

**STUDI PEMANFAATAN ABU TERBANG  
LIMBAH HASIL PEMBAKARAN CAMPURAN CANGKANG  
DAN SERABUT KELAPA SAWIT SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN  
PADA PEMBUATAN BETON NORMAL DI LAHAN BASAH**

Fauzi Rahman, Gawit Hidayat, Novita Bertiani  
*Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat*  
E-mail : [fauzirahman@ulm.ac.id](mailto:fauzirahman@ulm.ac.id)

**ABSTRACT**

According to the *Badan Pusat Statistik* data in 2018, the total area of oil palm plantations in Indonesia currently reaches around 12.3 million hectares. Solid waste is the most waste, which is around 35-40% of the total Fresh Fruit Bunches (FFB) which is processed in the form of empty fruit bunches, fiber, fruit shells, and burnt ash. PT. Hasnur Citra Terpadu in Rantau, Tapin Regency, South Kalimantan is one of the Palm Oil Mill which in the combustion process of a boiler engine using oil palm shells and fibers is burned simultaneously. The result of the combustion process produces waste in the form of boiler crust ash which is fine textured (fly ash) and coarse textured (bottom ash). This study uses fly ash as a cement substitution for concrete mixtures.

The making of mortar specimens was varied with fly ash with a percentage of 0%, 10%, 15%, 20% and 25% which will be tested for compressive strength at the age of 3 days, 7 days, 14 days, 21 days, and 28 days. Then the making of concrete specimens is planned with a quality of 25 MPa and the concrete compressive strength is tested at the age of 3 days, 7 days, 14 days, 28 days and 56 days and the split tensile strength test of the concrete at 28 days.

Based on the results of the mortar compressive strength analysis, the optimum mixture of fly ash is 10% which is used for making concrete. The average compressive strength of normal concrete at 28 days is 26.33 MPa and the compressive strength of concrete with 10% fly ash (optimum concrete) is 26.14 MPa exceeding the design compressive strength of 25 MPa. Based on the results of the split tensile strength test of concrete at the age of 28 days, it was obtained 3,914 MPa for normal concrete and 3,466 MPa for optimum concrete.

Keywords: fly ash, normal concrete, cement substitution

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penghasil kelapa sawit terbesar salah satunya adalah Indonesia. Pada saat ini luas area perkebunan kelapa sawit jumlah totalnya di Indonesia mencapai sekitar mencapai 12,3 juta hektar pada tahun 2017 (Statistik, 2018). Besarnya angka produksi maka limbah yang dihasilkan juga sangat besar yaitu berupa limbah padat, cair dan gas. Bahan bakar mesin boiler yang digunakan pada saat ini adalah serabut kelapa sawit dan cangkangnya (limbah padat). Menurut Mulia 2007, kurang lebih 100 kg/minggu abu layang dan sekitar lebih 3 sampai dengan 5 ton/minggu abu kerak boiler dihasilkan dari pembakaran limbah kelapa sawit (Mulia. 2007).

Salah satu pabrik kelapa sawit yang menggunakan cangkang dan serabut kelapa sawit sebagai bahan bakar mesin boiler adalah PT. PT. Hasnur Citra Terpadu di Rantau Kabupaten Tapin Kalimantan Selatan. Limbah abu kerak boiler yang dihasilkan berupa *fly ash* (abu terbang) dan *bottom ash* (abu dasar). Abu terbang merupakan limbah padat utama hasil pembakaran boiler dan dalam proses pembakaran cangkang dan serabut kelapa sawit, abu yang dihasilkan memiliki titik leleh yang lebih tinggi dari pada temperatur pembakarannya (Simamarta, 2017). Kondisi ini menghasilkan abu dengan butiran-butiran yang sangat halus berwarna gelap dan bobot yang lebih ringan dibandingkan abu dasar (Simamarta, 2017). Pada saat ini limbahnya berupa abu kerak boiler dimanfaatkan pihak pengelola pabrik sebagai bahan campuran pupuk untuk kebutuhan perkebunan kelapa sawit.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang abu terbang pada pembuatan beton normal di lahan basah, sebagai substitusi semen. Dengan memvariasikan abu terbang dari 0%, 10%, 15%, 20% dan 25% dibuat sampel mortar dan untuk campuran beton digunakan kadar optimum berdasarkan hasil uji kuat tekan mortar. Penelitian ini direncanakan dengan mutu beton 25 Mpa. Beton dengan kadar optimum dan beton normal dibandingkan kekuatannya yang akan diuji pada saat berumur 3, 7, 14, 28 dan 56 hari.

### 1.2 Perumusan Masalah

Penelitian ini membahas beberapa permasalahan yaitu :

1. Berdasarkan analisa kuat tekan mortar pada 3, 7, 14, 21 dan 28 hari, seberapa besar kadar optimum abu terbang yang dapat digunakan untuk campuran beton?

2. Berdasarkan analisa kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, 28 dan 56 hari, sejauh mana perubahan nilai kuat tekan beton optimum dan kuat tekan beton normal?
3. Berdasarkan analisa kuat tarik belah beton optimum dan beton normal pada saat berumur 28 hari, seberapa besar kuat tariknya?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Berdasarkan analisa kuat tekan mortar pada umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari, ingin mengetahui berapa besar kadar optimum abu terbang sebagai substitusi semen pada campuran beton.
2. Berdasarkan analisa kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, 28 dan 56 hari, ingin mengetahui perubahan kuat tekan beton optimum dan beton normal.
3. Berdasarkan analisa kuat tarik belah pada saat berumur 28 hari, ingin mengetahui berapa besar kuat tarik belah beton optimum dan beton normal.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Ada beberapa manfaat penelitian, antara lain adalah :

1. Menemukan jalan alternatif tentang beton yang ramah lingkungan yang memenuhi kuat tekan rencana.
2. Mengetahui fungsi lebih dari abu kerak boiler khususnya abu terbang.

## **2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Beton dan Beton Normal**

Beton didefinisikan sebagai campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk massa padat (Badan Standardisasi Nasional, 2002). Menurut SNI 03-2847-2002, beton normal adalah beton yang mempunyai berat satuan  $2200 \text{ kg/m}^3$  sampai  $2500 \text{ kg/m}^3$  dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah (Badan Standardisasi Nasional, 2002).

## 2.2. Komponen Dalam Campuran Beton

### 2.2.1. Portland Composite Cement (PCC)

*Portland Composite Cement (PCC)* didefinisikan sebagai pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama klinker semen Portland dan gypsum dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen Portland dengan bubuk bahan organik lain (SNI 15-2049-2004, 2004).

### 2.2.2. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan agregat yang mempunyai ukuran butir antara 5,00 mm sampai 40 mm (Badan Standardisasi Nasional, 2002). Agregat kasar disebut juga kerikil atau batu pecah.

### 2.2.3. Agregat Halus

Agregat halus merupakan agregat yang mempunyai ukuran butir maksimum sebesar 5,00 mm (Badan Standardisasi Nasional, 2002).

### 2.2.4. Abu Kerak Boiler (Abu Terbang)

Menurut ASTM C 618-05 abu terbang dibagi menjadi 3 kelas yaitu kelas N, kelas F, dan kelas C (American Society for Testing and Materials, 1997).

Tabel 2.5 Klasifikasi Abu Terbang

	Class		
	N	F	C
Silicon dioxide (SiO <sub>2</sub> ) plus aluminum oxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) plus iron oxide (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), min, %	70.0	70.0	50.0
Sulfur trioxide (SO <sub>3</sub> ), max, %	4.0	5.0	5.0
Moisture content, max, %	3.0	3.0	3.0
Loss on ignition, max, %	10.0	6.0 <sup>A</sup>	6.0

<sup>A</sup>The use of Class F pozzolan containing up to 12.0 % loss on ignition may be approved by the user if either acceptable performance records or laboratory test results are made available.

Sumber : ASTM C 618-05 (American Society for Testing and Materials, 1997).

## 2.3. Kuat Tekan Mortar

Menurut SNI 03-6825-2002, mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen portland) dan air dengan komposisi tertentu (SNI 03-6825-2002, 2002).

Menurut SNI 03-6825-2002 kekuatan tekan mortar adalah gaya maksimum per satuan luas yang bekerja pada benda uji mortar berbentuk kubus dengan ukuran tertentu serta berumur tertentu. Gaya yang bekerja pada saat benda uji kubus pecah adalah gaya maksimum (SNI 03-6825-2002, 2002).

Dalam perhitungan kuat tekan mortar digunakan persamaan di bawah ini:

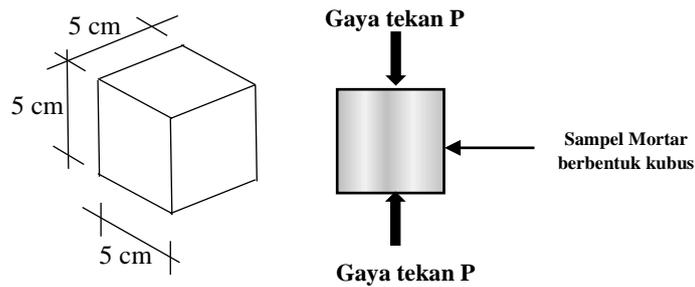
$$\sigma_m = \frac{P_{maks}}{A} \quad (2.1)$$

Dimana:

$\sigma_m$  : Kekuatan tekan mortar dalam satuan Mega Pascal (MPa)

$P_{maks}$  : Beban tekan maksimum dalam satuan Newton (N)

$A$  : Luas penampang sampel dalam satuan mili meter persegi ( $mm^2$ )



Gambar 2.1 Tes Kuat Tekan Mortar

#### 2.4. Kekuatan Tekan Beton

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 dalam perhitungan kuat tekan beton digunakan persamaan di bawah ini (Badan Standardisasi Nasional, 2002).

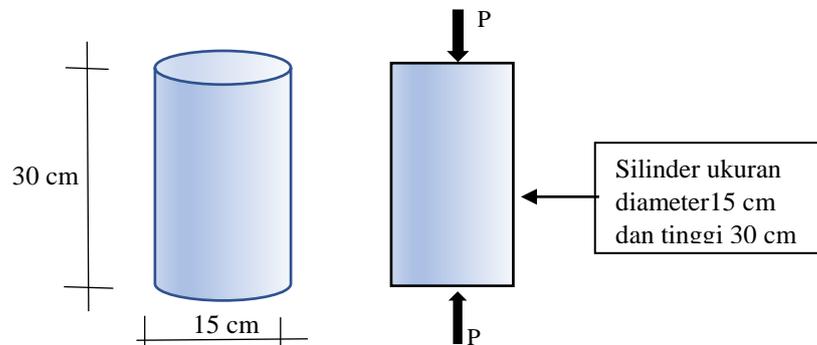
$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (2.2)$$

Dimana :

$f'_c$  : Kuat tekan Silinder beton dalam satuan Mega Pascal (MPa)

$P$  : Beban hancur dalam satuan Newton (N)

$A$  : Luas penampang dalam satuan millimeter persegi ( $mm^2$ )



Gambar 2.2 Tes Kekuatan Tekan Beton Silinder

## 2.5. Kekuatan Tarik Belah Beton

Menurut Mulyono 2003, perkiraan nilai kuat tarik beton hanya sekitar 9%-15% dari kuat tekannya (Mulyono, 2003). Berdasarkan SNI 03-2491-2002 dalam perhitungan kuat tarik belah digunakan persamaan di bawah ini (SNI 03-2491-2002, 2002).

$$f'_{ct} = \frac{2P}{LD} \quad (2.3)$$

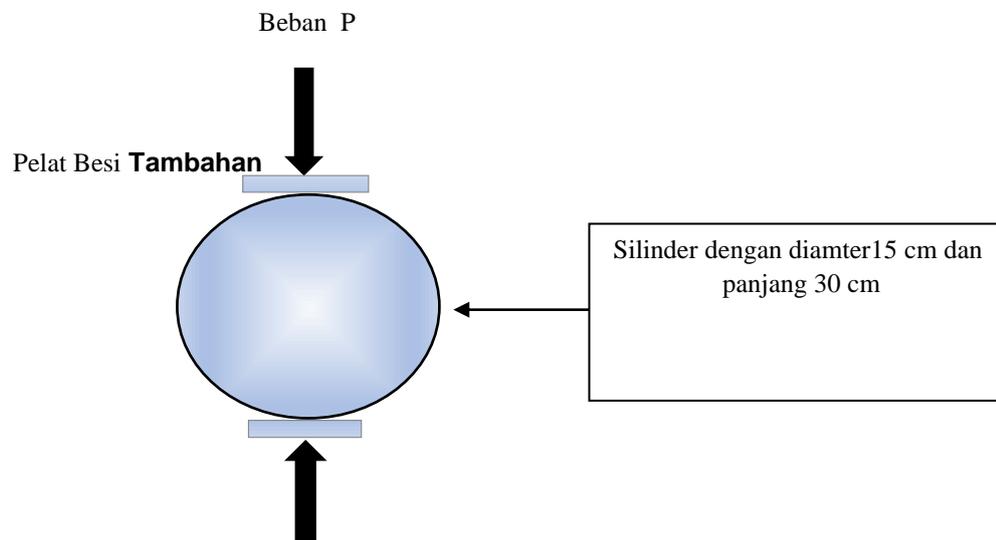
Dimana:

$f'_{ct}$  = Kuat tarik-belah dalam satuan Mega Pascal (MPa)

$P$  = Beban maksimum dalam satuan Newton (N)

$L$  = Panjang sampel dalam satuan milimeter (mm)

$D$  = Diameter sampel dalam satuan milimeter (mm)



Gambar 2.3 Tes Kekuatan Tarik Belah Beton

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1. Persiapan dan Pemeriksaan Bahan

Material yang dipersiapkan adalah semen *Portland Composite Cement* dari Tiga Roda, agregat halus berupa pasir dari sungai Barito, agregat kasar berupa batu pecah dari Katunun Pelaihari dan air bersih dari (PDAM) serta bahan pengganti berupa abu terbang dari pabrik PT. Hasnur Citra Terpadu Tapin.

### 3.2. Rancangan Percobaan

#### 3.2.1. Perencanaan Komposisi Mortar

Berdasarkan SNI 03-6825-2002, komposisi campuran mortar untuk 6 benda uji adalah sebagai berikut : semen 500 gram, pasir 1375 gram dan air 242 ml (SNI 03-6825-2002, 2002).

Tabel 3.1 Persentase Campuran Mortar dengan Abu Terbang

No	Nama Campuran	Bahan Pengganti	Persentase Abu Terbang	Jumlah Sampel	Umur Rencana	Keterangan
1	MR0	-	0%	15 buah	3 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari.	Campuran mortar normal
2	MR10	Abu terbang	10%	15 buah		Substitusi Semen
3	MR15	Abu terbang	15%	15 buah		
4	MR20	Abu terbang	20%	15 buah		
5	MR25	Abu terbang	25%	15 buah		
			Total	75 buah		

Tabel 3.2 Campuran Mortar dengan Variasi Abu Terbang untuk 15 Benda Uji

No.	Persentase Abu Terbang	Semen (gram)	Pasir (gram)	Air (ml)	Abu Terbang (gram)
1.	0%	1250	3437,5	605	0
2.	10%	1125	3437,5	605	125
3.	15%	1062,5	3437,5	605	187,5
4.	20%	1000	3437,5	605	250
5.	25%	937,5	3437,5	605	312,5

#### 3.2.2. Desain Campuran Beton

Perencanaan campuran dibedakan untuk beton normal dan beton modifikasi menggunakan abu terbang optimum berdasarkan nilai kuat tekan mortar. Perencanaan campuran dibuat berdasarkan SNI 03 – 2834 – 2000 (Badan Standardisasi Nasional, 2000). dan syarat kekuatan berdasarkan SNI 03 – 2847 – 2002 (Badan Standardisasi Nasional, 2002).

Tabel 3.3 Campuran Beton dengan Abu Terbang

Untuk Pengujian Kuat Tekan						
No	Nama Campuran	Bahan Pengganti	Bahan substitusi semen	Jumlah Sampel	Umur Rencana	Keterangan
1	ATB1	-	0%	15 buah	3, 7, 14, 28 dan 56 hari	Campuran Beton Normal
2	ATB2	Abu Terbang	Optimum	15 buah		Substitusi semen
Untuk Tes Kuat Tarik Belah						
1	ATB3	-	0%	3 buah	28 hari	Campuran Beton Normal
2	ATB4	Abu Terbang	Optimum	3 buah	28 hari	Substitusi Semen
			Jumlah	36 buah		

### 3.3. Tes Sampel

#### 3.3.1. Tes Kuat Tekan Sampel Mortar

Tahapan tes kuat tekan sampel mortar adalah sebagai berikut:

1. Permukaan sampel dikeringkan dengan lap dan dibiarkan selama  $\pm 15$  menit setelah sampel diangkat dari perawatan.
2. Catat berat sampel setelah ditimbang.
3. Sampel ditekan dengan alat mesin penekan sampai sampel pecah, kemudian catat besar gaya tekan maksimumnya.
4. Hitung kekuatan tekan menggunakan persamaan 2.1.

#### 3.3.2. Tes Kuat Tekan Sampel Beton

Beton dikeluarkan dari bak perendam sehari sebelum dites, kemudian dikeringkan sampai kondisi SSD (*Surface Saturated Dry*) atau jenuh kering permukaan. Selanjutnya menimbang dan mencatat masing-masing berat sampel, kemudian sampel dites tekan setelah meletakkan sampel di mesin kuat tekan. Selanjutnya mencatat beban maksimum sampel hingga pecah. Hitung kuat tekan beton dengan persamaan 2.2.

#### 3.3.3. Tes Kekuatan Tarik-Belah Sampel Beton

Persamaan 2.3. digunakan untuk menghitung besarnya kekuatan tarik belah sampel beton. Kekuatan tarik belah sampel beton merupakan sampel berbentuk silinder

yang dites secara tidak langsung dimana sampel diletakkan mendatar sejajar permukaan alat tekan.

### **3.4. Analisis Hasil**

Analisis hasil pada penelitian ini terbagi menjadi 3 analisis, yaitu :

1. Proses analisa kuat tekan terhadap sampel mortar dengan variasi abu terbang 0%, 10%, 15%, 25%, 35%, 50% yang dites saat sampel berumur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari yang pada akhirnya akan mendapatkan hasil optimum abu terbang yang digunakan pada pembuatan beton.
2. Proses analisa kekuatan tekan beton normal dengan variasi umur 3, 7, 14, 28, 56 hari dan kekuatan tarik belah beton pada umur 28 hari sehingga akan didapatkan kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah maksimum pada beton.
3. Proses analisa kekuatan tekan beton dengan abu terbang optimum dengan variasi umur 3, 7, 14, 28, 56 hari dan kekuatan tarik belah beton pada umur 28 hari sehingga akan didapatkan besarnya kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah maksimum pada beton.

### **3.5. Penarikan Kesimpulan**

Membuat kesimpulan berdasarkan hasil pengolahan data tentang kekuatan tekan beton dengan variasi komposisi abu terbang sebagai bahan substitusi semen dengan persentase paling optimum didasarkan atas tes kuat tekan mortar yang dihasilkan, yang dibandingkan dengan kuat tekan tanpa abu terbang (beton normal).

## **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1 Hasil Pemeriksaan Material**

#### **Pemeriksaan Bahan Pengganti**

Bahan pengganti yang dipergunakan adalah abu terbang hasil pembakaran limbah campuran cangkang dan serabut kelapa sawit dengan hasil pemeriksaan tes kandungan kimianya dilihat pada table 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Kandungan Kimia Abu Terbang

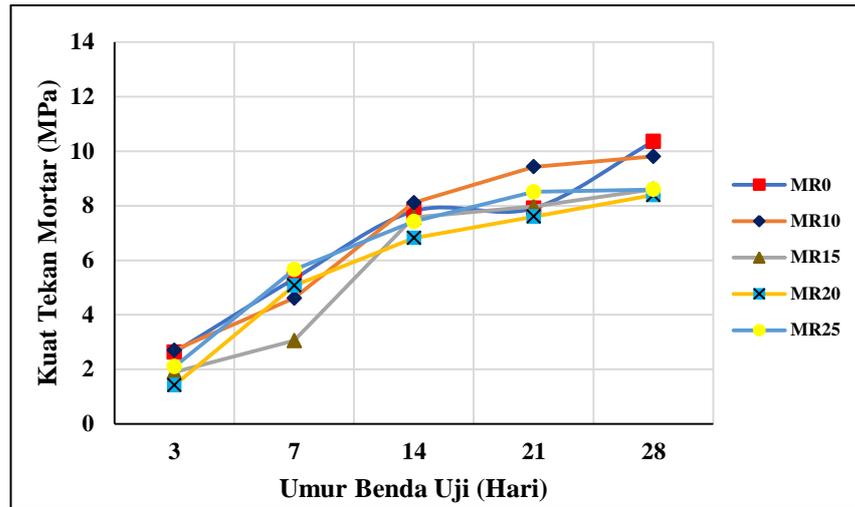
	Parameter	Satuan	Hasil	Metode
Analisis Abu (Dry Basis)	Silicon Dioxide as SiO <sub>2</sub>	persen berat	55,39	ASTM D 6349-13
	Aluminium Trioxide as Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	persen berat	5,74	
	Iron Oxide as Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	persen berat	4,17	
	Calcium Oxide as CaO	persen berat	9,24	
	Magnesium Oxide as MgO	persen berat	9,44	
	Sodium Dioxide as Na <sub>2</sub> O	persen berat	0,59	
	Potassium Oxide as K <sub>2</sub> O	persen berat	7,99	
	Manganese Oxide as MnO <sub>2</sub>	persen berat	0,20	
	Titanium Dioxide as TiO <sub>2</sub>	persen berat	0,32	
	Phosphorus Pentoxide as P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	persen berat	5,86	
	Sulphur Trioxide as SO <sub>3</sub>	persen berat	0,53	
	Undetermined	persen berat	0,53	

Sumber : PT. Surveyor Carbon Consulting Indonesia (SCCI) 2020

Dari tabel 2.5 dan tabel 4.1, jumlah senyawa SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nya adalah 65,3% lebih dari 50% dan kurang dari 70%, Senyawa Sulphur Trioxide (SO<sub>3</sub>) nya sebesar 0,53% kurang dari 5% dan Sodium Dioxide (Na<sub>2</sub>O) nya sebesar 0,59% kurang dari 1,5%. Sehingga abu terbang dari pabrik PT. Hasnur Citra Terpadu Tapin termasuk klas C bersifat menyerupai semen yang bereaksi dengan air sehingga dapat mengeras dan menambah kekuatan.

#### Hasil Pengujian dan Pembahasan Tes Kuat Tekan Mortar

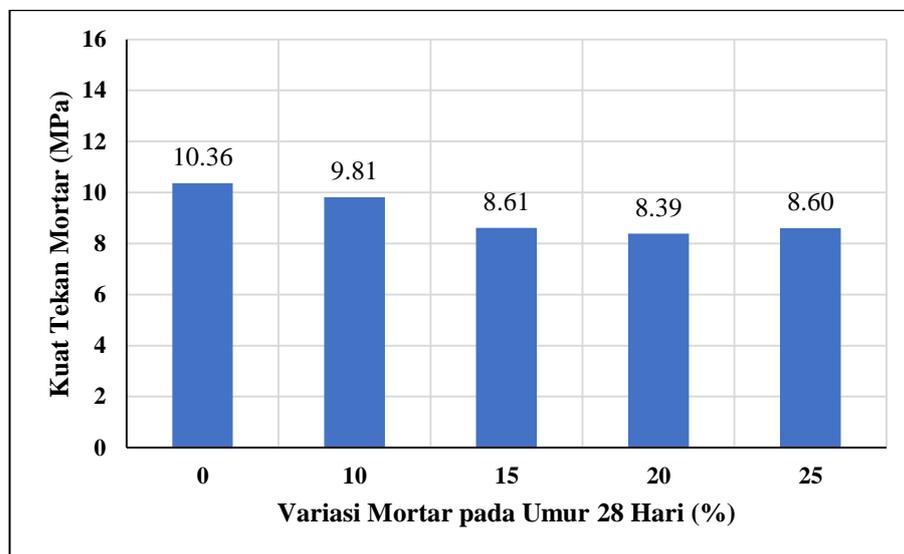
Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kadar optimum abu terbang yang akan digunakan pada campuran beton melalui perbandingan hasil kuat tekan mortar.



Gambar 4.1 Grafik Korelasi Kekuatan Tekan Mortar dengan Umur

Dilihat dari Gambar 4.1 bahwa semakin bertambah umur mortar maka semakin bertambah pula kekuatannya. Dan dapat dilihat juga bahwa hasil analisis kuat tekan mortar bahwa semakin tinggi penambahan persentase kadar abu terbang pada mortar sebagai substitusi semen yang menyebabkan kuat tekan rata-rata pada mortar cenderung menurun.

Adapun perbandingan kuat tekan antara masing-masing komposisi pada saat berumur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 5.2.



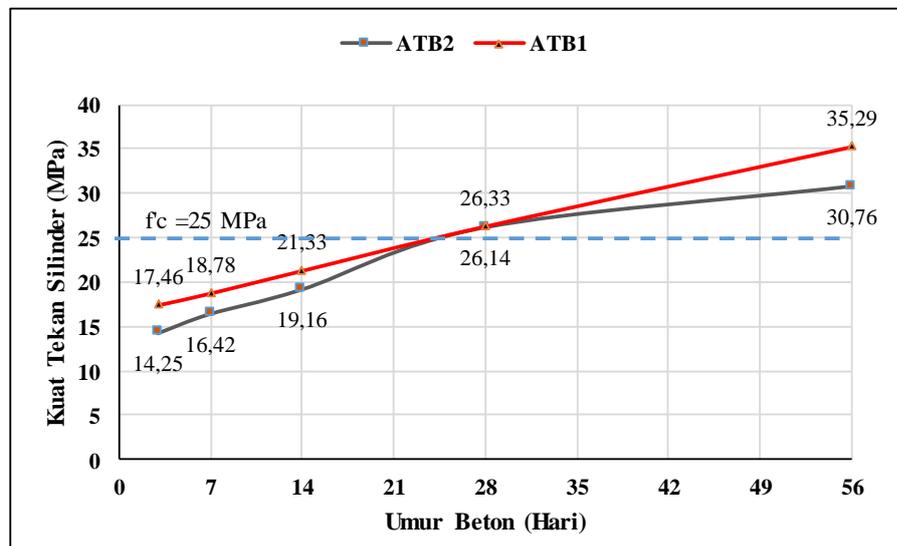
Gambar 4.2 Grafik Kekuatan Tekan Mortar berumur 28 Hari

Dari Gambar 4.2 terlihat bahwa mortar dengan kadar abu terbang 10% kuat tekan sebesar 9,81 MPa jika dibandingkan dengan kekuatan normal sebesar 10,36 MPa, maka kekuatan akan menurun sebesar 5,31%. Begitu juga mortar dengan abu terbang 15%

kuat tekannya sebesar 8,61 MPa, kekuatannya juga turun sebesar 16,89%. Selanjutnya mortar dengan kadar abu terbang 20% yang nilai kuat tekannya sebesar 8,39 MPa, maka kuat tekannya juga turun sebesar 19,02% dan kuat tekan mortar dengan kadar abu terbang 25% sebesar 8,60 MPa, kuat tekannya juga turun sebesar 16,99%. Semakin besar kadar abu terbangnya, maka kecenderungan semakin turun kuat tekannya atas analisa kekuatan tekan mortarnya pada saat berumur 28 hari.

### Hasil dan Pembahasan Tes Kekuatan Tekan Beton

Perbandingan hasil pengujian kekuatan tekan beton ATB1 (beton normal dengan campuran abu terbang 0%) dan beton ATB2 (beton optimum dengan kadar abu terbang 10%) dapat dilihat pada Gambar 4.3



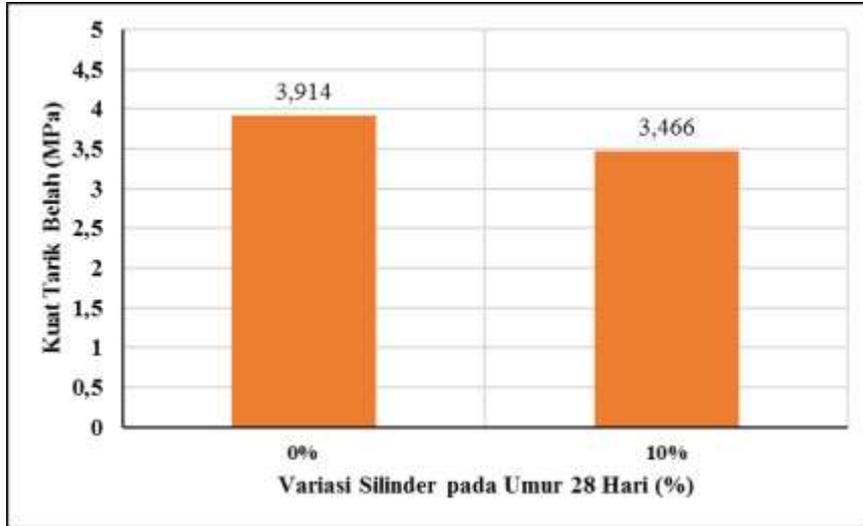
Gambar 4.3 Perbandingan Tes Kekuatan Tekan Beton ATB1 dengan ATB2

Dapat dilihat pada Gambar 4.3, kekuatan tekan beton bertambah seiring bertambahnya umur beton. Kalau kekuatan ATB2 dibandingkan dengan kekuatan ATB1, maka kekuatan tekannya mengalami penurunan sebesar 18,4% pada saat beton berumur 3 hari, sedangkan pada saat beton berumur 7 hari kekuatan tekannya turun sebesar 12,6%, begitu juga kekuatannya menurun sebesar 10,2% pada saat beton berumur 14 hari, dan kekuatan tekannya menurun sebesar 0,7% pada saat umur 28 hari. Kekuatan tekannya turun sebesar 12,8% pada saat berumur 56 hari.

Jika dibandingkan antara kekuatan tekan ATB1 dan ATB2 pada umur beton 28 hari, kekuatan tekannya tidak jauh beda dan melebihi kekuatan tekan rencana 25 MPa.

**Hasil dan Pembahasan Tes Kekuatan Tarik Belah Beton**

Untuk sampel pengujian, persentase abu terbang yang digunakan 0% (ATB 3) dan persentasi optimum 10% (ATB 4), direncanakan pada umur 28 hari.



Gambar 4.4 Grafik Kekuatan Tarik Belah Beton ATB3 dan Beton ATB4

Dilihat dari gambar 4.4, bahwa dengan penambahan abu terbang dapat menurunkan kekuatan tarik belah, nilai kekuatan tarik belah ATB3 sebesar 3,914 MPa dan ATB4 3,466 MPa pada saat sampel berumur 28 hari.

**Korelasi Kekuatan Tekan Beton dan Kekuatan Tarik Belah Beton**

Menurut Mulyono, 2003 bahwa perkiraan nilai kuat tarik beton hanya sekitar 9%-15% dari kuat tekannya (Mulyono, 2003).

Hasil perhitungan persentase kekuatan tarik belah terhadap kekuatan tekan beton bisa dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perhitungan Persentase Kekuatan Tarik Belah Terhadap Kekuatan Tekan Beton pada Umur 28 Hari

Nama	Umur (hari)	Kekuatan Tekan Rata-rata satuan Mega Pascal (MPa)	Kekuatan Tarik Rata-rata satuan Mega Pascal (MPa)	Persentase Kekuat anTarik dalam persen (%)	Ket.	Hasil Analisa
ATB1	28	26,33	-	14,87	Beton Normal	Memenuhi
ATB3	28	-	3,914			
ATB2	28	26,14	-	13,26	Beton dengan Abu Terbang 10%	Memenuhi
ATB4	28	-	3,466			

Adapun korelasi kekuatan tarik belah beton terhadap kekuatan tekan beton ditunjukkan pada perhitungan di bawah ini:

- Pada beton normal

$$f'_{ct} = 0,149 f'_{c} \quad (4.1)$$

- Pada beton dengan 10% abu terbang

$$f'_{ct} = 0,133 f'_{c} \quad (4.2)$$

Korelasi kekuatan tarik belah terhadap kekuatan tekan beton dimana nilai kekuatan tarik belah memenuhi persentase sekitar 9%-15% dari kekuatan tekannya berdasarkan persamaan 4.1 dan 4.2.

## 5. KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini adalah :

1. Limbah pembakaran campuran cangkang dan serabut kelapa sawit berupa abu terbang dari pabrik PT. Hasnur Citra Terpadu Tapin termasuk klas C.
2. Berdasarkan analisa kekuatan tekan mortar pada umur 28 hari, besarnya abu terbang optimum yang bisa dimanfaatkan sebagai substitusi semen pada campuran beton normal adalah sebesar 10%.
3. Seiring dengan bertambahnya umur beton, kekuatan tekan beton normal dan beton optimum meningkat.
4. Kekuatan tekan beton normal sebesar 26,33 MegaPascal lebih tinggi dari pada kekuatan tekan beton optimum sebesar 26,14 MegaPascal, tetapi sama-sama melampaui kekuatan tekan rencana 25 MegaPascal.
5. Beton normal dengan kuat tekannya 35,29 MPa lebih tinggi dibandingkan dengan beton optimum sebesar 30,76 MPa terjadi pada umur 56 hari yang merupakan nilai kekuatan tekan tertinggi.
6. Kekuatan tarik belah beton untuk beton normal sebesar 3,914 MPa lebih tinggi dibandingkan dengan beton optimum sebesar 3,466 MPa pada saat berumur 28 hari.
7. Perbandingan persentase kekuatan tarik belah beton dengan kekuatan tekan beton pada umur 28 hari diperoleh sebesar 14,87% untuk beton normal dan 13,26% untuk beton optimum.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terima kasih setinggi-tingginya kepada Rektor Universitas Lambung Mangkurat (ULM) yang telah memberikan dorongan dan dana dalam penelitian ini. Tak lupa kepada Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat ULM, Dekan Fakultas Teknik ULM, Koordinator Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik ULM, rekan-rekan dosen dan para mahasiswa serta pihak lain yang berkontribusi dalam penyusunan laporan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. (1997). ASTM C 618: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in concrete. In *Annual Book of ASTM Standards*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. SNI 03-2834-2000. *Badan Standardisasi Nasional*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. SNI 03-2847-2002. *Bandung: Badan Standardisasi Nasional*.
- Mulyono, T. (2003). Teknologi Beton. In *Penerbit Andi*.
- Simamarta, L. J. (2017). *Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Kelapa Sawit dengan Aktivasi Fisik Terhadap Prestasi Mesin dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor Bensin 4-Langkah* (p. 82). <https://123dok.com/>.
- SNI 03-2491-2002. (2002). Metode pengujian kuat tarik belah beton. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 14.
- SNI 03-6825-2002. (2002). Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen Portland untuk pekerjaan sipil. *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*.
- SNI 15-2049-2004. (2004). Semen Portland Komposit. In *Badan Standardisasi Nasional*.
- Statistik, B. P. (2018). Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2018. In *Badan Pusat Statistik*.

Halaman ini sengaja dikosongkan