

Pemanfaatan Limbah Industri Berupa Abu Ketel dan Silica Fume Untuk Peningkatan Kuat Tekan Beton

**Laksmi Irianti¹⁾, Masdar Helmi²⁾, Ratna Widyawati³⁾, Habib Ilham Abdullah⁴⁾,
Hadi Hidayatullah⁵⁾**

^{1, 2, 3, 4, 5)} Universitas Lampung, Jalan Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1
Kota Bandar Lampung, Lampung

Email: laksmi@eng.unila.ac.id¹⁾, Masdar.helmi@eng.unila.ac.id²⁾,
luh_ratnawidyawati@yahoo.co.id³⁾, Habib.ilhamabdullah2009@students.unila.ac.id⁴⁾,
Hadi.Hidayatullah2038@students.unila.ac.id⁵⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v15i2.1247>

(Received: 16 January 2025 / Revised: 20 Mei 2025 / Accepted: 03 June 2025)

Abstrak

Pembangunan infrastruktur di Indonesia mengalami kemajuan signifikan. Penelitian ini mengeksplorasi penggunaan abu ketel dan *silica fume* dalam beton sebagai alternatif berkelanjutan. Variasi percobaan mencakup penambahan dan penggantian sebagian semen dengan abu ketel dan *silica fume*. Hasil menunjukkan bahwa campuran dengan kandungan abu ketel dan *silica fume* memiliki *slump* yang lebih rendah, namun meningkatkan kuat tekan pada umur 28 dan 56 hari. Proporsi optimum sebagai bahan tambah adalah 5% abu ketel dan 5% *silica fume* dengan peningkatan kuat tekan dari 28 hari ke 56 hari sebesar 9,42 MPa sedangkan sebagai bahan pengganti sebagian semen adalah 85% semen, 5% abu ketel, dan 10% *silica fume*, mencapai kuat tekan beton kubus sebesar 28,93 MPa pada umur 28 hari dan 30,67 MPa pada umur 56 hari. Penelitian ini memberikan wawasan tentang potensi penggunaan limbah kelapa sawit dan sisa industri sebagai bahan tambahan dalam industri konstruksi untuk mendukung pembangunan berkelanjutan.

Kata kunci: *Abu Ketel, Silica Fume, Kuat Tekan Beton*

Abstract

Infrastructure development in Indonesia has experienced significant progress. This research explores the use of palm kettle ash and silica fume in concrete as a sustainable alternative. Experimental variations include adding and replacing some of the cement with palm kettle ash and silica fume. The results showed that the mixture containing palm kettle ash and silica fume had a lower slump, but increased compressive strength at the ages of 28 and 56 days. The optimum proportion as an additive is 5% palm kettle ash and 5% silica fume with an increase in compressive strength from 28 days to 56 days of 9.42 MPa while as a partial replacement material for cement it is 85% cement, 5% palm kettle ash and 10% silica fume, reaching a compressive strength of cube concrete of 28.93 MPa at 28 days and 30.67 MPa at 56 days. This research provides insight into the potential for using palm oil waste and industrial residue as additional materials in the construction industry to support sustainable development.

Keywords: *Palm Kernel Ash, Silica Fume, Compressive Strength of Concrete*

1. Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur merupakan aspek yang sangat penting bagi Indonesia. Pembangunan infrastruktur di Indonesia terus dikembangkan demi memberi kebermanfaatan pada negara dan masyarakat, di mana keseluruhannya didukung oleh sumber daya bahan konstruksi yang baik dan terus dikembangkan (Kementrian PUPR Indonesia, 2022). Pembangunan infrastruktur tentu tidak terlepas dari peranan penting dari suatu bahan konstruksi, terkhususnya beton. Beton adalah bahan bangunan yang terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus, semen, air, dan bahan tambahan lain (Sumajouw dkk., 2014). Pada proses pembuatannya, beton dapat diberikan bahan tambahan berupa bahan tambah kimia (*chemical additive*) dan bahan tambah mineral (*additive*) (Prasetya, 2007).

Chemical additive dapat berupa cairan untuk mengurangi penggunaan air, memperlambat pengerasan, dan mempercepat pengerasan, sedangkan, bahan tambah mineral dapat dihasilkan dari hasil sisa produksi dari suatu produk seperti abu ketel dan *silica fume* (Permatasari dkk., 2022). Abu ketel merupakan limbah kelapa sawit yang didapatkan dari hasil pembakaran cangkang kelapa sawit yang dibakar pada suhu di antara 700°C-800°C (Gunawan dkk, 2018) dan *silica fume* adalah material halus yang mengandung silika dan merupakan hasil samping dari *industri silikon ferro* (Silica Fume Association, 2022). Menurut (Zai dkk., 2014) *silica fume* adalah salah satu material yang bersifat *pozzollonic*. Kedua material tersebut memiliki suatu senyawa yaitu *Silikon Dioksida* (SiO_2). Keberadaan *Silikon dioksida* (SiO_2) pada campuran beton dapat memberikan kontribusi dalam proses pengerasan maupun peningkatan kuat tekan pada beton (Pradana dkk., 2022).

Menurut Laporan Statistik Kelapa Sawit Indonesia Tahun 2022 luas areal kelapa Indonesia mencapai 16.833.985 Ha yang tersebar di 26 provinsi di Indonesia, dengan produksi kelapa sawit mencapai 46,82 juta ton (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2022). Sisa produksi kelapa sawit sering kali tidak digunakan kembali atau langsung dibuang tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Limbah hasil produksi yang tidak diolah kembali dan langsung dibuang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Vitri dan Herman, 2019), oleh karena itu perlu dilakukan pemanfaatan limbah tersebut salah satunya adalah sebagai campuran beton.

Pada tahun 1998 Irianti dkk telah melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Kadar Abu Ketel Terhadap Perilaku Beton Mutu Tinggi. Penelitian dengan judul tersebut menghasilkan bahwa penambahan abu ketel pada campuran beton dapat menaikkan mutu beton. Kenaikan mutu beton dengan bahan tambah abu ketel pada umur 28 hari ke 56 hari paling besar terjadi pada kadar abu ketel 10% dengan kenaikan sebesar 7,8520 MPa dan kenaikan mutu beton dengan bahan pengganti sebagian semen dengan abu ketel pada umur 28 hari ke 56 hari paling besar terjadi pada kadar abu ketel 5% dengan kenaikan sebesar 6.9510 MPa. Kenaikan yang terjadi pada adukan beton dengan abu ketel saja tidak terlalu signifikan, oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yaitu dengan menambahkan material lain *silica fume* untuk dapat mendapatkan hasil yang optimum dari pemanfaatan limbah abu ketel sebagai bahan campuran beton. Penambahan material *silica fume* ini dapat memberikan kenaikan mutu beton pada umur 28 hari ke 56 hari dapat signifikan karena penambahan material yang mengandung *Silikon Dioksida* (SiO_2) pada adukan beton (Sebayang, 2011).

Silikon Dioksida (SiO_2) merupakan senyawa yang berperan penting pada proses peningkatan kuat tekan beton (Tarru, 2018). Abu ketel yang telah diuji menggunakan SNI 02.2804.2005 memiliki kandungan *Silikon Dioksida* (SiO_2) sebesar 52,2% (Bernavida dan Wulandari, 2021) sedangkan *silica fume* memiliki kandungan *Silikon Dioksida* (SiO_2) sebesar 90,03% (Silica Fume Association, 2022) sehingga dapat dikategorikan sebagai pozzolan (Kamal dan Mojtahedi, 2023). Besarnya kandungan *Silikon Dioksida* (SiO_2) yang ada pada adukan beton diharapkan dapat menaikkan mutu beton dari rencana awal secara signifikan pada umur 28 hari ke 56 hari dengan target kuat tekan beton pada umur 28 hari 25 MPa. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kadar optimum pada penggunaan abu ketel dan *silica fume* terhadap peningkatan kuat tekan beton.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini akan menerapkan metode eksperimental dengan melakukan pengujian laboratorium untuk mengumpulkan data dan hasil penelitian. Variasi yang digunakan terbagi menjadi dua kategori yaitu sebagai penambah dan sebagai pengganti sebagian semen. Penggunaan abu ketel dan *silica fume* sebagai bahan penambah mencakup penggunaan kombinasi abu ketel dan *silica fume* dengan persentase 5%, 10%, 15%, 20% abu ketel dan 5%, 10% *silica fume*. Sedangkan penggunaan abu ketel sebagai bahan pengganti Sebagian semen menggunakan persentase abu ketel sebesar 5%, 10%, 15%, 20% dan *silica fume* sebesar 10% berdasarkan berat semen. Semua variasi tersebut akan digunakan sebagai substitusi untuk semen dalam beton mutu normal. Penelitian ini akan melakukan pembuatan benda uji beton berbentuk kubus dengan dimensi 15 cm x 15 cm x 15 cm untuk pengujian kuat tekan pada umur 28 hari dan 56 hari.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung. Prosesnya meliputi studi literatur, persiapan peralatan dan bahan, serta pengecekan karakteristik bahan sesuai SNI. Setelah memenuhi syarat SNI, dilakukan perhitungan komposisi material untuk *mix design* dan *trial mix*. Apabila nilai *slump* sesuai target, dilanjutkan dengan pembuatan benda uji, baik beton kubus. Benda uji beton kubus akan dirawat (*curing*) hingga mencapai umur 28 dan 56 hari sebelum diuji kuat tekan dengan CTM (*Compression Testing Machine*). Data hasil penelitian dianalisis untuk mengetahui pengaruh substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan beton kubus.

Pengujian kuat tekan ini dilakukan dengan memberikan beban pada benda uji berbentuk kubus dengan panjang tiap sisi yaitu 15 cm dan mencatat beban maksimum yang dapat ditahan benda uji sampai benda uji mengalami keruntuhan (Talinusa, G. dkk, 2014). Data yang didapatkan dari pengujian ini adalah beban maksimum yang lalu akan diubah menjadi kuat tekan maksimum dengan menggunakan suatu persamaan, yaitu persamaan sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

P = Gaya tekan maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

Komposisi dan Kode Benda Uji Beton Kubus serta jumlah sampel (benda uji) seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi dan Kode Benda Uji Beton Kubus

No	Kode Benda Uji Beton	Persentase Semen	Persentase Abu ketel	Persentase Silica Fume	Jumlah Sampel	
					Umur 28 hari (buah)	Umur 56 hari (buah)
1	BTC 0	100%	0%	0%	3	3
2	BAS 1	85%	5%	10%	3	3
3	BAS 2	80%	10%	10%	3	3
4	BAS 3	75%	15%	10%	3	3
5	BAS 4	70%	20%	10%	3	3
6	BS5 1	100%	5%	5%	3	3
7	BS5 2	100%	10%	5%	3	3
8	BS5 3	100%	15%	5%	3	3
9	BS5 4	100%	20%	5%	3	3
10	BS10 1	100%	5%	10%	3	3
11	BS10 2	100%	10%	10%	3	3
12	BS10 3	100%	15%	10%	3	3
13	BS10 4	100%	20%	10%	3	3
JUMLAH					39	39
TOTAL SAMPEL					78	

Keterangan:

BTC = beton tanpa campuran.

BTC adalah kode untuk benda uji beton kubus tanpa bahan tambahan

BAS = beton abu ketel + *silica fume*

BAS adalah kode untuk benda uji beton kubus dengan substitusi sebagian semen menggunakan variasi abu ketel + *silica fume*.

BS = beton abu ketel + *silica fume*

BS adalah kode untuk benda uji beton kubus dengan tambahn abu ketel + *silica fume* tanpa mengurangi berat semen.

2.1 Sifat Fisik Material Pembentuk Beton

Pada penelitian ini dilakukan pengujian material yang berfungsi untuk mengetahui data material yang akan digunakan dalam *mix design*. Pengujian material yang dilakukan meliputi pengujian berat jenis agregat halus, agregat kasar dan semen, gradasi agregat halus dan kasar, berat volume agregat, dan kadar lumpur pada agregat halus dan kasar.

Berdasarkan pengujian material pembentuk beton seperti diperlihatkan pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa berat jenis SSD agregat halus, agregat halus, dan semen secara berurutan 2,55, 2,63, dan 2,9091 yang dapat disimpulkan bahwa berat jenis SSD ketiga material tersebut sudah masuk ke dalam interval yang disyaratkan oleh SNI. Penyerapan, modulus kehalusan, serta berat volume pada material agregat halus dan ageregat kasar yang telah dilakukan pengujian dapat diambil kesimpulan bahwa kedua material tersebut sudah masuk ke dalam interval yang telah ditentukan oleh SNI dan dapat digunakan sebagai material campuran pada beton.

Data yang telah didapatkan kemudian digunakan dalam perhitungan *mix design* (Kamil, 2023). Adapun hasil dari beberapa pengujian material tersebut seperti diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian Material Pembentuk Beton

Jenis Pengujian	Material yang dipakai	Nilai Hasil Pengujian	Standar SNI 7656:2012
Berat jenis SSD	Agregat Halus	2,55	2,0-2,7
	Agregat Kasar	2,63	2,5-2,7
	Semen	2,9091	≤ 2,9
Penyerapan	Agregat Halus	1,21%	1%-3%
	Agregat Kasar	1,28%	1%-3%
Modulus kehalusan	Agregat Halus	2,763	2,3-3,1
	Agregat Kasar	7,549	6-8
Berat volume	Agregat Halus	1417,8 kg/m ³	-
	Agregat Kasar	1622,6 kg/m ³	-

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian kuat tekan beton pada umur 28 dan 56 hari setelah dilakukan pengecoran berguna untuk menganalisis pengaruh penambahan dan sebagai pengganti sebagian semen dengan kedua material yaitu abu ketel dan *silica fume* pada campuran beton dengan berbagai variasi komposisi.

Kuat tekan beton mengacu pada kemampuan beton untuk menahan tekanan tertentu (yang diterapkan oleh mesin pengujian) per satuan area hingga mencapai titik kegagalan (SNI 03-1974, 1990). Menurut (SNI 1974, 2011) pembebanan beton pada pengujian kuat tekan termasuk dalam pembebanan statik monotorik dengan menggunakan tes tekan (*compressive test*).

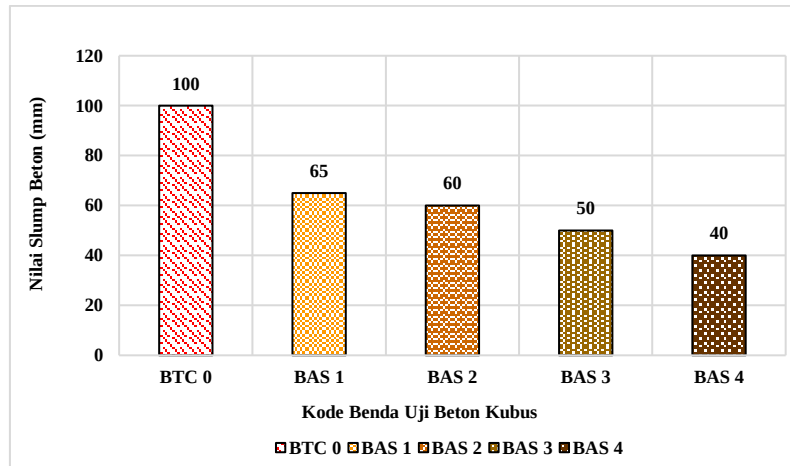
Pengujian kuat tekan ini dilakukan dengan memberikan beban pada benda uji berbentuk kubus dengan panjang tiap sisi yaitu 15 cm dan mencatat beban maksimum yang dapat ditahan benda uji sampai benda uji mengalami keruntuhan (Kushartomo dkk., 2024).

3.1. Abu Ketel dan *Silica Fume* Sebagai Bahan Pengganti sebagian semen

Hasil dari penggunaan abu ketel ditambah *silica fume* sebagai bahan pengganti sebagian semen memberikan karakteristik data nilai *slump* beton dan kuat tekan beton umur 28 dan 56 hari seperti diperlihatkan pada Tabel 3 dan Gambar 1.

Tabel 3 Nilai *Slump* Beton

No	Kode Benda Uji	Persentase Benda Uji	Nilai <i>Slump</i> (mm)
1	BTC 0	Semen 100% + Abu Ketel 0% + <i>Silica Fume</i> 0%	100
2	BAS 1	Semen 85% + Abu Ketel 5% + <i>Silica Fume</i> 10%	65
3	BAS 2	Semen 80% + Abu Ketel 10% + <i>Silica Fume</i> 10%	60
4	BAS 3	Semen 75% + Abu Ketel 15% + <i>Silica Fume</i> 10%	50
5	BAS 4	Semen 70% + Abu Ketel 20% + <i>Silica Fume</i> 10%	40

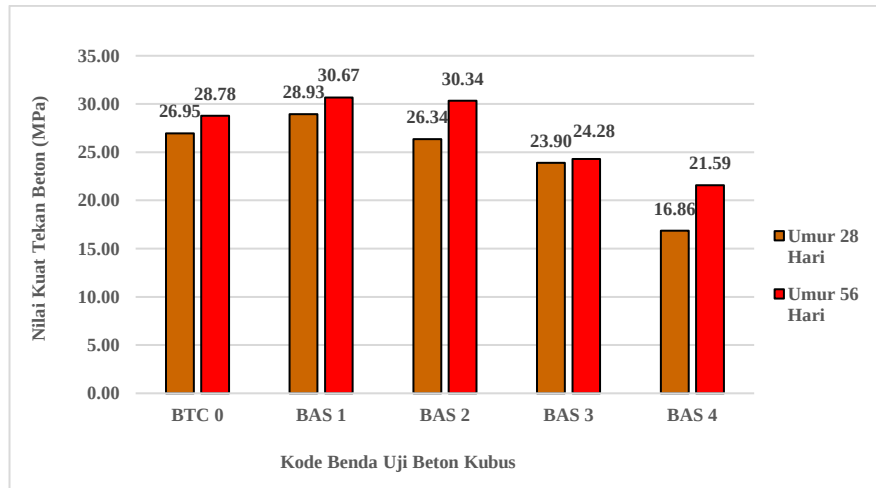


Gambar 1 Hubungan Nilai *Slump* Beton Terhadap Kadar Abu Ketel + *Silica Fume*.

Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 1, terlihat bahwa beton yang mengandung abu ketel dan *silica fume* memiliki nilai *slump* yang lebih rendah dibandingkan dengan beton yang tidak mengandung bahan tersebut. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase abu ketel dan *silica fume* dalam campuran beton, nilai *slump* beton akan semakin rendah. Penambahan abu ketel dan *silica fume* memiliki dampak signifikan terhadap nilai *slump*, di mana peningkatan persentase kedua bahan dalam campuran beton menyebabkan penurunan nilai *slump*. Hal ini disebabkan oleh sifat abu ketel yang memiliki permukaan tidak bulat dan tingkat penyerapan air yang tinggi, serta oleh ukuran butiran *silica fume* yang sangat halus sehingga memiliki tingkat *absorpsi* air yang tinggi (Putra, 2022). Penurunan ini terkait dengan kandungan Silikon Dioksida (SiO_2) yang tinggi pada kedua bahan tersebut. *Silica fume* memiliki kandungan Silikon Dioksida (SiO_2) sebesar 85%, dan abu ketel memiliki kandungan Silikon Dioksida (SiO_2) sebesar 31,4510%. Silikon Dioksida (SiO_2) tersebut berinteraksi dengan Kalsium Hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), yang terbentuk dari reaksi antara semen dan air. Akibatnya, terjadi pembentukan *Calcium Silikat Hidrat* (CSH), yang berperan penting dalam proses pengerasan semen pada campuran beton (Suryanto, 2014). Hasil ini sesuai dengan penelitian Laksmi dkk, 1998 yang menyebutkan bahwa penggantian sebagian semen dengan abu ketel pada campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Tabel 4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

No	Kode Benda Uji	Persentase Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	
			Umur 28 Hari	Umur 56 Hari
1	BTC 0	Semen 100% + Abu Ketel 0% + <i>Silica Fume</i> 0%	26,95	28,78
2	BAS 1	Semen 85% + Abu Ketel 5% + <i>Silica Fume</i> 10%	28,93	30,67
3	BAS 2	Semen 80% + Abu Ketel 10% + <i>Silica Fume</i> 10%	26,34	30,34
4	BAS 3	Semen 75% + Abu Ketel 15% + <i>Silica Fume</i> 10%	23,90	24,28
5	BAS 4	Semen 70% + Abu Ketel 20% + <i>Silica Fume</i> 10%	16,86	21,59



Gambar 2 Hubungan Nilai Kuat Tekan Beton Terhadap Kadar Abu Ketel + *Silica Fume*.

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 2 pada umur beton 28 dan 56 hari, terdapat peningkatan kuat tekan ketika melakukan substitusi sebagian semen dengan abu ketel dan *silica fume* pada variasi BAS 1 (semen 85% + abu ketel 5% + *silica fume* 10%), dengan nilai kuat tekan mencapai 28,93 Mpa pada umur 28 hari dan kuat tekan mencapai 30,67 Mpa pada umur beton 56 hari. Nilai tersebut lebih tinggi dari pada beton tanpa substitusi sebagian semen dan beton dengan variasi abu ketel dan *silica fume* dengan persentase substitusi yang lebih besar. Sehingga komposisi BAS 1 (semen 85% + abu ketel 5% + *silica fume* 10%) menjadi komposisi optimum untuk meningkatkan kuat tekan beton pada umur 28 dan 56 hari. Hal ini diakibatkan oleh *silica fume* memiliki kandungan Silikon Dioksida (SiO_2) sebesar 85%, dan abu ketel memiliki kandungan Silikon Dioksida (SiO_2) sebesar 31,4510%. Silikon Dioksida (SiO_2) tersebut berinteraksi dengan Kalsium Hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), yang terbentuk dari reaksi antara semen dan air. Akibatnya, terjadi pembentukan *Calcium Silikat Hidrat* (CSH), yang berperan penting dalam proses pengerasan semen pada campuran beton (Suryanto, 2014). Selain itu peningkatan kekuatan beton akibat bahan tambah dipengaruhi pula oleh sifat material *silica fume*, di mana menurut Rahmanto, 2023 yang menyatakan bahwa *silica fume* dapat mengisi rongga-rongga yang ada di antara campuran bahan semen, sehingga dapat berdampak pada peningkatan kuat tekan campuran pada beton.

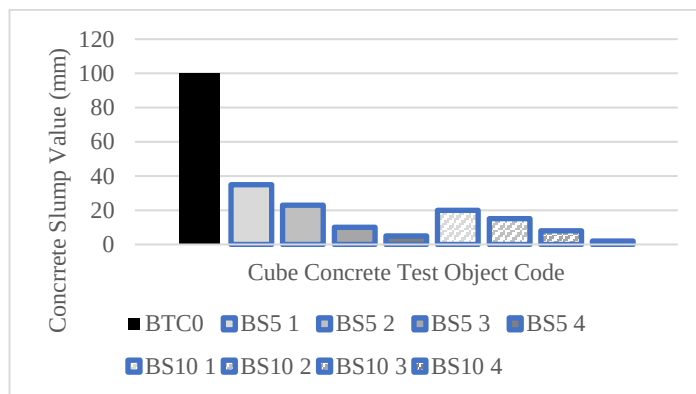
Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan beton umur 56 hari lebih tinggi dari pada kuat tekan beton umur 28 hari, baik kuat tekan beton mutu normal tanpa bahan campuran dan kuat tekan beton dengan bahan abu ketel + *silica fume*. Temuan ini mengindikasikan bahwa kekuatan tekan beton meningkat setelah 28 hari dengan memanfaatkan abu ketel dan *silica fume* sebagai pengganti sebagian dari bahan semen.

3.2. Abu Ketel dan *Silica Fume* Sebagai Bahan Penambah

Hasil dari penggunaan abu ketel ditambah *silica fume* sebagai bahan penambah memberikan karakteristik data nilai *slump* beton dan kuat tekan beton umur 28 dan 56 hari seperti diperlihatkan pada Tabel 5 dan Gambar 3.

Tabel 5 Nilai *Slump* Beton

No	Kode benda uji	Komposisi	Hasil <i>slump</i> (mm)
1	BTC 0	S100% + AK 0% + SF 0%	100
2	BS5 1	S 100% + AK 5% + SF 5%	35
3	BS5 2	S 100% + AK 10% + SF 5%	23
4	BS5 3	S 100% + AK 15% + SF 5%	10
5	BS5 4	S 100% + AK 20% + SF 5%	5
6	BS10 1	S 100% + AK 5% + SF 10%	20
7	BS10 2	S 100% + AK 10% + SF 10%	15
8	BS10 3	S 100% + AK 15% + SF 10%	8
9	BS10 4	S 100% + AK 20% + SF 10%	2



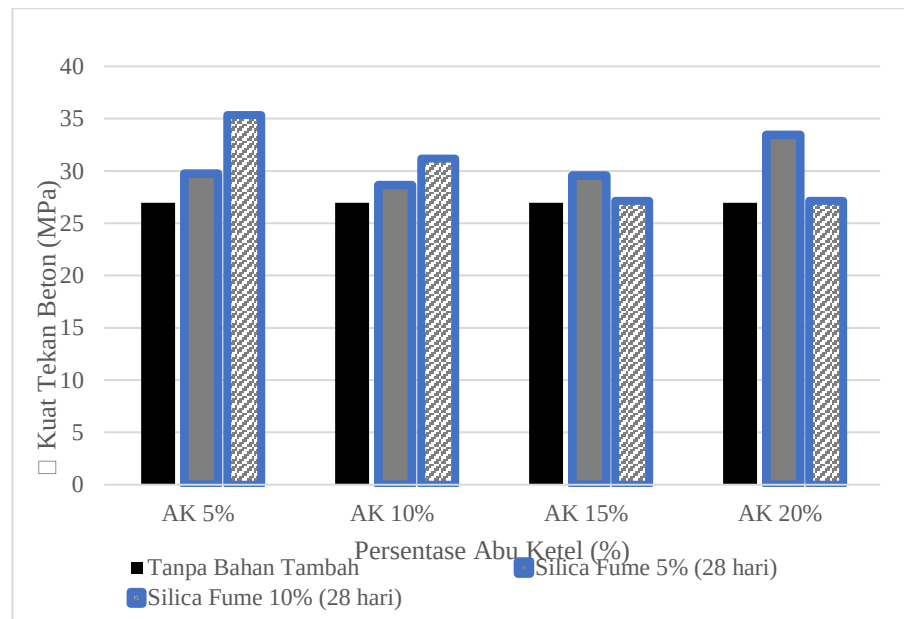
Gambar 3 Hubungan Nilai *Slump* Beton Terhadap Kadar Abu Ketel + *Silica Fume*.

Berdasarkan Tabel 5. dan Gambar 3. di atas dapat disimpulkan beton yang menggunakan campuran abu ketel dan *silica fume* memiliki nilai *slump* yang lebih kecil dari beton yang tidak menggunakan abu ketel dan *silica fume*. Beton yang menggunakan kadar *silica fume* 10% dengan kadar abu ketel 5%, 10%, 15%, dan 20% memiliki nilai *slump* yang lebih kecil dari beton yang hanya menggunakan kadar *silica fume* 5% dengan kadar abu ketel 5%, 10%, 15%, dan 20%. Nilai *slump* yang semakin kecil diakibatkan oleh abu ketel yang memiliki permukaan yang tidak bulat dan memiliki tingkat penyerapan yang tinggi (Irianti dkk, 1998) dan berdasarkan *American Concrete Institute* (ACI) kecilnya nilai *slump* yang dihasilkan oleh beton yang menggunakan *silica fume* diakibatkan oleh diameter *silica fume* yang sangat kecil yaitu 1/100 kali diameter semen dan memiliki tingkat penyerapan air yang tinggi.

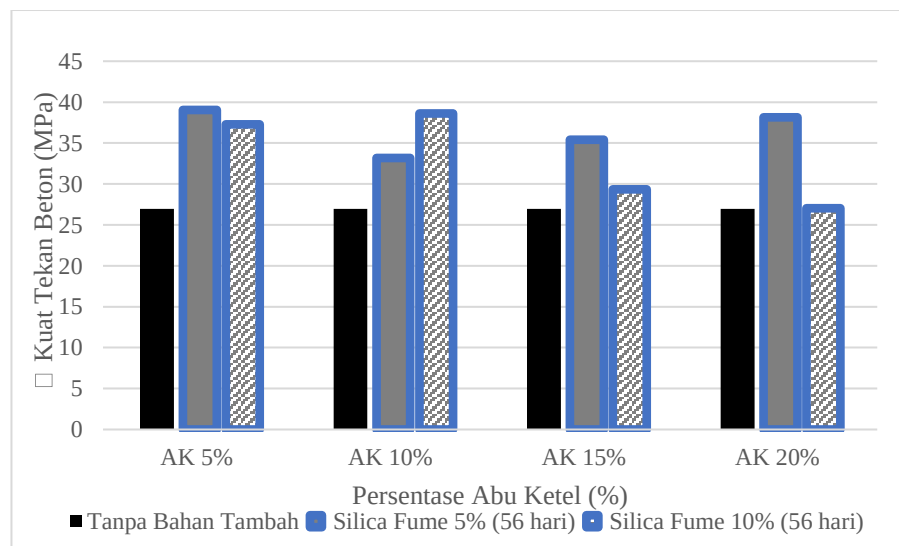
Tabel 6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Penambah

Kode benda uji	Kuat tekan (MPa)	
	Umur 28 hari	Umur 56 hari
BTC 0	26,95	28,78
BS5 1	29,76	39,18
BS5 2	28,65	33,18
BS5 3	29,55	35,40
BS5 4	33,46	38,15
BS10 1	35,35	37,27
BS10 2	31,18	38,61
BS10 3	27,13	29,34
BS10 4	27,13	27,02

Hasil dari uji kuat tekan beton pada umur 28 hari dan 56 hari dibuat dalam diagram batang untuk melihat perbedaan kuat tekan yang terjadi. Diagram batang kuat tekan dapat diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram batang perbandingan beton normal dengan beton menggunakan bahan tambah umur 28 hari.



Gambar 5 Diagram batang perbandingan beton normal dengan beton menggunakan bahan tambah umur 56 hari

Berdasarkan Tabel 6, dan Gambar 4 serta Gambar 5 dapat disimpulkan seluruh beton pada umur 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan terhadap beton yang tidak menggunakan bahan tambah. Kuat tekan tertinggi sebesar 35,35 MPa berada pada beton dengan penambahan abu ketel 5% dan *silica fume* 10%. Untuk kuat tekan beton pada umur 56 hari mayoritas juga mengalami peningkatan dengan

kuat tekan tertinggi sebesar 39,18 MPa dan terjadi pada penambahan abu ketel 5% dan *silica fume* 5%, dan untuk peningkatan kuat tekan dari umur 28 hari ke 56 hari terbesar terjadi pada campuran yang sama dengan peningkatan kuat tekan sebesar 9,42 MPa. Peningkatan kuat tekan ini lebih besar dari peningkatan kuat tekan pada penelitian Irianti pada tahun 1999 sebesar 7,8520 MPa. Berdasarkan hal tersebut penambahan *silica fume* pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dapat menaikkan kuat tekan beton dari umur 28 hari ke 56 hari. Peningkatan kuat tekan yang terjadi juga lebih besar dari peningkatan kuat tekan pada penelitian Irianti pada tahun 1999. Peningkatan kuat tekan ini dapat terjadi karena keberadaan *Silikon dioksida* (SiO_2) pada campuran beton dapat memberikan kontribusi dalam proses pengerasan maupun peningkatan kuat tekan pada beton (Pradana dkk., 2022). Kandungan senyawa *Silikon dioksida* (SiO_2) pada abu ketel ditambah dengan kandungan senyawa *Silikon dioksida* (SiO_2) pada *silica fume* menjadikan peningkatan kuat tekan pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan peningkatan kuat tekan pada penelitian Irianti pada tahun 1999.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Penambahan abu ketel dan *silica fume* pada adukan beton dapat menaikkan kuat tekan beton pada umur 28 hari ke 56 hari dengan kadar optimum 5% abu ketel dan 5% *silica fume* dengan kenaikan kuat tekan sebesar 9,42 MPa. Kenaikan ini lebih besar dari kenaikan kuat tekan pada beton tanpa bahan tambahan.

Proporsi optimum pada variasi penggantian sebagian semen adalah 85% semen, 5% abu ketel, dan 10% *silica fume*, menghasilkan kuat tekan beton kubus sebesar 28,93 MPa pada umur 28 hari dan kuat tekan beton kubus sebesar 30,67 MPa pada umur 56 hari.

4.2 Saran

Untuk menindaklanjuti penelitian ini, maka perlu diadakan penelitian yang lebih lanjut untuk melengkapi dan mengembangkan tema penelitian ini. Sebaiknya pelaksanaan penelitian dari persiapan awal sampai tahap pengujian dilakukan dengan ketelitian yang tinggi. Simpan material penelitian dengan baik dan simpan alat yang digunakan untuk pembuatan benda uji dalam kondisi bersih. Pada saat pemadatan adukan beton, harus dilakukan dengan teliti agar adukan beton padat dan merata. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan *superplasticizer*. Perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut mengenai variasi optimum kadar abu ketel dan *silica fume* dengan memperkecil rentangnya sehingga didapatkan variasi optimum kadar abu ketel dan *silica fume* yang lebih spesifik.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Lampung. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung serta ucapan terimakasih kepada Tim peneliti atas kontribusi dukungan.

Daftar Kepustakaan

- Badan Pusat Statistik Indonesia. 2022. Statistik Kelapa Sawit Indonesia Tahun 2022.
- Bernavida, F. and Wulandari, S. 2021. Stabilisasi Tanah Gambut Menggunakan Abu Boiler Kelapa Sawit Ditinjau Dari Nilai Cbr Laboratorium. *Rekayasa Sipil*, 15(1), pp. 7–15.
- Bintang Pradana, F., Sulistyorini, D. and Shulhan, M.A. 2022. Pengaruh Pasir Silica Pada Persentase 0%, 50% Dan 100% Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton. *Jurnal Surya Beton*, 6(2), pp. 1–6.
- Gunawan, H.C., Mungok, C.D. and Lestyowati, Y. 2018. Pemanfaatan Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Beton. *JeLAST : Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 5(2), pp. 1–9.
- Gregorius Talinusa, W. J. T. (2014). Pengaruh Dimensi Benda Uji Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Sipil Statik*, 2(7), 344–351. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/6005>.
- Irianti, L. 1999. Pengaruh Abu ketel Sebagai Bahan Tambahan Dalam Desain Beton Mutu Tinggi. *Jurnal Penelitian Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, 2(2), 14-25.
- Kamal, A.A. and Mojtahedi, I. 2023. Enhancing Concrete Properties Using Silica Fume: Optimized Mix Design. *Journal of Smart Buildings and Construction Technology CITATION* Abed, 5(1), [Online] Available from: doi.org/10.30564/jsbct.v5i1.5678.
- Kamil, F. (2023). Pengujian Awal Agregat Kasar, Agregat Halus, Semen, Dan Air: Fondasi Penelitian Beton Berkualitas. *Jurnal Konstruksi dan Infrastruktur*, 11(2), 77–88. <https://doi.org/10.33603/jki.v11i2.8700>
- Kushartomo, W., Sutandi, A., & Wijaya, J. (2024). *Pengaruh Ukuran Benda Uji Kubus Terhadap Nilai Kuat Tekan*. 7(4), 1401–1406.
- Kementrian PUPR Indonesia .2022. Informasi Statistik Infrastruktur PUPR.
- Prasetya, Aji. 2007. *Pengertian Umum Beton*. Universitas Islam Riau.
- Putra, R. H. 2022. *Pengaruh kadar fly ash dan silica fume terhadap kuat tekan beton mutu tinggi*. Skripsi. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Permatasari, S., Agustina, S., & Satriani. 2022. Studi pemanfaatan limbah abu kerak boiler terhadap kualitas bata beton. *Jurnal Teknik Sipil Politeknik Kotabaru*, 12(1), 94–100.
- Rahmanto, F. A., & Indonesia, U. I. (2023). Pengaruh Penggunaan Cangkang Kelapa Sawit Dan Silica Fume. 28(2), 36–48.
- Sebayang, S. 2011. *Tinjauan sifat-sifat mekanik beton alir mutu tinggi dengan silika fume sebagai bahan tambahan*. Bandar Lampung: Jurnal Rekayasa Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Lampung, 15(2), 131138.
- Suryanto, R. F. (2014). Pengaruh Penambahan Fly Ash atau Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Beton dan Setting Time Pada Semen. *Paper Knowledge Toward a Media History of Documents*, cm, 34–54.
- SNI 03-1974-1990.1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- SNI 1974-2011. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional Indonesia.

- SNI 7656:2012.2012. Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Normal, dan Beton Massa. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- Silica Fume Association .2022. Silica Fume User's Manual Second Edition.
- Sumajouw, M.D.J. et al. 2014. PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI Servie O. Dapas. Jurnal Ilmiah Media Engineering, 4(4), pp. 215–218.
- Suryanto, R. F. (2014). Pengaruh Penambahan Fly Ash atau Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Beton dan Setting Time Pada Semen. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, cm, 34–54.
- Tarru, R. O. (2018). Studi Penggunaan Silica Fume Sebagai Bahan Pengisi (Filler) Pada Campuran Beton. *Journal Dynamic Saint*, 3(1), 472–485. <https://doi.org/10.47178/dynamicsaint.v3i1.271>
- Vitri, G. & Herman, H. 2019. Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Material Tambahan Beton. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 6(2), 78–87. <https://doi.org/10.21063/JTS.2019.V602.06>.
- Zai, K. A., Syahrizal, & Krolina, R. (2014). Pengaruh Penambahan Silica Fume Dan Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Dengan Metode Aci (American Concrete Institute). *Jurnal Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara*,1(1), 1-9.