

PENGUNAAN LIMBAH ABU KAYU HALABAN SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN SEBAGIAN SEMEN PADA CAMPURAN BETON

Jovan Perdhana¹, Bambang Wedyantadji¹, Vega Aditama¹

^{1,2,3} *Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang*

Email: cv.joesbersaudara@gmail.com

ABSTRACT

Halaban wood ash is the result of chemical changes from the process of burning Halaban wood with a fire of about $\pm 1000^{\circ}\text{C}$ and it takes about 150 minutes to turn the wood lump cells into ash. Halaban wood ash contains silica which is a good aggregate binder and is quite high, so it has pozzolanic properties. This study aims to determine the effect of adding ash from burning halaban wood on the mechanical properties of concrete and also knowing the optimum percentage of halaban wood ash from 0%, 5%, 10%, 15% in terms of compressive strength of concrete, split tensile strength of concrete and flexural tensile strength. concrete. The method used in this study is the DOE (Design Of Experiment) method using a cylindrical specimen with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm for testing the compressive strength of concrete, beams with a size of 15 cm x 15 cm x 62 cm for testing the flexural strength. The test object was made with 4 variations of the composition of Halaban Wood Ash as a concrete testing material, namely 0%, 5%, 10%, 15% by weight of cement. Testing of the specimens was carried out at the age of 28 days. The number of test objects as many as 64 pieces. Based on the research conducted, it is known that there is no effect in increasing the strength of concrete with the addition of halaban wood ash on the mechanical properties of concrete. This is indicated by the decrease in the results of testing the compressive strength, split tensile strength, and flexural tensile strength of normal concrete with a mixture of halaban wood ash. And the absence of the optimum percentage of Halaban wood ash from 5%, 10%, 15% in terms of the compressive strength of concrete, split tensile strength of concrete and flexural tensile strength of concrete.

Keywords: Halaban Wood Ash, Compressive Strength of Concrete, Split Tensile Strength of Concrete, Flexural Tensile Strength of Concrete.

ABSTRAK

Abu kayu halaban merupakan hasil perubahan secara kimiawi dari proses pembakaran kayu halaban dengan api sekitar $\pm 1000^{\circ}\text{C}$ dan membutuhkan waktu sekitar 150 menit untuk merubah sel bongkah kayu menjadi abu. Abu kayu halaban ini memiliki kandungan silika yang merupakan pengikat agregat yang baik dan cukup tinggi, sehingga memiliki sifat *pozzolan*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan abu hasil pembakaran kayu halaban terhadap sifat mekanik beton dan juga mengetahui persentase optimum abu kayu halaban dari 0%, 5%, 10%, 15% ditinjau dari kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan kuat tarik lentur beton. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode DOE (*Design Of Experiment*) dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan beton, balok dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 62 cm untuk pengujian kuat lentur. Benda uji dibuat dengan 4 variasi komposisi Abu Kayu Halaban sebagai bahan penguji beton yaitu 0%, 5%, 10%, 15% terhadap berat semen. Pengujian benda uji dilakukan pada umur 28 hari. Jumlah benda uji sebanyak 64 buah. Berdasarkan penelitian yang dilakukan diketahui tidak adanya pengaruh dalam peningkatan kekuatan beton dengan penambahan abu kayu halaban terhadap sifat mekanik beton. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan hasil dari pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur dari beton normal dengan campuran abu kayu halaban. Dan tidak adanya persentase optimum abu kayu halaban dari 5%, 10%, 15% ditinjau dari kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan kuat tarik lentur beton.

Kata Kunci : Abu Kayu Halaban, Kuat Tekan Beton, Kuat Tarik Belah Beton, Kuat Tarik Lentur Beton.

1. PENDAHULUAN

Beton memiliki definisi sebagai bahan konstruksi yang terbuat dari kombinasi semen portland ataupun semen hidraulik, agregat halus, agregat kasar, dan air, serta bahan tambahan ataupun tidak yang dapat membentuk masa padat. Beton memiliki kelebihan yaitu mempunyai kuat tekan yang tinggi, mudah dibentuk dengan bekesting sesuai kebutuhan struktur, tahan terhadap temperatur tinggi, biaya pemeliharaan rendah, dan umur beton yang tahan lama. Untuk mempelajari perilaku elemen gabungan kita memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik masing-masing komponen.

Penggunaan dari limbah pabrik sebagai bahan tambah semen atau bahan pengganti pada campuran beton dapat mengurangi biaya pembuatan beton, dan dapat mengurangi polusi akibat limbah industri pembuatan arang. Di Kalimantan Selatan sendiri terdapat banyak sekali industri skala kecil yang memproduksi arang kayu halaban, dan ada juga beberapa industri rumahan lain yang menggunakan kayu halaban sebagai bahan bakar utamanya seperti pabrik pengolahan tahu, pabrik pengolahan batu bata, dan pabrik pengolahan genteng. Dari sekian banyak industri kecil tersebut semuanya turut menghasilkan limbah abu kayu halaban yang diperoleh dari hasil sisa pembakaran kayu tersebut.

Abu kayu halaban merupakan hasil perubahan secara kimiawi dari proses pembakaran kayu halaban dengan api sekitar $\pm 1000^{\circ}\text{C}$ dan membutuhkan waktu sekitar 150 menit untuk merubah sel bongkah kayu menjadi abu. Abu kayu halaban ini memiliki kandungan silika yang merupakan pengikat agregat yang baik dan cukup tinggi, sehingga memiliki sifat *pozzolan*.

Pozzolan ialah bahan yang mempunyai silika atau silika alumina yang memiliki sedikit atau tidak ada sifat semen tetapi apabila dalam bentuk butiran yang halus dan dengan kehadiran kelembaban, bahan ini dapat bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu biasa untuk membentuk senyawa bersifat semen. Dengan ukuran butiran yang halus dan kandungan silika yang tinggi, maka abu sisa pembakaran kayu halaban dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah semen dalam campuran beton.

Dengan adanya pemanfaatan abu kayu halaban sebagai bahan tambah semen meningkatkan sifat-sifat mekanik beton, yaitu kuat tekan dan kuat tarik belah, tanpa menggunakan jumlah semen yang lebih banyak serta lebih ramah lingkungan.

2. LANDASAN TEORI

Beton

Menurut SNI-03-2847-2002, pengertian beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat.

Menurut Kardiyo Tjokrodinulyo (2007) menjelaskan bahwa beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air dan atau tanpa bahan tambahan lain dengan perbandingan tertentu.

Sifat-Sifat Beton

Nilai kuat tekan beton relatif lebih tinggi dibandingkan kuat tariknya, dan beton merupakan bahan getas.

Adapun kelebihan dari beton itu sendiri, yaitu :

1. Beton memiliki kuat tekan yang relative tinggi dibandingkan dengan kebanyakan bahan lain.
2. Beton memiliki ketahanan yang tinggi terhadap api dan air.
3. Struktur beton bertulang sangat kokoh.
4. Beton tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang relative tinggi.
5. Beton merupakan suatu bahan yang ekonomis.
6. Beton dapat dicetak dengan bentuk yang beragam.
7. Beton terbuat dari bahan lokal yang murah.

Beton juga memiliki kelebihan terhadap kondisi khusus, yaitu :

1. Sifat Tahan Lama
Sifat tahan lama pada beton dapat dibedakan dalam beberapa hal, antara lain sebagai berikut :
 - a. Tahan terhadap pengaruh cuaca
 - b. Tahan terhadap zat kimia
 - c. Tahan terhadap erosi
2. Sifat Kedap Air
Beton mempunyai kecenderungan mengandung rongga-rongga yang diakibatkan oleh adanya gelembung udara yang terbentuk selama atau sesudah pencetakan selesai, atau ruangan yang padat saat selesai dikerjakan mengandung air. Dan jika air menguap maka akan meninggalkan rongga rongga udara. Semakin banyak rongga ini, maka kemungkinan masuknya air semakin besar. lebih besar volume semen kering.
3. Memenuhi Kekuatan Yang Hendak Dicapai
Ada dua faktor yang membuat beton memenuhi kekuatan yang hendak dicapai yakni faktor air semen (Fas) dan kepadatan. Untuk mencapai kepadatan dan hidrasi sempurna, ada berapa hal yang mempengaruhi antara lain sebagai berikut :
 - a. Keadaan selama terjadinya pengerasan.
 - b. Karena pengerasan semen memakan waktu, maka perlu waktu yang cukup, biasanya waktu 4 minggu yang dipakai sebagai pedoman

umum untuk waktu pengerasan semen atau beton.

Material Penyusun Beton

Adapun material penyusun beton yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. Semen portland

Semen portland merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembangunan fisik. Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1996: 5).

2. Agregat kasar

Agregat kasar dapat berupa kerikil, pecahan kerikil, batu pecah, terak tanur tiup atau beton semen hidrolis yang dipecah. Sesuai dengan SNI 03-2847-2002, bahwa agregat kasar merupakan agregat yang mempunyai ukuran butir antara 5,00 mm sampai 40 mm.

3. Agregat halus

Agregat halus dapat berupa pasir alam, pasir hasil olahan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Sesuai dengan SNI 03-2847-2002, bahwa agregat halus merupakan agregat yang mempunyai ukuran butir maksimum sebesar 5,00 mm.

4. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton dan batako untuk memicu proses kimiawi semen. Air yang digunakan untuk campuran adukan mortar semen yang paling baik merupakan air yang memenuhi syarat air bersih.

5. Abu kayu halaban

Abu yang digunakan dalam penelitian ini merupakan sisa pembakaran kayu dalam proses arang kayu dan batu bata dari industri rumahan pembuatan arang di Kalimantan Selatan. Dari hasil pembakaran kayu halaban hingga menjadi bentuk abu diketahui bahwa kandungan silikanya meningkat. Hal inilah yang menjadi dasar penggunaan abu sisa pembakaran kayu halaban ini sebagai bahan pozolan.

Kualitas Beton

1. Kuat tekan

Kekuatan adalah kemampuan beton menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kebutuhan struktur dikehendaki semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. (Mulyono, 2004). Persamaan kuat tekan beton sesuai dengan SNI 1974 – 2011, dapat ditulis sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 1})$$

Keterangan:

$f'c$ = Kuat tekan beton (N/mm²)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang yang menerima beban (mm²)

2. Kuat tarik belah

Kuat tarik belah adalah kemampuan silinder beton yang diperoleh dari pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar pada permukaan meja penekan mesin uji tekan sampai benda uji hancur. Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tarik belah beton adalah:

$$f'r = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2})$$

Keterangan:

$f'r$ = kuat tarik belah beton (N/mm²)

P = beban pada waktu belah (N)

L = Panjang benda uji silinder (mm)

D = Diameter benda uji silinder (mm)

3. Kuat tarik lentur

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda patah. Untuk pengujian dimana bidang patah terletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), maka kuat tarik lentur beton dihitung menurut persamaan sebagai berikut (SNI 4431 : 2011).

$$f's = \frac{pL}{bd^2} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 3})$$

Dengan:

$f's$ = kuat tarik lentur beton (N/mm²)

P = beban maksimum (N)

L = Panjang benda uji balok (mm)

b = lebar spesimen (mm)

d = tinggi spesimen (mm)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini metode pelaksanaan yang digunakan adalah dengan pengujian di laboratorium. Untuk pengujian bahan dilaksanakan di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang. Pembuatan benda uji beton dilaksanakan di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang. Pengujian sifat mekanis beton dilaksanakan di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang. Pengujian kandungan silika dilaksanakan di Laboratorium Kimia Jurusan Teknik Kimia Universitas Brawijaya Malang.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Semen Gresik Tipe I, agregat halus yang digunakan adalah Pasir Lumajang, agregat kasar yang digunakan adalah Batu Pecah Piranti Utama, Air

PDAM, dan abu kayu halaban dari Pelaihari, Kalimantan Selatan.

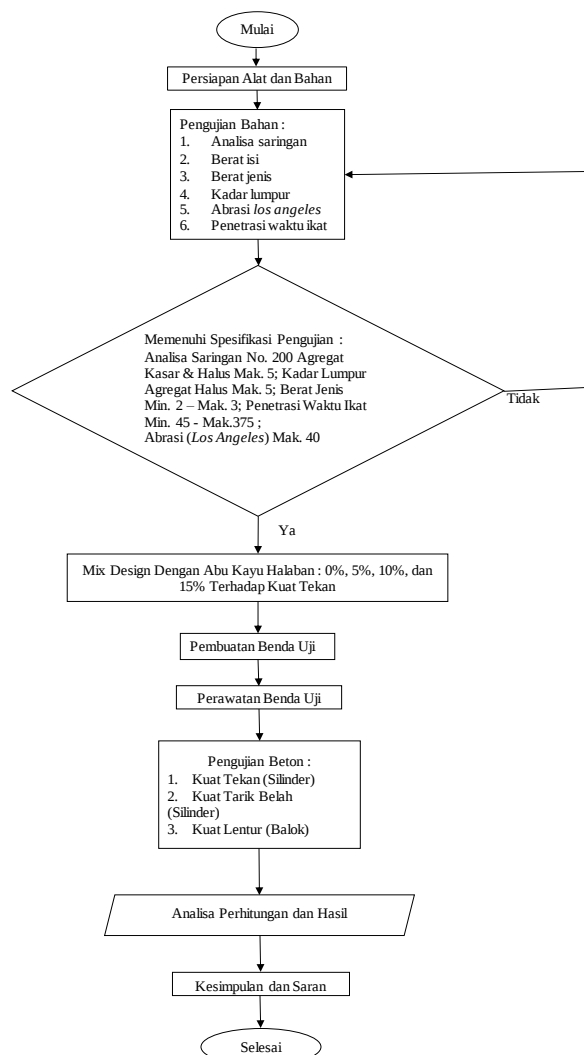
Metode yang digunakan untuk perancangan adukan beton (*mix design*) dalam penelitian ini adalah metode DOE (*Design of Experiment*) dengan kekuatan tekan beton sebesar 20 MPa.

Dalam penelitian ini, cetakan benda uji yang digunakan adalah cetakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan beton, cetakan berbentuk balok dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 62 cm untuk pengujian kuat lentur. Benda uji dibuat dengan 4 variasi komposisi Abu Kayu Halaban sebagai bahan pengujian beton yaitu 0%, 5%, 10%, 15% terhadap berat semen. Pengujian benda uji dilakukan pada umur 28 hari.

Metode Pengujian

Metode yang digunakan untuk pengujian pada penelitian ini adalah pengujian kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik belah dari setiap benda uji.

Bagan Alir Penelitian



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Komposisi Campuran Kondisi Lapangan

- Semen = 362,83 kg/m³
- Agregat kasar asli = 1090,31 kg/m³
- Agregat halus asli = 833,46 kg/m³
- Kebutuhan air lapangan = 271,60 kg/m³

Presentase Abu Kayu Halaban Pada Campuran Beton

Tabel 1. Presentase Penambahan Abu Kayu Halaban Pada Beton

Komposisi Akhir Campuran Kondisi Lapangan					
Jumlah Bahan Per M ³	Variasi Abu Kayu Halaban (%)				
	0	5	10	15	
Abu Kayu Halaban (Kg)	0	18,14	36,28	54,42	
Semen (Kg)	362,83	344,69	326,55	308,41	
Agregat Halus (Kg)	833,46	833,46	833,46	833,46	
Agregat Kasar 10/20 (Kg)	1090,31	1090,31	1090,31	1090,31	
Air Lapangan (Kg)	271,60	271,60	271,60	271,60	
Berat Beton Segar (Kg)	2558,19	2558,19	2558,19	2558,19	

Kebutuhan Campuran Beton Benda Uji Silinder & Balok Kondisi Lapangan					
Jumlah Bahan Campuran Benda Uji Silinder & Balok	Variasi Abu Kayu Halaban (%)				Total Bahan Campuran
	0	5	10	15	
Abu Kayu Halaban (Kg)	0	1,85	3,70	5,55	11,10
Semen (Kg)	37,00	35,15	33,30	31,45	136,91
Agregat Halus (Kg)	85,00	85,00	85,00	85,00	339,99
Agregat Kasar 10/20 mm (Kg)	111,19	111,19	111,19	111,19	444,76
Air Lapangan (Kg/L)	27,70	27,70	27,70	27,70	110,79
Jumlah Silinder	12	12	12	12	48
Jumlah Balok	2	2	2	2	8

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Contoh perhitungan kuat tekan beton diambil dari hasil benda uji dengan kode BN1 dengan kadar abu kayu halaban 0% pada umur 28 hari adalah sebagai berikut (SNI 1974-2011):

$$f'_c = \frac{P}{A} = \frac{627 \times 1000}{17662,50} = 35,50 \text{ MPa}$$

Konversi beton 28 hari adalah sebagai berikut :

$$f'_c = 35,50 : 1 = 35,50 \text{ Mpa}$$

Dan hasil pengujian kuat tekan beton umur 28 hari pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari Dengan Abu Kayu Halaban 0%

No.	Abu Kayu Halaban	Kode Benda Uji	Umur	Luas	Berat Sampel	Berat Rata-rata Sample	Berat Isi	Berat Rata-rata	Bacaan Alat	Behan Max	Kuat Tekan	Konversi	Rata-rata Kuat Tekan
				mm ²	kg	kg	kg/cm ³	kg/cm ³	N	N	Mpa	28 hari	Mpa
1	0%	BN1	28	17662,50	12,96	2,446		627	627000	35,50	35,50		
2		BN2	28	17662,50	12,81	2,418		611	611000	34,59	34,59		
3		BN3	28	17662,50	12,83	2,421		580	580000	32,84	32,84		
4		BN4	28	17662,50	12,77	2,410		486	486000	27,52	27,52		
5		BN5	28	17662,50	12,74	2,404	12,837	475	475000	26,89	26,89		
6		BN6	28	17662,50	12,88	2,431		586	586000	33,18	33,18		
7		BN7	28	17662,50	12,96	2,446		523	523000	29,61	29,61		
8		BN8	28	17662,50	12,87	2,429		585	585000	33,12	33,12		
9		BN9	28	17662,50	12,71	2,399		574	574000	32,56	32,56		31,75

Dari hasil perhitungan kuat tekan beton pada umur 28 hari, didapatkan rata-rata BN sebesar 31,75 MPa.

Tabel 3. Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari Dengan Abu Kayu Halaban 5%

No.	Abu Kayu Halaban	Kode Benda Uji	Umur hari	Luas mm ²	Berat Sample kg	Berat Rata-rata Sample kg	Berat Isi kg/cm ³	Berat Rata-rata kg/cm ³	Bacaan Alat KN	Behan Max N	Kuat Tekan Mpa	Konversi Beton 28 hari	Rata-rata Kuat Tekan Mpa
1		1 BAAK 5%	28	17662,50	12,64		2,385		622	622000	35,22	35,22	
2		2 BAAK 5%	28	17662,50	12,6		2,378		482	482000	27,29	27,29	
3		3 BAAK 5%	28	17662,50	12,5		2,359		494	494000	27,97	27,97	
4		4 BAAK 5%	28	17662,50	12,75		2,406		413	413000	23,38	23,38	
5	5%	5 BAAK 5%	28	17662,50	12,58	12,589	2,374	2,376	486	486000	27,52	27,52	26,82
6		6 BAAK 5%	28	17662,50	12,59		2,376		341	341000	19,31	19,31	
7		7 BAAK 5%	28	17662,50	12,45		2,350		485	485000	27,46	27,46	
8		8 BAAK 5%	28	17662,50	12,59		2,376		451	451000	25,53	25,53	
9		9 BAAK 5%	28	17662,50	12,6		2,378		490	490000	27,74	27,74	

Dari hasil perhitungan kuat tekan beton pada umur 28 hari, didapatkan rata-rata BAAK 5% sebesar 26,82 MPa.

Tabel 4. Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari Dengan Abu Kayu Halaban 10%

No.	Abu Kayu Halaban	Kode Benda Uji	Umur hari	Luas mm ²	Berat Sample kg	Berat Rata-rata Sample kg	Berat Isi kg/cm ³	Berat Rata-rata kg/cm ³	Bacaan Alat KN	Behan Max N	Kuat Tekan Mpa	Konversi Beton 28 hari	Rata-rata Kuat Tekan Mpa
1		1 BAAK 10%	28	17662,50	12,38		2,318		347	347000	19,65	19,65	
2		2 BAAK 10%	28	17662,50	12,45		2,350		354	354000	20,04	20,04	
3		3 BAAK 10%	28	17662,50	12,57		2,372		401	401000	22,70	22,70	
4		4 BAAK 10%	28	17662,50	12,48		2,355		400	400000	22,65	22,65	
5	10%	5 BAAK 10%	28	17662,50	12,45	12,511	2,350	2,361	243	243000	13,76	13,76	20,11
6		6 BAAK 10%	28	17662,50	12,53		2,365		375	375000	21,23	21,23	
7		7 BAAK 10%	28	17662,50	12,48		2,355		387	387000	21,91	21,91	
8		8 BAAK 10%	28	17662,50	12,77		2,410		360	360000	20,38	20,38	
9		9 BAAK 10%	28	17662,50	12,59		2,376		329	329000	18,63	18,63	

Dari hasil perhitungan kuat tekan beton pada umur 28 hari, didapatkan rata-rata BAAK 10% sebesar 20,11 MPa.

Tabel 5. Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari Dengan Abu Kayu Halaban 15%

No.	Abu Kayu Halaban	Kode Benda Uji	Umur hari	Luas mm ²	Berat Sample kg	Berat Rata-rata Sample kg	Berat Isi kg/cm ³	Berat Rata-rata kg/cm ³	Bacaan Alat KN	Behan Max N	Kuat Tekan Mpa	Konversi Beton 28 hari	Rata-rata Kuat Tekan Mpa
1		1 BAAK 15%	28	17662,50	12,64		2,385		339	339000	19,19	19,19	
2		2 BAAK 15%	28	17662,50	12,52		2,363		367	367000	20,78	20,78	
3		3 BAAK 15%	28	17662,50	12,38		2,336		331	331000	18,74	18,74	
4		4 BAAK 15%	28	17662,50	12,44		2,348		338	338000	19,14	19,14	
5	15%	5 BAAK 15%	28	17662,50	12,37	12,452	2,335	2,350	358	358000	20,27	20,27	18,78
6		6 BAAK 15%	28	17662,50	12,41		2,342		314	314000	17,78	17,78	
7		7 BAAK 15%	28	17662,50	12,33		2,327		321	321000	18,17	18,17	
8		8 BAAK 15%	28	17662,50	12,55		2,368		310	310000	17,55	17,55	
9		9 BAAK 15%	28	17662,50	12,43		2,346		308	308000	17,44	17,44	

Dari hasil perhitungan kuat tekan beton pada umur 28 hari, didapatkan rata-rata BAAK 15% sebesar 18,78 MPa.

Tabel 6. Hasil Berat Rata-rata Sample dan Berat Isi Rata-rata Pengujian Kuat Tekan Beton

Abu Kayu Halaban	Berat Rata-rata Sample Kg	Berat Isi Rata-rata Kg/cm ³
0%	12,837	2,423
5%	12,589	2,376
10%	12,511	2,361
15%	12,452	2,350

Dari tabel diketahui Berat Rata-rata Sample dengan kadar abu 0% = 12,837 kg, sedangkan Berat Isi Rata-rata dengan kadar abu 0% = 2,423 kg/cm³.

Untuk Berat Rata-rata Sample dengan kadar abu 5% = 12,589 kg, sedangkan Berat Isi Rata-rata dengan kadar abu 5% = 2,376 kg/cm³.

Untuk Berat Rata-rata Sample dengan kadar abu 10% = 12,511 kg, sedangkan Berat Isi Rata-rata dengan kadar abu 10% = 2,361 kg/cm³.

Untuk Berat Rata-rata Sample dengan kadar abu 15% = 12,452 kg, sedangkan Berat Isi Rata-rata dengan kadar abu 15% = 2,350 kg/cm³.

Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Berikut contoh perhitungan kuat tarik belah beton diambil dari hasil benda uji dengan kode SB 1 dengan kadar abu kayu halaban 0% (SNI 2491-2014):

$$f'r = \frac{2P}{\pi LD} = \frac{2 \times 208 \times 1000}{3,14 \times 300 \times 150} = 2,94 \text{ MPa}$$

Dan hasil pengujian kuat tarik belah beton dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

No.	Abu Kayu Halaban	Kode Benda Uji	Umur hari	Berat Sample kg	Berat Rata-rata Sample kg	Berat Isi kg/cm ³	Berat Rata-rata kg/cm ³	Bacaan Alat KN	Behan Max N	Kuat Tarik Belah Mpa	Kuat Tarik Belah Rata-rata Mpa
1		SB 1	28	12,87		2,429		208	208000	2,94	
2	0%	SB 2	28	12,55	12,73	2,368	2,402	192	192000	2,72	2,87
3		SB 3	28	12,77		2,410		209	209000	2,96	
4		1 SB 5%	28	12,49		2,357		216	216000	3,06	
5	5%	2 SB 5%	28	12,54	12,54	2,367	2,367	206	206000	2,92	2,87
6		3 SB 5%	28	12,59		2,376		186	186000	2,63	
7		1 SB 10%	28	12,44		2,348		169	169000	2,39	
8	10%	2 SB 10%	28	12,43	12,48	2,346	2,355	163	163000	2,31	2,38
9		3 SB 10%	28	12,57		2,372		173	173000	2,45	
10		1 SB 15%	28	12,51		2,361		174	174000	2,46	
11	15%	2 SB 15%	28	12,62	12,5	2,382	2,359	134	134000	1,90	2,17
12		3 SB 15%	28	12,37		2,335		152	152000	2,15	

Dari hasil perhitungan kuat tarik belah beton pada umur 28 hari didapatkan rata-rata SB 0% sebesar 2,87 Mpa, rata-rata SB 5% sebesar 2,87 Mpa, rata-rata SB 10% sebesar 2,38 Mpa, dan rata-rata SB 15% sebesar 2,17 Mpa.

Tabel 8. Hasil Berat Rata-rata Sample dan Berat Isi Rata-rata Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Abu Kayu Halaban	Berat Rata-rata Sample Kg	Berat Isi Rata-rata Kg/cm ³
0%	12,73	2,402
5%	12,54	2,367
10%	12,48	2,355
15%	12,5	2,359

Dari tabel diketahui Berat Rata-rata Sample dengan kadar abu 0% = 12,73 kg, sedangkan Berat Isi Rata-rata dengan kadar abu 0% = 2,402 kg/cm³.

Untuk Berat Rata-rata Sample dengan kadar abu 5% = 12,54 kg, sedangkan Berat Isi Rata-rata dengan kadar abu 5% = 2,367 kg/cm³.

Untuk Berat Rata-rata Sample dengan kadar abu 10% = 12,48 kg, sedangkan Berat Isi Rata-rata dengan kadar abu 10% = 2,355 kg/cm³.

Untuk Berat Rata-rata Sample dengan kadar abu 15% = 12,5 kg, sedangkan Berat Isi Rata-rata dengan kadar abu 15% = 2,359 kg/cm³.

Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton

Berikut contoh perhitungan kuat tarik lentur beton diambil dari hasil benda uji dengan kode BL1 dengan kadar abu kayu halaban 0% (SNI 4431-2011):

$$f's = \frac{pL}{bd^2} = \frac{29,5 \times 1000 \times 600}{150 \times 150^2} = 5,24 \text{ Mpa}$$

Dan hasil pengujian kuat tarik belah beton dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 9. Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton

No.	Abu Kayu Halaban	Kode Benda Uji	Berat Sample kg	Berat Rata-rata Sample kg	Berat Isi kg/cm ³	Berat Isi Rata-rata kg/cm ³	Bacaan Alat KN	Beban Max N	Kuat Tarik Lentur Mpa	Kuat Tarik Lentur Rata-rata Mpa	Zona Patahan
1	0%	BL 1	34,98	35,355	2,59	2,62	29,5	29500	5,24	5,11	Tengah
2	0%	BL 2	35,73	35,355	2,65	2,62	28	28000	4,98	5,11	Tengah
3	5%	1 BL 5%	35,38	34,67	2,62	2,54	25,5	25500	4,53	4,89	Tengah
4	5%	2 BL 5%	33,96	34,67	2,52	2,54	29,5	29500	5,24	4,89	Tengah
5	10%	1 BL 10%	33,59	35,355	2,49	2,62	26	26000	4,62	4,31	Tengah
6	10%	2 BL 10%	35,00	35,355	2,59	2,62	22,5	22500	4,00	4,31	Tengah
7	15%	1 BL 15%	33,05	34,67	2,45	2,54	24	24000	4,27	4,18	Tengah
8	15%	2 BL 15%	34,48	34,67	2,55	2,54	23	23000	4,09	4,18	Tengah

Dari hasil perhitungan kuat tarik lentur beton pada umur 28 hari didapatkan rata-rata BL sebesar 5,11 Mpa, rata-rata BL 5% sebesar 4,89 Mpa, rata-rata BL 10% sebesar 4,31 Mpa, dan rata-rata BL 15% sebesar 4,18 Mpa.

Tabel 10. Hasil Berat Rata-rata Sample dan Berat Isi Rata-rata Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton

Abu Kayu Halaban	Berat Rata-rata Sample Kg	Berat Isi Rata-rata Kg/cm ³
0%	35,355	2,62
5%	35,555	2,57
10%	34,67	2,54
15%	33,775	2,50

Dari tabel diketahui Berat Rata-rata Sample dengan kadar abu 0% = 35,355 kg, sedangkan Berat Isi Rata-rata dengan kadar abu 0% = 2,62 kg/cm³.

Untuk Berat Rata-rata Sample dengan kadar abu 5% = 35,555 kg, sedangkan Berat Isi Rata-rata dengan kadar abu 5% = 2,57 kg/cm³.

Untuk Berat Rata-rata Sample dengan kadar abu 10% = 34,67 kg, sedangkan Berat Isi Rata-rata dengan kadar abu 10% = 2,54 kg/cm³.

Untuk Berat Rata-rata Sample dengan kadar abu 15% = 33,775 kg, sedangkan Berat Isi Rata-rata dengan kadar abu 15% = 2,50 kg/cm³.

Pengujian Interval Kepercayaan

Berikut ini adalah tabel data yang telah dilakukan penyortiran terhadap data-data yang tidak diterima yang ditentukan oleh range interval kepercayaan

Tabel 11. Data Pengujian Kuat Tekan Yang Memenuhi Uji Interval Kepercayaan

Kode Benda Uji	Umur hari	Luas mm ²	Berat Sample kg	Gaya Tekan KN	Kuat Tekan Mpa	Keterangan	Rata-rata Kuat Tekan Mpa
BN3	28	17662,50	12,83	580	32,84	Memenuhi Interval Kepercayaan	31,75
BN6	28	17662,50	12,88	586	33,18	Memenuhi Interval Kepercayaan	
BN7	28	17662,50	12,96	523	29,61	Memenuhi Interval Kepercayaan	
BN8	28	17662,50	12,87	585	33,12	Memenuhi Interval Kepercayaan	
BN9	28	17662,50	12,71	574	32,50	Memenuhi Interval Kepercayaan	26,82
2 BAAK 5%	28	17662,50	12,6	482	27,29	Memenuhi Interval Kepercayaan	
3 BAAK 5%	28	17662,50	12,5	494	27,97	Memenuhi Interval Kepercayaan	
5 BAAK 5%	28	17662,50	12,58	486	27,52	Memenuhi Interval Kepercayaan	
7 BAAK 5%	28	17662,50	12,45	485	27,46	Memenuhi Interval Kepercayaan	20,11
8 BAAK 5%	28	17662,50	12,59	451	25,53	Memenuhi Interval Kepercayaan	
9 BAAK 5%	28	17662,50	12,6	490	27,74	Memenuhi Interval Kepercayaan	
1 BAAK 10%	28	17662,50	12,28	347	19,65	Memenuhi Interval Kepercayaan	
2 BAAK 10%	28	17662,50	12,45	354	20,04	Memenuhi Interval Kepercayaan	18,78
6 BAAK 10%	28	17662,50	12,53	375	21,23	Memenuhi Interval Kepercayaan	
7 BAAK 10%	28	17662,50	12,48	387	21,91	Memenuhi Interval Kepercayaan	
8 BAAK 10%	28	17662,50	12,77	360	20,38	Memenuhi Interval Kepercayaan	
9 BAAK 10%	28	17662,50	12,59	329	18,63	Memenuhi Interval Kepercayaan	18,78
1 BAAK 15%	28	17662,50	12,64	339	19,19	Memenuhi Interval Kepercayaan	
3 BAAK 15%	28	17662,50	12,38	331	18,74	Memenuhi Interval Kepercayaan	
4 BAAK 15%	28	17662,50	12,44	338	19,14	Memenuhi Interval Kepercayaan	
7 BAAK 15%	28	17662,50	12,33	321	18,17	Memenuhi Interval Kepercayaan	

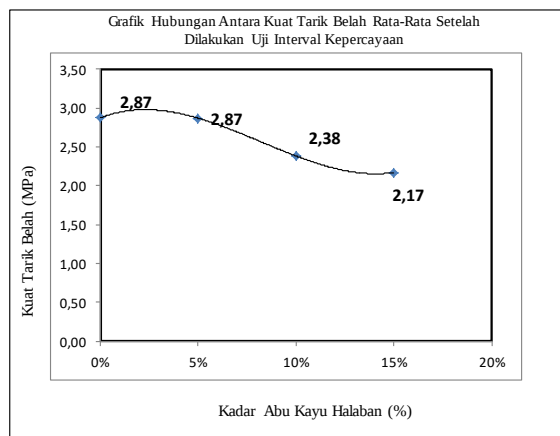
Grafik 1. Hubungan Antara Kuat Tekan Rata-Rata Setelah Dilakukan Uji Interval Kepercayaan



Tabel 12. Data Pengujian Kuat Tarik Belah Setelah Dilakukan Uji Interval Kepercayaan

Kode Benda Uji	Umur hari	Berat Sample kg	Gaya Tekan KN	Kuat Tekan Mpa	Keterangan	Rata-rata Kuat Tekan Mpa
SB 1	28	12,87	208	2,94	Memenuhi Interval Kepercayaan	2,87
SB 2	28	12,55	192	2,72	Memenuhi Interval Kepercayaan	
SB 3	28	12,77	209	2,96	Memenuhi Interval Kepercayaan	
1 SB 5%	28	12,49	216	3,06	Memenuhi Interval Kepercayaan	2,87
2 SB 5%	28	12,54	206	2,92	Memenuhi Interval Kepercayaan	
3 SB 5%	28	12,59	186	2,63	Memenuhi Interval Kepercayaan	
1 SB 10%	28	12,44	169	2,39	Memenuhi Interval Kepercayaan	2,38
2 SB 10%	28	12,43	163	2,31	Memenuhi Interval Kepercayaan	
3 SB 10%	28	12,57	173	2,45	Memenuhi Interval Kepercayaan	
1 SB 15%	28	12,51	174	2,46	Memenuhi Interval Kepercayaan	2,17
2 SB 15%	28	12,62	134	1,90	Memenuhi Interval Kepercayaan	
3 SB 15%	28	12,37	152	2,15	Memenuhi Interval Kepercayaan	

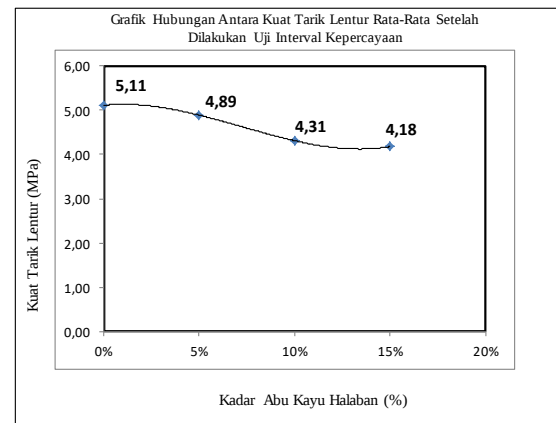
Grafik 2. Hubungan Antara Kuat Tarik Belah Rata-Rata Setelah Dilakukan Uji Interval Kepercayaan



Tabel 13. Data Pengujian Kuat Tarik Lentur Setelah Dilakukan Uji Interval Kepercayaan

Kode Benda Uji	Umur hari	Berat Sample kg	Gaya Tekan KN	Kuat Tekan Mpa	Keterangan	Rata-rata Kuat Tekan Mpa
BL 1	28	34,98	29,5	5,24	Memenuhi Interval Kepercayaan	5,11
BL 2	28	35,73	28	4,98	Memenuhi Interval Kepercayaan	
1 BL 5%	28	35,38	25,5	4,53	Memenuhi Interval Kepercayaan	4,89
2 BL 5%	28	33,96	29,5	5,24	Memenuhi Interval Kepercayaan	
1 BL 10%	28	33,59	26	4,62	Memenuhi Interval Kepercayaan	4,31
2 BL 10%	28	35	22,5	4,00	Memenuhi Interval Kepercayaan	
1 BL 15%	28	33,05	24	4,27	Memenuhi Interval Kepercayaan	4,18
2 BL 15%	28	34,48	23	4,09	Memenuhi Interval Kepercayaan	

Grafik 3. Hubungan Antara Kuat Tarik Lentur Rata-Rata Setelah Dilakukan Uji Interval Kepercayaan



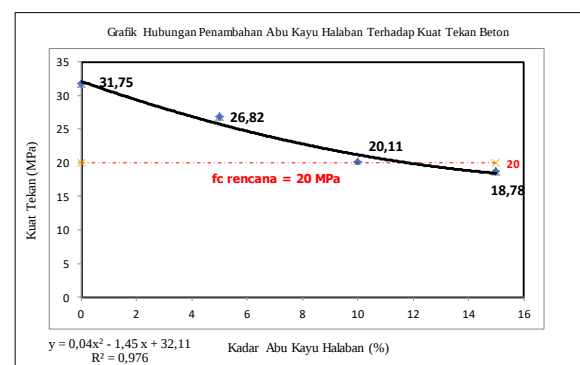
Analisa Regresi

Data yang telah mengalami penyortiran pada pengujian interval kepercayaan kemudian dicari hubungan parameter dengan variasi abu kayu halaban yang telah diberikan.

Setelah perhitungan analisa regresi, dapat dilihat grafik yang telah dihubungkan untuk melihat nilai optimum kadar pencampuran abu kayu halaban pada beton. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat rekomendasikan hal-hal sebagai berikut.

a) Pengujian Kuat Tekan

Grafik 4. Analisa Regresi Hubungan Penambahan Abu Kayu Halaban Terhadap Kuat Tekan Beton



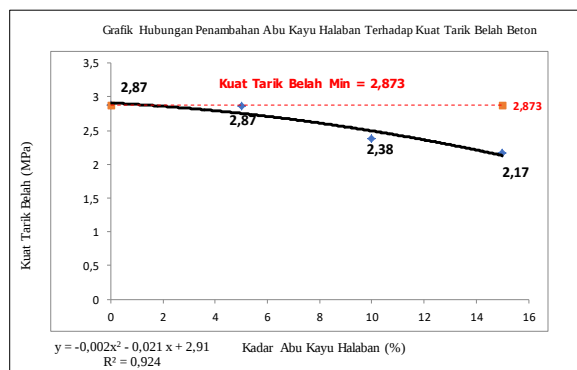
Terjadi penurunan nilai kuat tekan akibat bertambahnya penambahan abu kayu halaban. Penurunan nilai kuat tekan ini diakibatkan oleh bertambahnya prosentase penambahan abu kayu halaban. Semakin bertambahnya prosentase penambahan abu kayu halaban maka semakin kuat untuk menahan retakan-retakan pada beton, namun jika prosentase penambahan terlalu banyak akan mempengaruhi kualitas beton semakin menurun.

Berdasarkan hasil analisis regresi kuat tekan beton umur 28 hari, maka hubungan variasi kadar abu kayu

halaban terhadap kuat tekan menghasilkan persamaan $y = 0,04 x^2 - 1,45 x + 32,11$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar **0,976**.

b) Pengujian Kuat Tarik Belah

Grafik 5. Analisa Regresi Hubungan Penambahan Abu Kayu Halaban Terhadap Kuat Tarik Belah Beton

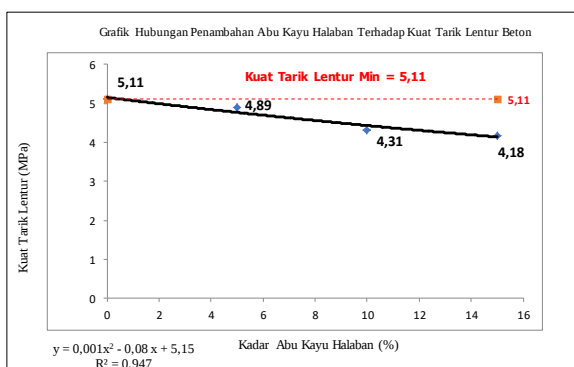


Terjadi penurunan nilai kuat tarik belah akibat bertambahnya penambahan abu kayu halaban. Penurunan nilai kuat tarik belah ini diakibatkan oleh bertambahnya prosentase penambahan abu kayu halaban. Semakin bertambahnya prosentase penambahan abu kayu halaban maka semakin kuat untuk menahan retakan-retakan pada beton, namun jika prosentase penambahan terlalu banyak akan mempengaruhi kualitas beton semakin menurun.

Berdasarkan hasil analisis regresi kuat tarik belah beton umur 28 hari, maka hubungan variasi kadar abu kayu halaban terhadap kuat tarik belah menghasilkan persamaan $y = -0,002 x^2 - 0,021 x + 2,91$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar **0,924**.

c) Pengujian Kuat Tarik Lentur

Grafik 6. Analisa Regresi Hubungan Penambahan Abu Kayu Halaban Terhadap Kuat Tarik Lentur Beton



Terjadi penurunan nilai kuat tarik lentur akibat bertambahnya penambahan abu kayu halaban.

Penurunan nilai kuat tarik lentur ini diakibatkan oleh bertambahnya prosentase penambahan abu kayu halaban. Semakin bertambahnya prosentase penambahan abu kayu halaban maka semakin kuat untuk menahan retakan-retakan pada beton, namun jika prosentase penambahan terlalu banyak akan mempengaruhi kualitas beton semakin menurun.

Berdasarkan hasil analisis regresi kuat tarik lentur beton umur 28 hari, maka hubungan variasi kadar abu kayu halaban terhadap kuat tarik lentur menghasilkan persamaan $y = 0,001 x^2 - 0,08 x + 5,15$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar **0,947**.

Pengujian Hipotesis

Dari uji hipotesis didapatkan nilai t_{hitung} sebesar **2,005**, Sedangkan nilai t_{tabel} sebesar **3,182** dengan taraf signifikan $\alpha = 0,05$. Karena $t_{hitung} < t_{tabel}$ yaitu $2,005 < 3,182$ maka H_a ditolak dan H_0 diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa optimasi penggunaaa abu kayu halaban dengan kadar semen minimum pada beton mutu tinggi tidak berpengaruh secara signifikan.

5. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berikut ini kesimpulan dari hasil pengujian beton yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Tidak adanya pengaruh dalam peningkatan kekuatan beton dengan penambahan abu kayu halaban terhadap sifat mekanik beton. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan hasil dari pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur dari beton normal dengan campuran abu kayu halaban.
2. Tidak adanya persentase optimum abu kayu halaban dari 5%, 10%, 15% ditinjau dari kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan kuat tarik lentur beton.

Saran

Sehubung dengan penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan pada masa yang akan datang adalah sebagai berikut :

1. Sebaiknya tidak menggunakan abu kayu halaban sebagai bahan pengganti semen pada campuran beton karena akan mengakibatkan menurunnya kualitas beton. Akan tetapi beton dengan

tambahan abu kayu halaban sebagai bahan pengganti sebagian semen menghasilkan bobot beton yang lebih ringan dibanding beton normal atau tanpa campuran abu kayu halaban, kemungkinan besar apabila ditambahkan aplikasi zat adiktif ke dalam beton dengan campuran abu kayu halaban yang dapat menghasilkan beton dengan bobot yang lebih ringan namun memiliki kekutan yang optimum dibandingkan dengan beton tanpa campuran abu kayu halaban.

2. Proses perendaman beton dilakukan pengecekan air setiap hari agar didapatkan perendaman dengan hasil yang optimal.
3. Penulis berharap pada masa yang akan datang ada yang tertarik untuk mengkaji lebih dalam mengenai semua unsur yang pada abu kayu halaban, tidak hanya sebatas pada kandungan silika agar masyarakat luas mengetahui bahwa abu kayu halaban dapat digunakan sebagai campuran bahan konstruksi yang ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 1990. SNI 03-1974-1990. Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. Halaman 3. Badan Standarisasi Nasional : Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. SNI 03-2847-2002. Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. Halaman 23. Badan Standarisasi Nasional : Jakarta.
- Laintarawan, dkk. 2009. Buku Ajar Kontruksi Beton 1. Denpasar : Universitas Hindu Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. 2015. SNI 15-2049-2015. Spesifikasi Semen Portland. Halaman 4. Badan Standarisasi Nasional : Jakarta.
- Rahamudin, Rio Herdianto. 2016. Pengujian Kuat Tarik Belah Dan Kuat Tarik Lentur Beton Ringan Beragregat Kasar (Batu Apung) Dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Parsial Semen. Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Kristino, Febrian Yafet. 2017. Studi Pengaruh Kadar Abu Tempurung Kelapa Terhadap Sifat Mekanik Beton Sebagai Substitusi Semen. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Enda, Enda Dedi. 2018. Pengaruh Penggunaan Abu Sisa Pembakaran Sampah Organik Sebagai Subsitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. Politeknik Negeri Bengkalis.
- Dewi, Sari Utama & Prasetyo, Febri. 2021. Analisa Penambahan Bottom Ash Terhadap Kuat Tekan

Dan Kuat Tarik Belah Beton. Universitas Teknokrat Indonesia.