

Pengaruh Abu Ketel sebagai Bahan Penambah Campuran Beton Normal terhadap Kuat Tekan

Hadi Hidayatullah ¹⁾

Laksmi Irianti ²⁾

Masdar Helmi ³⁾

Ratna Widyawati ⁴⁾

Abstract

Much of the kettle ash waste found in palm oil mills is wasted and can pollute the environment. Therefore, efforts need to be made to handle this waste. One of them is its use as an additional ingredient in concrete mixtures. . This research aims to analyze the effect of kettle ash on the rate of increase in compressive strength through laboratory testing with variations in kettle ash used, namely 0%, 5%, 10%, 15% and 20% of the cement weight. The test specimens have dimensions of 15 cm x 15 cm x 15 cm with testing times at 3 days, 7 days, 14 days, 28 days and 56 days. Based on analysis of research data, it was found that the majority experienced an increase in the compressive strength of concrete without additional materials. Increases occurred at 3 days, 7 days, 14 days and 28 days. The percentage increase in compressive strength for the majority decreased at the age of 3 days, 7 days, 14 days. Meanwhile, at the age of 56 days the majority experienced an increase in the percentage of compressive strength which was caused by a quite significant increase in compressive strength. The highest compressive strength at 56 days was produced by test object code BAK 1 of 38.59 MPa.

Key Words : Kettle ash, compressive strength, rate of increase

Abstrak

Limbah abu ketel yang terdapat pada pabrik kelapa sawit banyak yang terbuang dan dapat mencemari lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya dalam penanganan limbah tersebut. Salah satunya adalah pemanfaatan sebagai bahan tambah pada campuran beton. . Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh abu ketel terhadap laju peningkatan kuat tekan melalui pengujian di laboratorium dengan variasi abu ketel yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Benda uji berdimensi 15 cm x 15 cm x 15 cm dengan waktu pengujian pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 56 hari. Berdasarkan analisis data penelitian, didapatkan bahwa mayoritas mengalami peningkatan terhadap kuat tekan beton tanpa bahan tambah. Peningkatan terjadi pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Persentase peningkatan kuat tekan mayoritas mengalami penurunan pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari. Sedangkan, pada umur 56 hari mayoritas mengalami peningkatan persentase kuat tekan yang disebabkan oleh peningkatan kuat tekan yang cukup signifikan. Dengan kuat tekan terbesar pada umur 56 hari dihasilkan oleh kode benda uji BAK 1 sebesar 38,59 MPa.

Kata Kunci : Abu ketel, kuat tekan, laju peningkatan

¹⁾ Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
Surel: laksmi@eng.unila.ac.id

²⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 . Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro no. 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro no. 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

I. PENDAHULUAN

Meluasnya laju pembangunan saat ini 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 lainnya (Sumajouw dkk, 2014). Dalam pembentukannya, beton dapat ditambahkan bahan tambahan. Bahan tambahan yang dimaksud dapat berupa bahan tambahan yang bersifat kimia (*chemical additive*) dan bahan tambah mineral yang biasa disebut *additive*.

Bahan tambah yang bersifat kimia (*chemical additive*) dapat berupa cairan yang bersifat *water reducing* (mengurangi penggunaan air), *retarding* (memperlambat pengerasan), dan *accelerating* (mempercepat pengerasan), sedangkan bahan tambah mineral dapat dihasilkan dari sisa-sisa hasil produksi dari suatu produk seperti abu ketel (limbah pembakaran kelapa sawit).

Abu ketel adalah salah satu limbah kelapa sawit yang diperoleh dari hasil pembakaran cangkang (tempurung kelapa sawit) didalam dapur pembakaran dengan suhu antara $700^{\circ}\text{C} - 800^{\circ}\text{C}$ (Gunawan dkk., 2018). Pada abu ketel memiliki senyawa *Silikon Dioksida* (SiO_2) yang cukup banyak. Silikon Dioksida (SiO_2) berperan penting dalam pembentukan *Kalsium Silikat Hidrat* (CSH) yang berfungsi sebagai perekat setelah reaksi dengan Kalsium Hidrat (CH) yang merupakan sisi lemah beton (Murdock & Brook, 1986)

Penggunaan abu ketel ini dimaksudkan untuk menganalisis pengaruh penambahan material abu ketel terhadap proses laju peningkatan kuat tekan beton sampai umur beton 56 hari.. Pengaruh penambahan material terhadap laju peningkatan dilakukan dengan menganalisis kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, 28, dan 56 hari.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton Normal

Beton normal adalah beton yang memiliki berat isi di antara $2200\text{-}2500 \text{ kg/m}^3$ yang menggunakan agregat alam yang dipecah maupun agregat alam yang tidak dipecah dan memenuhi ASTM C33M (Tampubolon, 2022). Menurut SNI 03-2834-2000 beton normal memiliki kuat tekan 21-40 MPa. Beton normal memiliki material-material pembentuk seperti agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), semen, dan air.

2.2. Material Pembentuk Beton dengan Mutu Normal

Pada pembuatan beton mutu normal, memiliki material pembentuk seperti semen, agregat halus, agregat kasar, air dan bahan tambahan lain seperti abu ketel dan *silica fume*.

2.2.1. Semen PCC (*Portland Composite Cement*)

Menurut SNI 15-7064-2004 semen PCC adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen Portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain.

Tabel 1. Persentase kandungan oksida pada OPC dan PCC.

Oksida	Persentase pada OPC (%)	Persentase pada PCC (%)
Kapur (CaO)	65,21	57,38
Silika (SiO ₂)	20,92	23,04
Alumina (Al ₂ O ₃)	5,49	7,40
Besi (Fe ₂ O ₃)	3,78	3,36

Sumber: Pradana, 2016

Tabel 2. Komposisi utama semen portland.

Nama komposisi	Rumus kimia	Bobot (%)
Tricacium Silika (C ₃ S)	3CaO. SiO ₂	60±10
Dicalcium Silika (C ₂ S)	2CaO. SiO ₂	16±10
Tricalcium Alumina (C ₃ A)	3CaO. Al ₂ O ₃	1-10
Tetracalcium Alumina Ferrit (C ₄ AF)	4CaO. Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	0-16

Sumber: Neville & Brooks, 2010

Menurut SNI 15-7064-2004, semen PCC dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti pekerjaan yang menggunakan beton, pekerjaan pemasangan bata, pekerjaan selokan, pekerjaan jalan, pekerjaan pagar, pekerjaan dinding, dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, *paving block*, dan lain-lain.

2.2.2. Agregat Halus

Menurut SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,76 mm berasal dari alam atau hasil olahan Pada beton agregat halus dapat berupa pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang didapatkan dari alat-alat pemecah batu. Syarat beton yang baik salah satunya adalah gradasi yang sebagaimana tertuang dalam SNI 03-6820-2002. Gradasi pada adukan terbagi menjadi dua yakni gradasi pasir alam dan gradasi pasir olahan, seperti tertuang dalam tabel berikut:

Tabel 3. Gradasi agregat halus pada adukan.

Saringan	Persen lolos (%)	
	Pasir alam	Pasir olahan
No.4 (4,76 mm)	100	100
No.8 (2,36 mm)	99-100	95-100
No.16 (1,18 mm)	70-100	70-100
No. 30 (600 µm)	40-75	40-75
No.50 (300 µm)	10-35	20-40
No.100 (150 µm)	2-15	10-25
No. 200 (75 µm)	0	0-10

Sumber : SNI 03-6820-2002

2.2.3. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah pemecahan alami dari batuan atau dapat berupa batu pecah yang didapatkan dari pemecahan batu secara manual oleh manusia (Panennungi & Pertiwi, 2018). Agregat kasar pada umumnya adalah agregat yang memiliki ukuran butir lebih

dari 5 mm. Gradasi agregat kasar menurut SNI 03-2834-2000 seperti terlampir pada tabel berikut

Tabel 4. Gradasi agregat kasar.

Ukuran saringan				% Lolos saringan		
(Ayakan)				Ukuran maks 10 mm	Ukuran maks 20 mm	Ukuran maks 40 mm
mm	SNI	ASTM	inch			
75,0	76	3 in	3,00			100-100
37,5	38	1 ½ in	1,50		100-100	95-100
19,0	19	3/4in	0,75	100-100	95-100	35-70
9,5	9,6	3/8 in	0,3750	50-50	30-100	10-40
4,75	4,8	no.4	0,1870	0-10	0-10	0-5

Sumber: SNI 03-2834-2000

2.2.4. Air

Air adalah salah satu bahan dalam pembentukan beton. Pemakaian air pada pembuatan beton berguna untuk mengaktifkan reaksi kimia pada semen yang dapat menyebabkan pengikatan antara pasta semen dengan agregat yang berada pada beton. Berdasarkan pada ASTM C 1602 tahun 2006, kriteria kandungan zat kimia yang berada pada air dengan batasan tingkat konsentrasi tertentu pada beton, dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Batasan maksimum kandungan zat kimia dalam air.

No	Kandungan unsur kimia	Konsentrasi maksimum (ppm)
1	Chlorida (Cl) beton prategang	500
2	Chlorida (Cl) beton bertulang	1000
3	Sulfat (SO_4)	3000
4	Alkali ($Na_2O + 0,658 K_2O$)	600
5	Total solid	50000

Sumber: ASTM C1602, 2006

2.3. Abu Ketel

Abu ketel adalah salah satu limbah kelapa sawit yang diperoleh dari hasil pembakaran cangkang (tempurung kelapa sawit) didalam dapur pembakaran dengan suhu antara 700°C – 800°C (Gunawan dkk, 2018). Pada proses pembakaran ini akan menghasilkan butiran-butiran halus yaitu abu. Berdasarkan uji kimia di Laboratorium Bio-Kimia Fakultas MIPA Univesitas Lampung yang terdapat pada penelitian Laksmi Irianti, Freddi, dan Virmansyah tahun 1998 didapatkan bahwasanya abu ketel memiliki beberapa senyawa kimia yang terlampir pada tabel 6 berikut.

Tabel 6. Kandungan senyawa kimia dalam abu ketel.

Kandungan senyawa	Persentase kandungan (%)
SiO_2 (Silikon Dioksida)	31,4510
Fe_2O_3 (Besi III Oksida)	24,1271
Al_2O_3 (Alumunium Oksida)	6,7948
MgO (Magnesium Oksida)	3,0463
CaO (Kalsium Oksida)	15,2171
pH (Derajat Keasaman)	9,23

Sumber: Irianti dkk, 1998

Pada abu ketel memiliki senyawa *Silikon Dioksida* (SiO_2) yang cukup banyak. *Silikon Dioksida* (SiO_2) berperan penting dalam pembentukan *Kalsium Silikat Hidrat* (CSH) yang berfungsi sebagai perekat setelah reaksi dengan *Kalsium Hidrat* (CH) yang merupakan sisi lemah beton (Putra, 2022)

2.4. Perawatan Beton (Curing)

Perawatan beton (curing) adalah metode untuk menjaga agar beton tetap lembab dan tidak terjadi keretakan ketika sudah mengering. Pada perawatan beton di laboratorium dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan cara menggunakan penguapan (*steam*) atau perendaman.

2.5. Pengujian Kuat Tekan

Pada beton yang paling utama adalah kuat tekan pada beton itu sendiri. Nilai kuat tekan beton akan meningkat berdampingan dengan penambahan atau peningkatan umurnya, dan pada umur beton yang ke 28 hari, beton mencapai kekuatan maksimal (Panennungi & Pertiwi, 2018). Nilai kuat tekan pada beton didapatkan dari uji laboratorium maupun uji lapangan. Pengujian kuat tekan beton pada laboratorium dilakukan dengan cara membuat sampel kubus maupun silinder. Menurut SNI 1974:2011 pembebanan beton pada pengujian kuat tekan termasuk dalam pembebanan statik monotorik dengan menggunakan tes tekan (*compressive test*). Beban yang aktif akan terus terdistribusi melalui pusat berat. Maka rumus dari kuat tekan beton dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f'c = P/A$$

Keterangan:

$f'c$ = Kuat tekan beton (Mpa)
 P = Gaya tekan maksimum (N)
 A = Luas penampang benda uji (mm^2)

III. METODE PENELITIAN

3.1. Pendahuluan

Metode yang akan dipakai pada penelitian ini adalah metode eksperimental yang dimana akan dilakukan pengujian di laboratorium untuk mendapatkan data dan hasil dari penelitian yang telah dilakukan. Penelitian ini menggunakan variasi dari abu ketel sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% didapatkan dari berat semen yang digunakan sebagai bahan penambah beton normal. Penelitian ini menggunakan sampel beton berbentuk kubus dengan panjang 15 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm. serta akan diuji kuat tekan pada umur beton 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari, dan 56 hari pada beton yang hanya

mengandung material penambah yaitu abu ketel untuk melihat pengaruh material terhadap proses laju peningkatan kuat tekan beton. Penelitian dengan judul Pengaruh Abu Ketel Sebagai Bahan Penambah Campuran Beton Normal Terhadap Kuat Tekan dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.

3.2. Peralatan dan Bahan

3.2.1. Peralatan

Pada penelitian ini menggunakan beberapa alat pendukung seperti oven, satu set saringan, timbangan, piknometer, gelas ukur 1000 cc, cetakan kerucut pasir, bejana silinder, *concrete mixer*, satu set alat *slump test*, meteran, cetakan benda uji (*mold*), bak perendam, *compression testing machine* (CTM), dan alat bantu lainnya.

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah semen PCC, agregat halus, agregat kasar, *silica fume*, dan abu ketel. Semen PCC diperoleh dari toko dalam kondisi tertutup, agregat halus berasal dari Gunung Sugih, Lampung Tengah, agregat kasar berasal dari daerah Tanjung, Lampung Selatan dengan ukuran maksimum 20 mm. *Silica fume* dan abu ketel digunakan sebagai bahan penambah campuran beton dengan abu ketel yang didapatkan dari PT. Perkebunan Nusantara (PTPN 7).

3.2. Sifat Fisik Material Pembentuk Beton

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. Data yang telah didapatkan kemudian digunakan dalam perhitungan mix design. Adapun hasil dari beberapa pengujian material tersebut diterangkan pada tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil pengujian material pembentuk beton.

Modulus kehalusan	Material yang dipakai	Nilai hasil	Standar SNI
-------------------	-----------------------	-------------	-------------

Berdasarkan pengujian material dan didapatkan data seperti tabel di atas, maka dapat disimpulkan bahwa material untuk pembentuk beton yang digunakan telah memenuhi standar SNI sehingga dapat digunakan dalam campuran beton.

3.3. Komposisi Material untuk Setiap Jenis Campuran Beton

Kebutuhan material untuk campuran beton dihitung menggunakan metode SNI 7656:2012. Pada campuran beton ini dihitung menjadi beberapa tipe seperti beton normal yaitu beton yang hanya menggunakan bahan utama pembentuk beton yaitu agregat halus, agregat kasar, semen dan air, tipe kedua adalah beton yang menggunakan salah satu

bahan tambah yaitu abu ketel atau *silica fume* saja dengan kadar abu ketel 5%, 10%, 15%, 20% dari berat semen dan kadar *silica fume* 5% dan 10% dari berat semen. Hasil perhitungan didapatkan komposisi material untuk campuran beton per m^3 yaitu:

Tabel 8. Komposisi material pada campuran beton per m^3 (kg).

No	Kode	Semen	Air	Agregat kasar	Agregat halus	Abu ketel	<i>Silica fume</i>	Berat total
1	BAK 0	429,87	203	1025,32	609,16	0	0	2267,35
2	BAK 1	429,87	203	1025,32	609,16	21,49	0	2288,84
3	BAK 2	429,87	203	1025,32	609,16	42,98	0	2310,33
4	BAK 3	429,87	203	1025,32	609,16	64,48	0	2331,83
5	BAK 4	429,87	203	1025,32	609,16	85,97	0	2353,32
6	BSF 1	429,87	203	1025,32	609,16	0	21,49	2288,94
7	BSF 2	429,87	203	1025,32	609,16	0	42,98	2320,33

3.4. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan membuat benda uji berbentuk kubus dengan Panjang 15 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm yang akan digunakan untuk pengujian kuat tekan. Terdapat 2 kategori benda uji yaitu benda uji yang tidak menggunakan tambahan kedua material dan benda uji yang hanya menggunakan satu material tambah saja yaitu abu ketel atau *silica fume* yang akan diuji pada umur 3, 7, 14, 28 dan 56 hari. Data dari jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Variabel dan kode benda uji.

No	Jenis Komposisi	Kode benda uji	Jumlah sampel
1	100%S + 0%SF + 0% AK	BAK 0	15
2	100%S + 0%SF + 5% AK	BAK 1	15
3	100%S + 0%SF + 10% AK	BAK 2	15
4	100%S + 0%SF + 15% AK	BAK 3	15
5	100%S + 0%SF + 20% AK	BAK 4	15
6	100%S + 5%SF + 0% AK	BSF 1	15
7	100%S + 10%SF + 0% AK	BSF 2	15

Keterangan:

S = Semen

AK = Abu ketel

SF = *Silica fume*

3.5. Pengujian *Workability* Beton Segar

Pada saat sebelum beton segar dimasukkan kedalam *mold* untuk dicetak, beton segar harus diuji terlebih dahulu kelecakannya atau kemudahan untuk dikerjakan menggunakan *slump* test. Pengujian *slump* berdasarkan SNI 03-1972-1990.

3.6. Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Benda uji yang telah didiamkan selama 24 jam selanjutnya dikeluarkan dari *mold* dan direndam di dalam bak berisi air selama 1, 5, 12, 26, dan 54 hari. Proses ini dilakukan untuk menjamin proses hidrasi dapat terlaksanan dengan baik sehingga proses pengerasan dapat terjadi dengan sempurna dan tidak terjadi keretakan saat beton sudah mengering. Proses ini juga berguna untuk menjaga mutu beton yang telah direncanakan. Setelah

sampel uji dikeluarkan dari bak berisi air, sampel uji didiamkan selama 24 jam sebelum dilakukan pengujian kuat tekan.

3.7. Pengujian Benda Uji Menggunakan CTM

Sampel beton yang telah selesai dilakukan curing, selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan dengan benda uji berbentuk kubus. Kuat tekan beton adalah Kekuatan tekan beton yang merujuk pada kapasitas beton untuk menahan gaya tekan tertentu (yang diterapkan oleh mesin pengujian) dengan beban per satuan area sampai mencapai titik kegagalan (SNI 03-1974-1990). Pengujian kuat tekan pada penelitian ini menggunakan *compression testing machine* (CTM) yang memiliki kapasitas maksimal sebesar 3000 KN dengan kecepatan pembebanan sebesar 0,14-0,34 MPa/detik. Rumus yang dapat dipakai pada kuat tekan beton adalah:

$$f'_c = P/A$$

Keterangan:

f'_c = Kuat tekan beton (Mpa)

P = Gaya tekan maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

3.8. Perhitungan dan Analisis Data

Setelah dilakukan pengujian pada sampel beton, maka dapat dilakukan perhitungan dan analisis data sebagai berikut:

- 1) Menghitung kuat tekan beton pada benda uji kubus dengan umur beton 3, 7, 14, 28, 56 hari pada beton normal dan beton dengan tambahan material yaitu abu ketel untuk melihat pengaruhnya terhadap laju peningkatan kuat tekan beton.
- 2) Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, 28, dan 56 hari dibuat grafik perbandingan laju peningkatan kuat tekan antara beton tanpa bahan tambah dengan beton yang diberikan bahan tambah yaitu abu ketel dengan kadar persentase tertentu yang kemudian dilakukan analisis data.

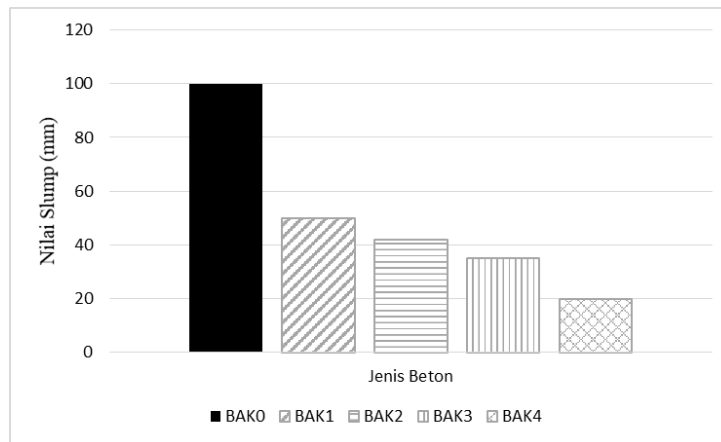
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Keleccakan (*Workability*)

Keleccakan campuran beton (*workability*) dapat dilihat melalui hasil *slump test*. Keleccakan campuran beton adalah sifat pada campuran beton yang menentukan kemudahan adukan atau campuran beton tersebut dikerjakan. Pada penelitian ini, slump direncanakan pada nilai 100 mm. Hasil penelitian pada nilai slump disajikan pada Tabel 10 di bawah ini.

Tabel 10. Nilai *slump* beton.

No	Kode benda uji	Komposisi	Nilai slump (mm)
	BAK 0	S 100% + AK 0% + SF 0%	100



Gambar 1. Pengaruh abu ketel terhadap nilai *slump* beton.

Berdasarkan Gambar 1 di atas dapat disimpulkan beton yang menggunakan abu ketel memiliki nilai *slump* yang lebih kecil dari beton yang tidak menggunakan abu ketel. Semakin besar kadar abu ketel yang digunakan maka nilai *slump* akan semakin mengecil. Hasil ini telah sesuai dengan penelitian Irianti dkk (1998) yang menyimpulkan semakin besar kandungan abu ketel, maka nilai *slump* semakin kecil. Mengecilnya nilai slump dikarenakan permukaan abu ketel yang tidak bulat dan memiliki tingkat penyerapan air yang tinggi (Irianti dkk, 1998).

4.2. Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat beton berumur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari, dan 56 hari setelah pengecoran dilakukan. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan laju peningkatan nilai kuat tekan beton normal dan beton yang menggunakan bahan tambah yakni abu ketel dengan kadar tertentu pada umur tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan beban pada permukaan benda uji kubus dengan sisi 15 cm dan mencatat beban maksimum pada saat benda uji telah runtuh. Data yang didapatkan dari pengujian ini adalah beban maksimum yang lalu akan diubah menjadi kuat tekan maksimum.

Hasil dari pengujian kuat tekan beton normal dan beton yang menggunakan salah satu bahan tambah pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari, dan 56 hari akan dibandingkan dengan persentase peningkatan kuat tekan beton yang berada pada Peraturan Beton Indonesia Tahun 1971.

Tabel 11. Laju Peningkatan kuat tekan peraturan beton Indonesia 1971.

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen portland biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen portland dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,20

Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 12 dan Tabel 13 di bawah ini.

Tabel 12. Hasil pengujian kuat tekan beton.

Kode benda uji

Berdasarkan Tabel 12 di atas dapat disimpulkan semua beton yang menggunakan abu ketel memiliki kuat tekan lebih besar dari beton yang tidak menggunakan bahan tambah apapun. Penggunaan abu ketel sebagai bahan tambah yang memiliki kuat tekan tertinggi pada umur 3 hari adalah pada kadar abu ketel 5% (BAK 1) dan kuat tekan terendah pada kadar abu ketel 15% (BAK 3), sedangkan kuat tekan beton tertinggi pada umur 28 hari adalah pada kadar abu ketel 5% (BAK 1) dan kuat tekan beton terendah pada kadar abu ketel 10% (BAK 2). Selain di umur 28 hari, beton juga memiliki kuat tekan terhadap beton tanpa bahan tambah pada umur 56 hari. Kuat tekan terbesar adalah pada kadar abu ketel 5% (BAK 1) dan kuat tekan terendah adalah pada kadar abu ketel 10% (BAK 2).

Beton yang menggunakan bahan tambah abu ketel atau *silica fume* pada saat berumur di bawah 28 hari tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan. Hal ini dapat terjadi karena karena penambahan abu ketel pada beton akan mengurangi laju pengerasan pada beton (Irianti dkk, 1998).

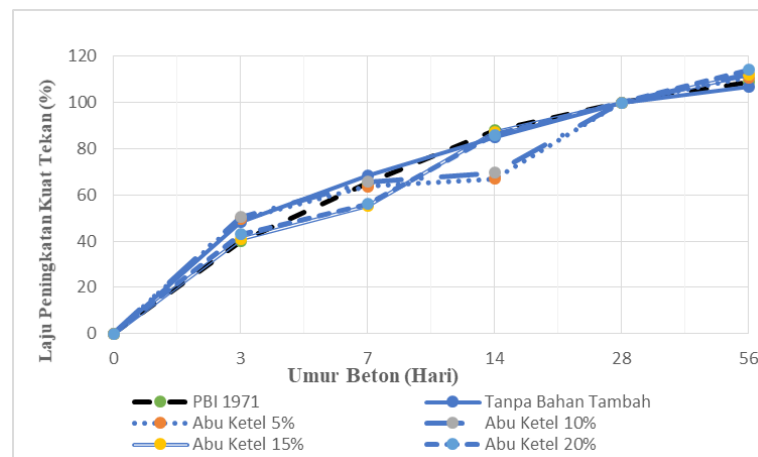
Berdasarkan Irianti dkk (1998) pada abu ketel mengandung 31,4510% *Silikon Dioksida* (SiO_2). *Silikon Dioksida* (SiO_2) menurut Putra (2022) berperan penting dalam pembentukan *Kalsium Silikat Hidrat* (CSH) yang berfungsi sebagai perekat setelah reaksi dengan *Kalsium Hidrat* (CH) yang merupakan sisi lemah beton. Hal tersebut yang menyebabkan kuat tekan beton yang menggunakan abu ketel lebih tinggi dari kuat tekan beton yang tidak menggunakan bahan tambah.

Kode benda uji

4.3. Laju Peningkatan Kuat Tekan Beton

Beton mengalami peningkatan kuat tekan setiap harinya. Persentase peningkatan kuat tekan beton tertera pada Peraturan Beton Indonesia 1971. Hasil dari persentase peningkatan kuat tekan benda uji dapat dilihat pada Tabel 13 berikut.

Tabel 13. Persentase Laju Peningkatan Kuat Tekan Beton



Gambar 2. Grafik laju peningkatan kuat tekan beton dengan abu ketel.

Berdasarkan Gambar 2 di atas dapat disimpulkan laju peningkatan kuat tekan beton pada Peraturan Beton Indonesia 1971 dengan hasil uji laboratorium memiliki perbedaan persentase peningkatan. Perbedaan persentase peningkatan yang terjadi tidak terlalu signifikan atau tidak terlalu berbeda.

Menurut Ginting (2011) peningkatan kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu faktor air semen, suhu perawatan dan, jenis semen yang digunakan. Semakin tinggi faktor air semen semakin lambat kenaikan kekuatan beton dan semakin tinggi suhu perawatan semakin cepat kenaikan kekuatan.

Persentase peningkatan kuat tekan beton pada beton yang menggunakan abu ketel mengalami fluktuatif terhadap kuat tekan beton tanpa bahan tambah. Persentase peningkatan kuat tekan yang terjadi pada beton yang menggunakan bahan tambah mayoritas mengalami penurunan pada umur 3 hari, 7 hari, dan 14 hari. Penurunan ini terjadi pada kode benda uji BAK 1 dan BAK 2. Penurunan persentase kuat tekan ini diakibatkan karena kuat tekan beton dengan bahan tambah pada umur 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan yang cukup tinggi dari beton tanpa bahan tambah. Sedangkan, pada umur 56 hari beton mengalami peningkatan persentase kuat tekan. Hal ini dikarenakan pada umur 56 hari kuat tekan mengalami peningkatan terhadap beton tanpa bahan tambah.

Menurut Irianti dkk (1998) penambahan abu ketel terhadap kuat tekan beton di bawah umur 28 hari tidak menunjukkan peningkatan kekuatan besar. Hal ini disebabkan karena penambahan abu ketel pada beton akan mengurangi laju pengerasan pada beton.

V. KESIMPULAN

Penambahan abu ketel atau *silica fume* pada adukan beton dapat menurunkan nilai *slump* beton, semakin besar kadar abu ketel dan *silica fume* yang digunakan maka semakin kecil pula nilai *slump* yang dihasilkan.

Laju peningkatan beton tanpa bahan tambah tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Laju peningkatan kuat tekan beton tanpa bahan tambah tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan PBI 1971 dan laju peningkatan beton dengan bahan tambah mengalami peningkatan kuat tekan pada umur 3, 7, 14 hari. Akan tetapi peningkatan yang signifikan terjadi pada umur 28 dan 56 hari. Sedangkan persentase kuat tekan terhadap beton tanpa bahan tambah mayoritas kode benda uji mengalami penurunan pada umur 3, 7, 14 hari

yang diakibatkan oleh peningkatan kuat tekan yang signifikan pada umur 28 hari dan tidak ada peningkatan yang signifikan pada umur 3, 7, dan 14 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 1602. 2006. *Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete, Annual Books of ASTM Standards*. USA: Association of Standard Testing Materials.
- SNI 03-1972-1990. 1990. Metode Pengujian Slump Beton. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional
- SNI 03-1974-1990. 1990. Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-2834-2000. 2000. Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-6820-2002. 2002. Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran Dengan Bahan Dasar Semen. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-6861.1-2002. 2002. Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam). Bandung: Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan LPMB.
- SNI 15-7064-2004. 2004. Semen Portland Komposit: Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- SNI 7656:2012. 2012. Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. 1971. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. *Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan*, 7, 130.
- Perkebunan Provinsi Lampung. 2020. Data Statistik Persebaran Luas Areal Dan Produksi Komoditas Kelapa Sawit Dinas Perkebunan di Provinsi Lampung Tahun 2020 Melalui Peta Gis (*Geographic Information System*). Dinas Perkebunan Provinsi Lampung. <https://disbun.lampungprov.go.id/detail-post/penyajian-data-statistik-persebaran-luas-areal-dan-produksi-komoditas-kelapa-sawit-dinas-perkebunan-di-provinsi-lampung-tahun-2020-melalui-peta-gis-geographic-information-system>
- Ginting, A. 2011. Perbandingan Peningkatan Kuat Tekan dengan Kuat Lentur pada Berbagai Umur Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(2), 112
- Gunawan, H. C., Mungok, C. D., & Lestyowati, Y. 2018. Pemanfaatan Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Beton. *JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 5(2), 1–9.
- Irianti, L., Freddi, & Virmasyah. 1998. Pengaruh Kadar Abu Ketel Terhadap Perilaku Beton Mutu Tinggi. Laporan Penelitian. Lampung: LPIU DUE Universitas Lampung

- Neville, A. M., & Brooks, J. J. 2010. *Concrete Technology Second Edition*.
- Panennungi, T., & Pertiwi, N. 2018. Ilmu bahan Bangunan. In *Badan Penerbit UNM*.
- Pradana, tomy, Olivia, M., & sitompul Romey Iskandar. 2016. Kuat Tekan dan Porosotas Beton Semen OPC, PCC, dan OPC POFA di Lingkungan Gambut. *Jorn Fteknik*, 3, 1–10.
- Putra, R.H. 2022. *Compressive Strength Of High Strength Concrete By Using Fly Ash and Silica Fume As Filling Materials*. Skripsi. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Sumajouw, M. D. J., Teknik, F., Sam, U., Manado, R., & Windah, R. S. 2014. PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI Servie O. Dapas. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(4), 215–218. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jime/article/view/7133>
- Tampubolon, S. P. 2022. Struktur Beton I. In *Nusantara* (Vol. 1, Issue 1).

