap variasi penambahan abu cangkang sawit sehingga jumlah seluruh sampel yang dibuat adalah 24 buah. Sebagai benda uji pembanding dibuat benda uji beton normal tanpa penambahan abu cangkang sawit (0%). Umur rencana saat dilakukan pengujian kuat tekan beton adalah 7 hari dan 28 hari.
4. Pengujian Slump
SNI 1972-2022 merupakan standar yang digunakan dalam melakukan pengukuran terhadap nilai slump. Tujuan pengujian ini adalah untuk menilai viskositas campuran (workability) dan seberapa mudahnya mengerjakan beton segar. Langkah-langkah berikut akan diambil dalam proses pencampuran beton segar untuk membuat sampel jika hasil uji slump sesuai dengan rencana
5. Tahap Perawatan Beton
Setelah benda uji mengeras dan dikeluarkan dari cetakan, benda uji di timbang terlebih dahulu untuk mengetahui berat jenis beton nya. Selanjutnya dilakukan perawatan dengan merendam benda uji dalam air selama 28 hari.

6. Pengujian Kuat Tekan dan Tarik Belah Beton

Prosedur berikut menguraikan cara menggunakan Mesin Universal Testing Machine (UTM) untuk menguji kekuatan tarik tekan dan tarik belah beton [15].

Untuk pengumpulan data sekunder, diperoleh melalui studi literatur yang terkait dengan penggunaan beton (HESC) dengan tambahan abu cangkang sawit dan silicafume dalam pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Studi literatur dilakukan dengan meninjau beberapa referensi terdahulu yang berhubungan dengan teknik beton.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang telah dilakukan pada benda uji yang perhitungan dilakukan berdasarkan data data yang diperoleh adalah sebagai berikut :

3.1 Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

Berat jenis OD oven kering adalah 2,58 kg/l dan berat jenis SSD permukaan agregat kasar kering adalah 2,64 kg/l menurut hasil pemeriksaan. Berat jenis OD oven adalah 2,36 kg/l sedangkan berat SSD permukaan agregat halus kering adalah 2,42 kg/l. Berdasarkan temuan ini berat OD oven agregat kering dan nilai berat jenis SSD permukaan agregat kering keduanya memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh ASTM [16] dan Troxell. Tabel berikut menampilkan temuan perhitungan analisis berat jenis yang diperoleh dari jenis agregat kasar dan halus.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

No	Jenis Agregat	Berat Jenis (kg/l)		Referensi	
		SG (SSD)	SG (OD)	Troxell	ASTM
1	Agregat Kasar	2,64	2,58	2,5 – 2,8	1,6 – 3,2
2	Agregat Halus	2,42	2,36	2,0 – 2,6	

3.2 Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)

Hasil data dari pemeriksaan agregat yang telah diperoleh saat penelitian dapat digunakan sebagai proporsi campuran beton (*mix design*). Perhitungan proporsi adukan beton (*mix design*) dalam penelitian ini menggunakan metode *American Concrete Institute* (ACI 211.1-91). Dalam penelitian ini diameter maksimum agregat yang digunakan yaitu 19 mm dengan tinggi *slump* rencana 75–100 mm. Proporsi campuran beton untuk 1 m³ beton dapat dilihat tabel berikut.

Tabel 2. Proporsi Campuran Beton Untuk 1 m³ Benda Uji Silinder

Material	BN	BCS HESC 3%	BCS HESC 5%	BCS HESC 7%	Satuan
Air	1,08	1,08	1,08	1,08	L
Semen	1,81	1,81	1,81	1,81	Kg
Agregat kasar	5,41	5,41	5,41	5,41	Kg
Agregat halus	3,40	3,40	3,40	3,40	Kg
Zat adiktif	0,27	0,27	0,27	0,27	Kg
Abu cangkang sawit	-	0,05	0,09	0,13	Kg
Total	11,97	12,02	12,06	12,10	Kg

3.3 Hasil Uji Slump

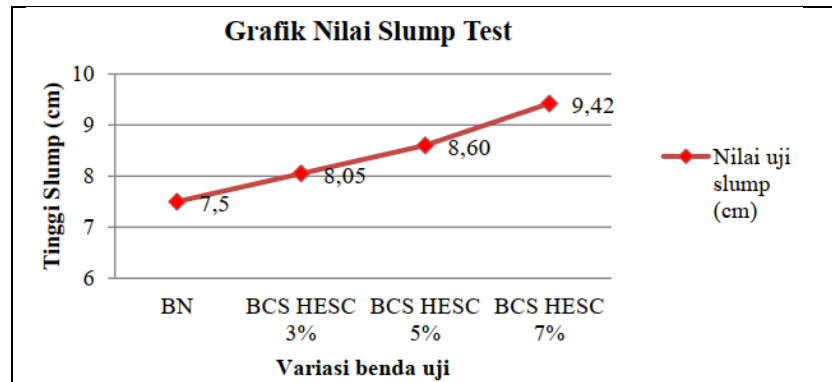
Nilai pengujian slump test pada penelitian ini dapat dilihat dari hasil slump test pada setiap campuran pengecoran beton dari beton normal maupun beton yang menggunakan bahan aditif berupa abu cangkang sawit dengan rencana slump 7,5–10 cm. Hasil slump test dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Slump Test

No	Nama Benda Uji	Nilai slump Rata-Rata
1	BN	7,50
2	BCS HESC 3%	8,05
3	BCS HESC 5%	8,60

4	BCS HESC 7%	9,42
Rata-rata		8,38

Hasil uji slump di peroleh untuk setiap campuran beton meliputi variasi beton biasa dengan beton tambahan aditif silica fume dan abu cangkang sawit berdasarkan Tabel 4.7. Nilai slump rata-rata untuk BN sebesar 7,50 cm BCS HESC 3% sebesar 8,05 cm BCS HESC 5% sebesar 8,60 cm dan BCS HESC 7% sebesar 9,42 cm. Hasil pengujian slump test rata-rata pada benda uji BN, BCS HESC 3%, BCS HESC 5%, dan BCS HESC 7% sebesar 8,38 cm dan telah mencapai tinggi slump antara 7,5 dan 10 cm yang sesuai dengan parameter slump yang diinginkan. Berikut tampilan grafik slump test.



Gambar 3. Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

Berdasarkan Gambar 3, benda uji BCS HESC 7% memiliki nilai uji slump tertinggi (9,42 cm), sedangkan benda uji BN memiliki nilai uji slump terendah (7,50 cm). Grafik tersebut menunjukkan bahwa kemampuan beton dalam menyerap air meningkat seiring dengan jumlah silica fume dan abu sekam yang digunakan.

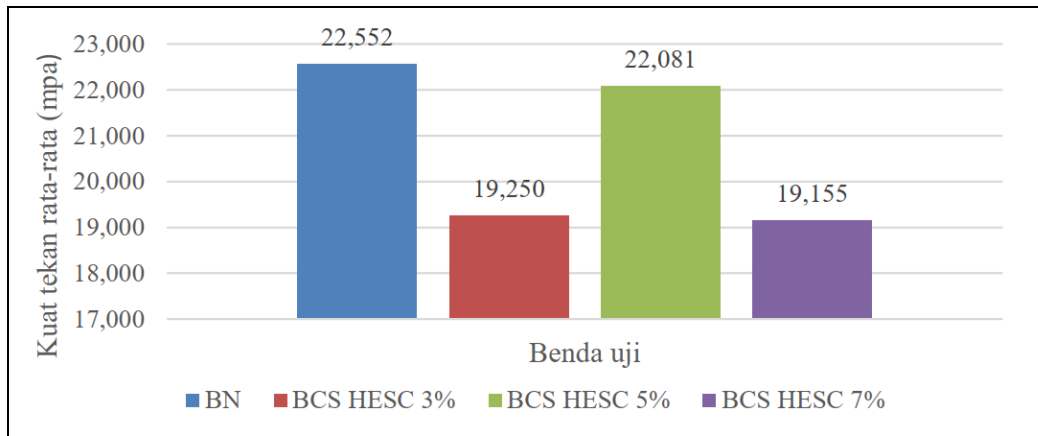
3.4 Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Beton yang mengandung campuran abu cangkang kelapa sawit dan asap silika diuji kuat tekannya antara umur tujuh sampai dua puluh delapan hari. Benda uji kemudian ditimbang untuk mengetahui beratnya setelah di rendam. Selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan beton dengan variasi persentase campuran abu cangkang sawit sebesar 3%, 5%, dan 7% serta silicafume 1.5% menggunakan universal testing machine (UTM).

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

No	Benda Uji	Berat Kg	Volume m ³	Luas mm ²	Beban KN	Kuat Tekan N	Kuat Tekan Mpa	Rata-Rata Mpa
1	BN	11.46	0.0053	17662.5	370	370000	20.948	22.552
2	BN	11.04	0.0053	17662.5	445	445000	25.195	
3	BN	11.20	0.0053	17662.5	380	380000	21.515	
4	BCS HESC 3%	11.56	0.0053	17662.5	410	410000	23.213	19.250
5	BCS HESC 3%	11.36	0.0053	17662.5	320	320000	18.117	
6	BCS HESC 3%	11.42	0.0053	17662.5	290	290000	16.419	
7	BCS HESC 5%	12.04	0.0053	17662.5	390	390000	22.081	22.081
8	BCS HESC 5%	11.74	0.0053	17662.5	320	320000	18.117	
9	BCS HESC 5%	11.98	0.0053	17662.5	460	460000	26.044	
10	BCS HESC 7%	11.84	0.0053	17662.5	260	260000	14.720	19.155
11	BCS HESC 7%	12.16	0.0053	17662.5	420	420000	23.779	
12	BCS HESC 7%	11.88	0.0053	17662.5	335	335000	18.967	

Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai kuat tekan rata-rata beton yang dibiarkan selama tujuh hari adalah 22.552 MPa untuk benda uji BN, 19.250 Mpa untuk benda uji BCS HESC 3%, 22.081 MPa untuk benda uji BCS HESC 5%, dan 19.155 MPa untuk benda uji BCS HESC 7%. Berdasarkan hasil penelitian beton yang diberi penambahan *silika fume* dan abu cangkang sawit memiliki kuat tekan yang lebih tinggi. Grafik hasil uji kuat tekan pada umur beton 7 hari dapat dilihat pada gambar berikut



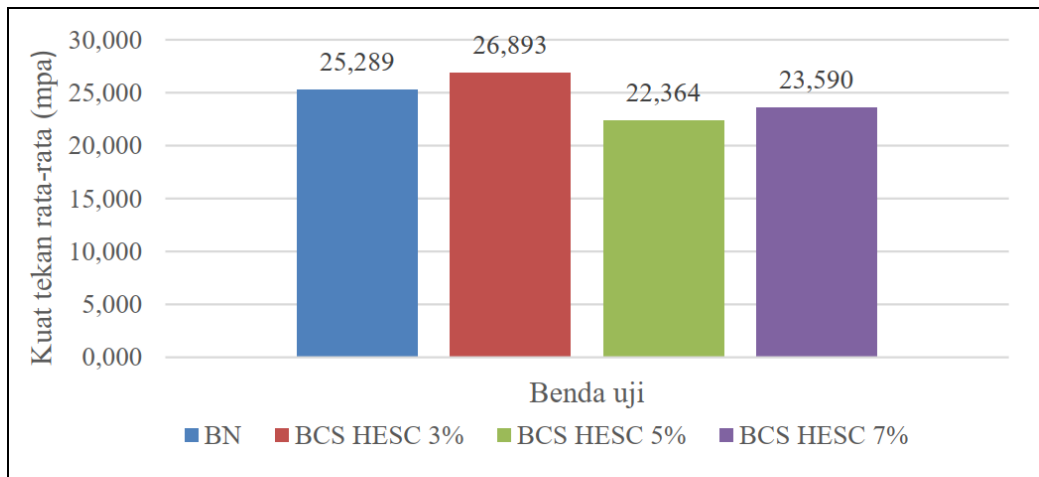
Gambar 4. Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

Nilai kuat tekan beton pada umur 7 hari mengalami kenaikan dan penurunan untuk setiap benda uji pada setiap variasi seperti terlihat pada gambar diatas. Nilai maksimum pada benda uji BN adalah 25,552 MPa. Ketika benda uji ditambahkan silika fume dan abu cangkang sawit benda uji BCS HESC 5% memiliki kuat tekan maksimum yaitu sebesar 22,081 MPa. Benda uji BCS HESC 7% memiliki hasil kuat tekan beton terendah yaitu sebesar 19,155 MPa. Sedangkan untuk pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari adalah sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

No	Benda Uji	Berat Kg	Volume m3	Luas mm2	Beban		Kuat Tekan Mpa	Rata-Rata Mpa
					KN	N		
1	BN	0.0000	17662.	440	440	24.912	0.0000	25.289
2	BN	0.0053	17662.	510	510	28.875	0.0053	
3	BN	0.0053	17662.	390	390	22.081	0.0053	
4	BCS HESC 3%	11.62	0.0053	17662.5	430	430000	24.345	26.893
5	BCS HESC 3%	11.22	0.0053	17662.5	510	51000	28.875	
6	BCS HESC 3%	11.34	0.0053	17662.5	485	485000	27.459	
7	BCS HESC 5%	12.06	0.0053	17662.5	400	200000	22.647	22.364
8	BCS HESC 5%	11.6	0.0053	17662.5	315	125000	17.834	
9	BCS HESC 5%	12.00	0.0053	17662.5	470	270000	26.610	
10	BCS HESC 7%	11.84	0.0053	17662.5	350	350000	19.816	23.590
11	BCS HESC 7%	11.86	0.0053	17662.5	430	430000	24.345	
12	BCS HESC 7%	11.9	0.0053	17662.5	470	470000	26.610	

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa beton umur 28 hari memperoleh nilai kuat tekan rata-rata benda uji BN sebesar 25.289 MPa, benda uji BCS HESC 3% sebesar 26.893 MPa, benda uji BCS HESC 5% sebesar 22.364 MPa, benda uji BCS HESC 7% sebesar 23.590 MPa. Grafik nya dapat dilihat pada gambar berikut.

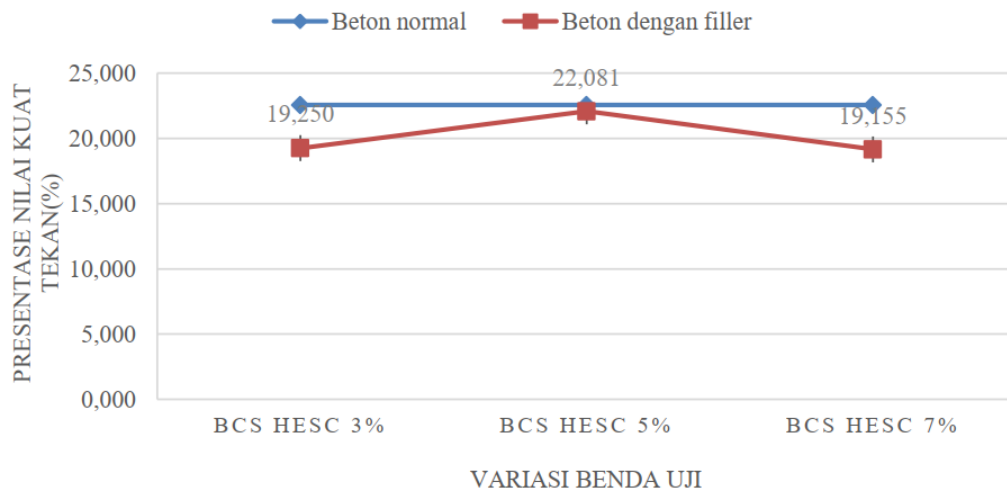


Gambar 5. Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Berdasarkan grafik dapat dilihat beton dengan campuran abu cangkang sawit dan *silica fume* semakin besar nilai kuat tekan yang dihasilkan beton seiring berjalan nya waktu karena sifat *pozzolan* nya terus berlanjut. Pada benda uji BCS 5% dan BCS 7% umur 28 hari memperoleh kuat tekan di bawah 25 MPa namun masih di atas 20 MPa.

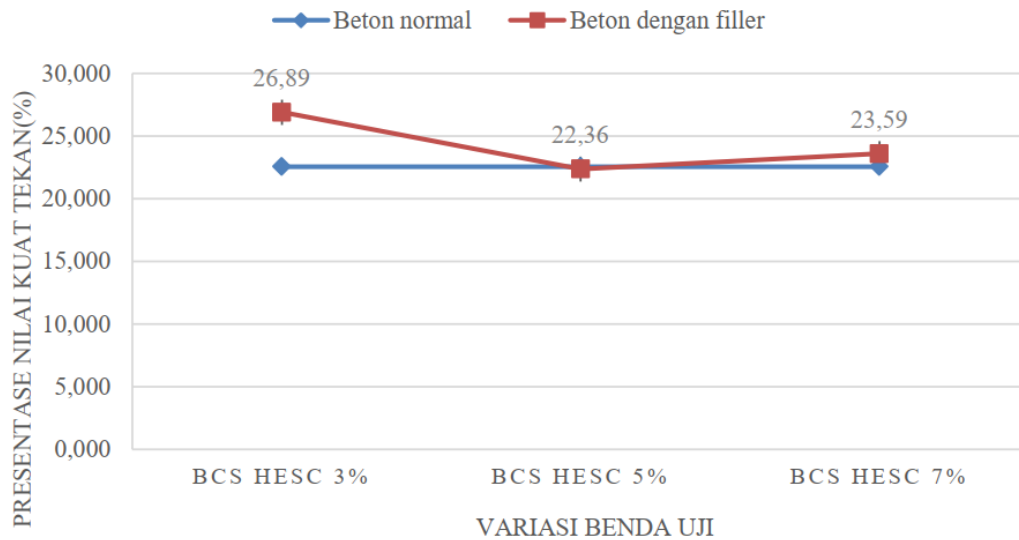
3.5 Analisis Hasil Perbandingan Uji Kuat Tekan Beton

Jika membandingkan nilai kuat tekan beton normal dengan beton tambahan filler maka dapat diketahui besarnya penurunan dan kenaikan nilai kuat tekan beton pada beberapa variasi campuran. Kenaikan/penurunan pada setiap persentase dapat dilihat pada Gambar berikut :



Gambar 6. Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal dengan Beton Tambahan Abu Cangkang Sawit umur 7 Hari

Menurut gambar diatas dapat disimpulkan bahwa kuat tekan beton normal pada umur 7 hari dengan beton tambahan abu cangkang sawit mengalami penurunan kuat tekan pada benda uji BCS 3% sebesar 14,64% BCS 5% sebesar 2,09% BCS 7% sebesar 15,06%.



Gambar 7. Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal dengan Beton Tambahan Abu Cangkang Sawit umur 28 Hari

Berdasarkan gambar grafik diatas pada umur beton 28 hari terjadi kenaikan kuat tekan beton pada benda uji BCS 3% sebesar 6,34%. Namun pada beton tambahan abu cangkang sawit 5% dan 7% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 0,83% dan 6,71%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa beton dengan tambahan abu cangkang sawit dapat meningkatkan kuat tekan beton. Kenaikan kuat tekan terjadi akibat dari fungsi boiler sebagai pozzolan yang mengandung senyawa silika oksida (SiO_2) aktif, aluminium, dan Ferrum Oksida (Fe_2O_3).

4. KESIMPULAN

Limbah cangkang sawit yang terdapat di Kabupaten Aceh Barat mencapai 1,8 juta ton/tahun. Penanganan yang baik terhadap limbah tersebut dapat dilakukan dengan pembakaran pada suhu tinggi hingga menjadi abu. Abu tersebut mengandung sejumlah silika dan memiliki kualitas pozzolan. Sehingga, abu cangkang sawit dapat digunakan pada campuran beton High Early Strength Concrete (HESC) terhadap nilai kuat tekan maksimum beton. Berdasarkan hasil penelitian kuat tekan beton yang dilakukan, diperoleh nilai kuat tekan yang diperoleh beton dengan 3% abu cangkang sawit memiliki kuat tekan rata-rata 19.250 MPa setelah 7 hari dan 26.893 MPa setelah 28 hari, menurut statistik kuat tekan. Berdasarkan data tersebut, kuat tekan beton menurun pada umur 7 hari sebesar 19,250%; tetapi setelah 28 hari kuat tekan beton meningkat sebesar 26,893%. Dan untuk kuat tarik belah, beton pada umur 7 hari mengalami penurunan kuat tekan sebesar 2,453% namun setelah 28 hari kuat tekan beton meningkat sebesar 3,020%. Berdasarkan data yang diperoleh, apabila abu cangkang sawit ditambahkan ke dalam beberapa semen untuk campuran beton, maka jumlah semen yang dibutuhkan dalam proses pembuatan beton akan berkurang karena adanya bahan tambahan berupa abu cangkang sawit. Akibatnya, jumlah semen dalam setiap variasi campuran semen pun bervariasi.

REFERENCES

- [1] A. Manaf *et al.*, "Penggunaan Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton," *J. Civ. Eng.*, vol. 5, pp. 59–66, 2023.
- [2] Almufid, "Beton Mutu Tinggi Dengan Bahan Tambahan," *J. Fondasi*, vol. 4, 2015.
- [3] N. R. Sopa, "Pengaruh Penambahan Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Beton f'c 25," *J. Publ. Ris. Orientasi Tek. Sipil*, vol. 5, pp. 1–6, 2023.
- [4] A. U. Berli, "Penentuan kuat tekan beton ringan mutu K-225 dengan substitusi cangkang sawit memakai semen portland tipe I," *J. Menara Ilmu*, vol. 13, pp. 1–5, 2019.
- [5] F. Zulkarnain and M. Y. Chair, "Penambahan Abu Cangkang Kelapa Sawit Dengan Bahan Tambah Silica Gel Ditinjau Dari Kekuatan Tarik Belah Beton Silinder," *J. Pendidik. Tek. Bangunan Dan Sipil*, vol. 8, pp. 51–58, 2022.
- [6] D. Masrura and Abdullah, "Analisa Perilaku Sambungan Balok-Kolom Sesuai PBI 1971 Terhadap Beban Siklik," *Teras J.*, vol. 10, no. 2, pp. 276–285, 2020.
- [7] I. B. Rahardja, V. N. C. Surbakti, and A. L. Siregar, "Empowering Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Kualitas Bata Beton Ringan (Ligh Weight Concrete)," *J. Teknol.*, vol. 14, pp. 120–126, 2022.
- [8] L. Opirina, D. P. Sari, and R. Reskuna, "Kuat Tekan Beton dengan Substitusi Limbah Pengolahan Kelapa Sawit," *J.*

- CIVILLA*, vol. 5, pp. 368–375, 2020.
- [9] A. Yudi, N. B. Wirawan, S. Apriwelni, and T. S. Sembiring, "Pemanfaatan Limbah Spent Bleaching Earth (Sbe) Dari Industri Pengolahan Minyak Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Aplikasi Beton," *Teras J.*, 2018.
 - [10] A. U. Al Qurny, I. Hagni Puspito, and N. Tinumbia, "PENGARUH PENAMBAHAN BAHAN PENGISI (FILLER) FLY ASH TERHADAP CAMPURAN ASPAL BETON LAPIS AUS (ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE/AC-WC)," *J. ARTESIS*, 2022, doi: 10.35814/artesis.v2i1.3766.
 - [11] Ageng, P. J. and Satriani, "Studi Pengaruh Penambahan Limbah Cangkang Sawit Terhadap Kuat Tekan Beton," *Journal Dev. Eng. Univ.*, vol. 1, pp. 46–52, 2019.
 - [12] F. A. Emda, M. Safriani, and T. Farizal, "Analisa Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal dengan Campuran Abu Boiler Pada Proyek Jembatan di PT. Socfindo Kebun Seunagan," *J. Civ. Eng. Build. Transp.*, 2023, doi: 10.31289/jcebt.v7i1.8959.
 - [13] W. S. Wicaksono, W. Wibowo, and E. Safitri, "PENGARUH KADAR SILICA FUME TERHADAP KUAT TEKAN PADA HIGH STRENGTH SELF COMPACTING CONCRETE (HSSCC) BENDA UJI SILINDER D 7,5 CM X 15 CM USIA 14 DAN 28 HARI," *Matriks Tek. Sipil*, 2018, doi: 10.20961/mateksi.v6i4.36537.
 - [14] Badan Standar Nasional, *SNI 1969: 2016 Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. 2016.
 - [15] [BSN]. Badan Standarisasi Nasional, "SNI 1974:2011 tentang Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder," *Badan Stand. Nas.*, 2011.
 - [16] ASTM C127, *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*. 2004.