

**PENGARUH PEMANFAATAN ABU TEMPURUNG KELAPA
(*COCONUTE SHELL ASH*) SEBAGAI BAHAN TAMBAH
TERHADAP KUAT TEKAN BETON MEMADAT SENDIRI (*SELF
COMPACTING CONCRETE*)**

*The Effect of Using Coconute Shell Ash as an Additive to The Compressive Strength
of Self Compacting Concrete (SCC)*

Artikel Ilmiah

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil



Oleh :

SOFYAN HAJRIN

F1A017148

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM**

2023

Artikel Ilmiah

**PENGARUH PEMANFAATAN ABU TEMPURUNG KELAPA
(COCONUTE SHELL ASH) SEBAGAI BAHAN TAMBAH
TERHADAP KUAT TEKAN BETON MEMADAT SENDIRI (SELF
COMPACTING CONCRETE)**

Oleh:
SOFYAN HAJRIN
F1A017148

Telah diperiksa dan disetujui oleh Tim Pembimbing:

1. Pembimbing Utama



I Nyoman Merdana, ST., MT.
NIP. 19680913 199703 1 001

Tanggal : 24/05/2023

2. Pembimbing Pendamping



Ir. Miko Eniarti, ST., MT.
NIP. 196503151991032002

Tanggal : 26/05/2023

Mengetahui,
Sekretaris Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Haryadi, ST., MSc(Eng.), Dr. Eng.
NIP. 197310271998021001

Artikel Ilmiah

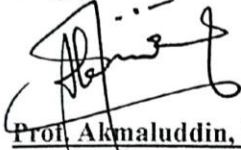
**PENGARUH PEMANFAATAN ABU TEMPURUNG KELAPA
(COCONUTE SHELL ASH) SEBAGAI BAHAN TAMBAH
TERHADAP KUAT TEKAN BETON MEMADAT SENDIRI (SELF
COMPACTING CONCRETE)**

Oleh:
Sofyan Hajrin
F1A017148

Telah diujikan di depan tim Penguji
Pada tanggal 17 Mei 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat mencapai derajat Sarjana S-1
Jurusan Teknik Sipil

Susunan Tim Penguji

1. Penguji I



Prof. Akmaluddin, ST., MSc(Eng.), Ph.D
NIP. 19681231 199412 1 001

Tanggal : 29 - 05 - 2023

2. Penguji II



Shofia Rawiana, ST., MT.
NIP. 19660305 199412 2 001

Tanggal : 26 - 05 - 2023

3. Penguji III



I Wawan Sugiarta, ST., MT.
NIP. 19690620 199702 1 001

Tanggal : 24 - 05 - 2023

Mataram,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Muhammad Svamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19720222 199903 1 002

Pengaruh Pemanfaatan Abu Tempurung Kelapa (*Coconute Shell Ash*) Sebagai Bahan Tambah Terhadap Kuat Tekan Beton Memadat Sendiri (*Self Compacting Concrete*)

**Sofyan Hajrin¹, I Nyoman Merdana², Miko Eniarti³
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram**

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

²Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

³Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

Email: hajrinsofyan@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan pembangunan saat ini menuntut pemakaian beton menggunakan bahan-bahan yang bermutu tinggi, mudah pengerjaannya, serta mencukupi kebutuhan dalam proses konstruksi bangunan. Pemadatan atau vibrasi merupakan pekerjaan yang mutlak yang harus dilakukan. Tujuannya dari pemadatan itu sendiri adalah untuk meminimalkan udara yang terjebak dalam beton segar sehingga diperoleh beton yang homogeny dan tidak terdapat rongga didalamnya. Pada kenyataannya tidak semua tempat dilapangan bisa dijangkau oleh vibrator. Salah satu solusinya adalah dengan menggunakan beton jenis *Self Compacting Concrete* (SCC). Hasil pembakaran tempurung kelapa yaitu CSA mengandung senyawa silika sehingga dapat digunakan dalam pembuatan beton baik sebagai pengganti semen atau bahan tambah semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan abu tempurung kelapa terhadap kuat tekan dan pengaruh umur beton terhadap kuat tekan beton memadat sendiri (SCC).

Penelitian ini menggunakan abu tempurung kelapa sebagai bahan tambah dengan proporsi abu tempurung kelapa yang digunakan adalah 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% terhadap berat semen dengan akuran agregat maksimum 19 mm. Acuan yang digunakan dalam pembuatan campuran beton adalah *Mix Design* EFNARC dengan kuat tekan rencana ($f'c$) 30 MPa. Benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian yang dilakukan yaitu uji tekan dengan perawatan selama 7 hari, 14 hari, 28 hari DAN 90 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu tempurung kelapa memberikan pengaruh terhadap kuat tekan beton SCC. Nilai kuat tekan beton mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya proporsi abu tempurung kelapa hingga 10%. Pada proporsi abu tempurung kelapa 10% diperoleh kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 40,009 MPa dengan peningkatan yang terjadi sebesar 58,207 % terhadap beton tanpa abu tempurung kelapa. Umur beton juga mempengaruhi kuat tekan beton SCC dengan penggunaan bahan pozzolan, dimana kuat tekan pada umur 90 hari lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Sehingga pada penelitian ini disimpulkan bahwa semakin lama umur beton maka reaksi pozzolan akan semakin baik dan menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi serta proporsi penambahan abu tempurung kelapa 10% merupakan proporsi penambahan abu tempurung kelapa dengan nilai kuat tekan tertinggi.

Kata kunci: Beton Memadat Sendiri, Abu tempurung kelapa, Kuat Tekan Beton

Pengaruh Pemanfaatan Abu Tempurung Kelapa (*Coconute Shell Ash*) Sebagai Bahan tambah Terhadap Kuat Tekan Beton Memadat Sendiri (*Self Compacting Concrete*)

**Sofyan Hajrin¹, I Nyoman Merdana², Miko Eniarti³
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram**

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

²Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

³Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

Email: ariwinandarr@gmail.com

ABSTRACT

Current development developments demand the use of concrete using high-quality materials, easy to work, and meet the needs in the building construction process. Compaction or vibration is an absolute job that must be done. The purpose of compaction itself is to minimize the air trapped in fresh concrete so that homogeneous concrete is obtained and there are no voids in it. In fact, not all places in the field can be reached by vibrators. One solution is to use Self Compacting Concrete (SCC). The result of burning coconut shells, namely CSA, contains silica compounds so that it can be used in making concrete either as a substitute for cement or cement additives. This study aims to determine the effect of the use of coconut shell ash on compressive strength and the effect of concrete age on the compressive strength of self-compacting concrete (SCC).

This study used coconut shell ash as an added material with the proportion of coconut shell ash used was 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, and 10% of cement weight with a maximum aggregate accuracy of 19 mm. The reference used in making concrete mixture is EFNARC Mix Design with plan compressive strength ($f'c$) 30 MPa. The specimen is cylindrical in shape with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm. The tests carried out were pressure tests with treatments for 7 days, 14 days, 28 days and 90 days..

The results showed that the use of coconut shell ash had an influence on the compressive strength of SCC concrete. The compressive strength value of concrete has increased along with the increase in the proportion of coconut shell ash up to 10%. In the proportion of 10% coconut shell ash, the highest compressive strength was obtained at 40,009 MPa with an increase of 58,207 % against concrete without coconut shell ash. The age of concrete also affects the compressive strength of SCC concrete with the use of pozzolan material, where the compressive strength at the age of 90 days is higher than the compressive strength at the age of 7 days, 14 days and 28 days. So in this study it was concluded that the longer the life of concrete, the better the pozzolan reaction and produce higher compressive strength, and the proportion of adding coconut shell ash 10% is the proportion of adding coconut shell ash with the highest compressive strength value.

Keywords: Self Compacting Concrete, *Coconut Shell Ash*, Concrete Compressive Strength

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan teknologi dalam bidang konstruksi sudah semakin pesat, baik dari segi desain maupun metode konstruksi yang dilakukan. Dalam perkembangannya pun telah banyak ditemukan beton baru hasil modifikasi dari berbagai penelitian guna meningkatkan kinerja dari bahan bangunan tersebut. Dengan adanya perkembangan pembangunan saat ini menuntut pemakaian beton menggunakan bahan-bahan yang bermutu tinggi, mudah pengerjaannya, serta mencukupi kebutuhan dalam proses konstruksi bangunan. Salah satu hasil penelitian untuk memenuhi kebutuhan tersebut yaitu beton memadat sendiri (*Self Compacting Concrete*)

Self Compacting Concrete (SCC) merupakan beton yang mampu memadat sendiri dengan *slump* yang cukup tinggi. SCC memiliki kemampuan untuk mengalir sendiri dan mengisi ruang-ruang di dalam cetakan dengan tingkat penggunaan alat pemadat yang sedikit atau bahkan tanpa proses pemadatan. Dengan kemampuan tersebut, beton jenis ini dapat mengatasi permasalahan-permasalahan yang timbul selama proses pengecoran pada komponen bangunan yang artistic dengan bentuk geometri yang tergolong rumit apabila dilakukan dengan pengecoran beton konvensional.

Pozzolan merupakan suatu material tambahan yang berasal dari alam dan batuan, yang sebagian besar memiliki kandungan senyawa silika (Si) dan Alumina (Al), dimana pozzolan dapat bereaksi terhadap senyawa Ca(OH)_2 hasil dari reaksi hidrasi antara semen dan air. Pozzolan tidak memiliki sifat semen. Tetapi dalam keadaan halus bereaksi dengan kapur bebas dan air menjadi suatu massa padat yang tidak larut dalam air.

Tempurung kelapa merupakan limbah atau sisa pengolahan baik dari rumah tangga maupun industri yang memakai kelapa sebagai bahan utamanya. Bagian tempurung kelapa merupakan bagian yang paling keras dibandingkan dengan bagian kelapa lainnya. Struktur yang keras disebabkan oleh silikat (SiO_2) yang cukup tinggi. Komposisi kimia yang

dimiliki tempurung kelapa meliputi, selulosa 26,6%, lignin 29,4%, abu 0,6%, solvent ekstraktif 4,2%, uranot hidrat 3,5%, nitrogen 0,11%, dan air 8,01% bahwa sebagian besar bahan tersebut mengandung senyawa silika amorf yang sama abu tempurung kelapa dimana CSA dapat bersifat pozzolan sehingga bisa digunakan sebagai bahan tambah semen dalam pembuatan beton.

Berdasarkan hal tersebut diatas, dengan dimanfaatkannya limbah abu tempurung kelapa ini diharapkan dapat mengatasi permasalahan di atas sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai penggunaan abu tempurung kelapa sebagai bahan tambah ditinjau dari kuat tekan beton, berapakah besarnya presentase penggunaan abu tempurung kelapa yang optimal dalam campuran beton.

LANDASAN TEORI

Beton

Berdasarkan SNI 2847-2019 beton (*concrete*) merupakan campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Air dan semen portland membentuk pasta yang disebut pasta semen, dimana pasta semen ini akan mengisi pori-pori antara butiran-butiran agregat kasar maupun agregat halus. Reaksi kimia antara air dan semen akan membuat pasta semen mengeras dan menjadi perekat antar butiran-butiran agregat, sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat dan terbentuklah massa yang kompak dan padat.

Beton Memadat Sendiri (Self Compacting Concrete)

Self Compacting Concrete (SCC) adalah jenis beton yang ketika masih berbentuk beton segar mampu mengalir mengisi ruang secara padat tanpa melakukan proses pemadatan manual maupun dengan getaran mekanik. Dalam proses penempatan pada volume bekisting (*placing*) dan proses pemadatannya (*compacting*), SCC mempunyai *flowability* yang tinggi sehingga mampu mengalir, mengisi ruang, dan melewati halangan kerapatan tulangan tanpa terjadi segregasi (EFNARC, 2005).

Adapun kriteria *workability* dari campuran beton yang baik pada *Self Compacting Concrete* (SCC) adalah mampu memenuhi kriteria berikut (EFNARC, 2002):

Filling Ability, Kemampuan beton SCC untuk mengalir dan mengisi ruang dengan beratnya sendiri. *Passing Ability*, kemampuan beton segar untuk mengalir melalui celah-celah antar besi tulangan atau bagian sempit dari cetakan tanpa terjadi segregasi atau *blocking*. *Segregation Resistance*, kemampuan beton SCC untuk ketahanan campuran beton segar terhadap segregasi.

Abu tempurung kelapa (*coconut shell ash*)

Abu tempurung kelapa (*coconut shell ash*) merupakan limbah dari hasil pembakaran tempurung kelapa sampai menjadi arang kemudian ditumbuk sampai menjadi halus dan dilakukan pengayakan untuk memperoleh abu yang lolos saringan no 200. Apabila tempurung kelapa dibakar pada suhu terkontrol, maka akan menghasilkan abu tempurung kelapa yang mempunyai sifat pozzolanik sehingga abu tempurung kelapa termasuk salah satu bahan tambah mineral (*mineral admixture*).

Superplasticizer

Dalam pembuatan beton yang mampu memadat sendiri (*Self Compacting Concrete*), diperlukan suatu bahan tambah berupa *superplasticizer*. *Superplasticizer* merupakan bahan tambah kimia yang digolongkan sebagai bahan tambah tipe F (*water-reducing, high range admixture*), yaitu bahan tambah yang mampu mengurangi secara signifikan jumlah air pencampur yang diperlukan untuk mencapai konsistensi tertentu atau tingkat kemudahah pengerjaan tertentu (Susilorini dan Sambowo, 2011).

Pengujian Benda Uji

Kuat Tekan Beton

Kuat tekan mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Menurut SNI-03-1974-2011, kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas dan dinyatakan dengan Mpa. Pengujian kuat tekan

dilakukan dengan menggunakan mesin tekan atau CTM (*Compression Testing Machine*). Kuat tekan dirumuskan dengan persamaan:

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Dengan:

$f'c$ = Kuat tekan beton (Mpa)
P = Beban maksimum (N)
A = Luas penampang (mm²)

Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas yaitu rasio tegangan normal terhadap regangan terkait untuk tegangan tarik atau tekan di bawah batas proporsional material (SNI 03-2847-2019). Beton yang sedang menahan beban akan terbentuk suatu hubungan regangan dan tegangan yang merupakan fungsi dari waktu pembebanan.

Menurut ASTM C469 (2010) nilai modulus elastisitas suatu beton dapat dihitung dengan persamaan:

$$Ec = \left(\frac{S_2 - S_1}{\epsilon^2 - 0,00005} \right)$$

Dalam perhitungan struktur menurut SNI 03-2847-2013, modulus elastisitas dapat dihitung berdasarkan:

untuk beton normal, modulus elastisitas dapat dihitung dengan rumus:

$$Ec = 4700 \sqrt{f'c}$$

untuk nilai (Wc) antara 1400 sampai 2560 kg/m³, modulus elastisitas dapat dihitung dengan rumus:

$$Ec = Wc^{1,5} 0,043 \sqrt{f'c}$$

dengan:

Ec : Nilai Modulus Elastisitas (MPa)
Wc : Berat Volume Beton (kg/m³)
 $f'c$: Kuat tekan beton (MPa)

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir), semen portland jenis PCC (*Portland Composite Cement*) dengan merk Tiga Roda, air bersih, *superplasticizer Sika Viscocrete*

3115 N, dan abu tempurung kelapa (*coconut shell ash*)

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: timbangan, ayakan, gelas ukur, piknometer, oven, *Slump test apparatus* (kerucut Abrams), plat datar, *L-Box test*, *Stopwatch*, saringan dengan diameter 5 mm, cetakan silinder, molen, Mesin CTM (*Compression Testing Machine*), mesin *los angles*, mistar dan jangka sorong, bak air, dan peralatan penunjang lainnya.

Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton bertujuan untuk mengetahui komposisi dari bahan-bahan penyusun beton agar dapat memenuhi persyaratan teknis sehingga menghasilkan campuran beton yang optimal dengan kekuatan maksimum. Kriteria utama dalam *mix design* adalah kuat tekan beton dan kemudahan dalam pengerjaan (*workability*). Batasan *mix design* yang disarankan oleh EFNARC dapat dijadikan sebagai acuan dalam membuat campuran beton SCC. Pada penelitian ini persentase *superplasticizer* yang digunakan sebesar 1,65%, sedangkan persentase penggunaan bahan tambah abu tempurung kelapa menggunakan variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen.

Tabel 1 Kebutuhan bahan penyusun beton

Nama	Air	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)	Semen (kg)	ATK (kg)	SP (kg)
SCC0	198	500	900	450	-	7,43
SCC2,5				450	11,2	7,43
SCC5				450	22,5	7,43
SCC7,5				450	33,7	7,43
SCC10				450	45	7,43

Kebutuhan Benda Uji

Dalam penelitian ini, dibuat benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm untuk pengujian kuat tekan beton dengan umur perawatan 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 90 hari. Adapun kebutuhan benda uji dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2 sebagai berikut :

Tabel 2 Kebutuhan benda uji

Kode Benda Uji	Proporsi ATK (%)	Jumlah Benda Uji				Total
		Umur Perawatan				
		7	14	28	90	
SCC0	0	3	3	3	3	12
SCC2,5	2,5	3	3	3	3	12
SCC5	5	3	3	3	3	12
SCC7,5	7,5	3	3	3	3	12
SCC10	10	3	3	3	3	12
Jumlah Total						60

Perawatan Benda Uji

Perawatan beton atau *curing* dilakukan setelah beton mencapai *final setting*, artinya beton telah mengeras yang mengacu pada SNI 2493-2011. Pada penelitian ini, metode perawatan yang digunakan adalah dengan melakukan perendaman terhadap sampel beton di dalam bak yang berisi air. Perendaman sampel beton ini dilakukan selama 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 90 hari sesuai dengan waktu pengujian yang akan dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Berat Satuan Agregat

Hasil pemeriksaan berat satuan pada agregat halus didapatkan berat satuan lepas rata-rata sebesar 1,276 gram/cm³ dan berat satuan padat rata-rata sebesar 1,487 gram/cm³. Sedangkan hasil pemeriksaan pada agregat kasar diperoleh berat satuan lepas rata-rata sebesar 1,368 gram/cm³ dan berat satuan padat rata-rata sebesar 1,556 gram/cm³. Hasil pemeriksaan ini menunjukkan bahwa kedua material ini termasuk jenis agregat normal yang memiliki berat satuan antara 1,2–1,6 gram/cm³ (Tjokrodinuljo, 1996).

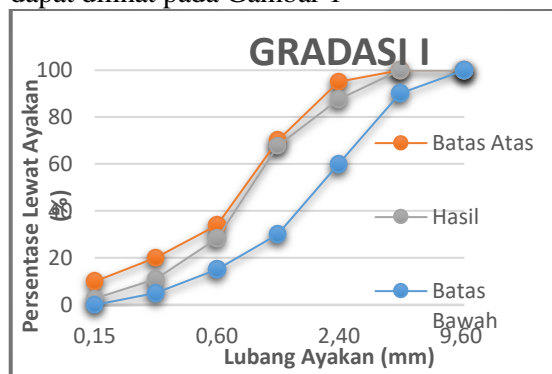
Pemeriksaan Berat Jenis Agregat

Pemeriksaan berat jenis agregat pada penelitian ini meliputi pemeriksaan berat jenis dalam kondisi kering dan berat jenis dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*). Hasil pemeriksaan untuk agregat halus didapatkan berat jenis rata-rata dalam kondisi kering sebesar 2,586 gram/cm³ dan berat jenis rata-rata dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) sebesar 2,616 gram/cm³. Sedangkan hasil pemeriksaan untuk agregat kasar diperoleh berat jenis rata-rata dalam kondisi kering sebesar

2,608 gram/cm³ dan berat jenis rata-rata dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) sebesar 2,648 gram/cm³. Hasil pemeriksaan ini menunjukkan bahwa agregat yang dipakai dalam penelitian ini termasuk jenis agregat normal dengan berat jenis antara 2,5–2,7 (Tjokrodimuljo, 1996).

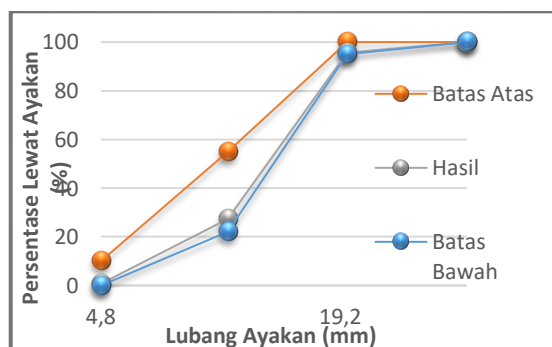
Pemeriksaan Gradasi Agregat

Hasil pemeriksaan gradasi agregat halus menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini termasuk dalam daerah gradasi I yaitu pasir kasar, dimana pasir dalam kondisi ini banyak digunakan sebagai material penyusun beton. Nilai modulus halus butir sebesar 3.033. Grafik gradasi agregat halus dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1 Grafik gradasi agregat halus

Sedangkan untuk hasil pemeriksaan gradasi agregat kasar menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan termasuk dalam gradasi B, dimana diameter butiran maksimum yang digunakan adalah 19 mm. nilai modulus kehalusan butiran sebesar 6,746. Dengan demikian agregat kasar yang digunakan telah memenuhi persyaratan sebagai bahan penyusun beton. Grafik gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2 Grafik gradasi agregat kasar

Pemeriksaan Kandungan Lumpur Agregat Halus

Hasil pemeriksaan kandungan lumpur agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan lumpur yang diperoleh sebesar 0.676 %. Dengan demikian agregat halus (pasir) tersebut dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton karena kandungan lumpurnya masih memenuhi standar yang disyaratkan, dimana persyaratan yang harus dipenuhi oleh agregat halus sebagai bahan penyusun beton adalah kandungan lumpur tidak boleh lebih dari 5 % (Tjokrodimuljo, 1996).

Pemeriksaan Ketahanan Aus Agregat Kasar

Pemeriksaan ketahanan aus agregat kasar dilakukan dengan menggunakan mesin Los Angeles. Benda uji yang digunakan adalah agregat kasar gradasi B dengan ukuran butiran maksimum 20 mm dengan berat benda uji awal 5 kg. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa agregat kasar yang aus sebesar 8,54 % dari berat awal pada 100 putaran pertama. Sedangkan pada 500 putaran berikutnya agregat kasar yang aus diperoleh sebesar 36,56 % dari berat awal. Dengan demikian agregat kasar tersebut dapat digunakan sebagai material untuk beton kelas II, dimana syarat ketahanan aus agregat kasar tidak boleh lebih dari 40 % setelah 500 putaran.

Pemeriksaan Kandungan Kimia Abu Tempurung Kelapa

Abu tempurung kelapa diperoleh dari proses pembakaran tempurung kelapa suhu $\pm 800^{\circ}$ C selama 4 jam. Kemudian dilakukan pemeriksaan laboratorium untuk mengetahui kandungan kimia dalam abu tempurung kelapa. Pemeriksaan ini dilakukan di Laboratorium Mineral dan Material Maju (Laboratorium Sentral) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Malang. Identifikasi kandungan kimia dalam abu tempurung kelapa dilakukan dengan pengujian X-Ray Fluorescence (XRF). Adapun kandungan senyawa kimia dalam abu tempurung kelapa menurut Laboratorium Sentral Universitas Negeri Malang yaitu :

Tabel 3 Hasil pemeriksaan kandungan kimia abu tempurung kelapa

Senyawa kimia	Berat (%)
SiO ₂	3,7
K ₂ O	29,9
CaO	7,96
Fe ₂ O ₃	52,4
MnO	0,36
Na ₂ O	-
MgO	-
P ₂ O ₅	2,5
Al ₂ O ₃	-
SO ₃	-

Dilihat dari kandungan senyawa tersebut, abu tempurung kelapa ini dapat digunakan sebagai bahan pozzolan karena mengandung SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ lebih dari 50 % sesuai dengan mutu pozzolan yang disyaratkan.

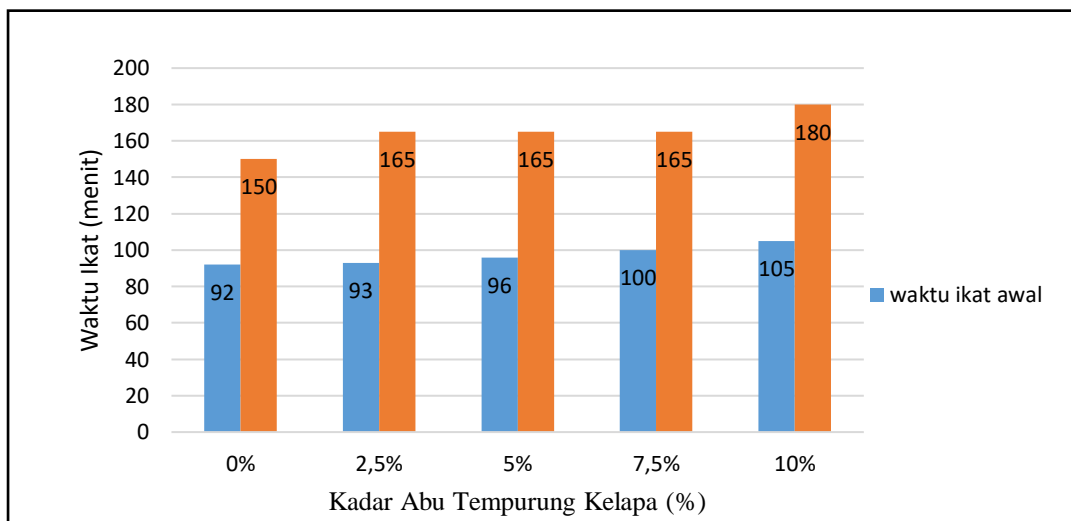
Pemeriksaan Waktu Ikat Semen Portland Dengan Penambahan Abu Tempurung Kelapa (*Coconute Shell Ash*)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui waktu pengikatan semen variasi penambahan abu tempurung kelapa. Sebelum pelaksanaan pengujian waktu ikat dilakukan, perlu dilakukan pengujian konsistensi normal semen dengan penambahan abu tempurung kelapa terlebih dahulu.

Pengujian konsistensi normal ini dilakukan untuk mencari persentase air yang diperlukan untuk pengujian waktu ikat.

Dari nilai konsistensi normal tersebut dilanjutkan dengan pengujian waktu ikat sehingga didapatkan hasil seperti yang disajikan pada Gambar 3

Hasil pengujian pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa semakin banyak proporsi abu tempurung kelapa yang digunakan akan meningkatkan waktu ikat semen. Waktu ikat semen dipengaruhi oleh komposisi mineral utama yang terdapat pada semen yaitu C₃S, C₂S, C₃A, dan C₄AF, dimana senyawa yang membentuk kekuatan awal pada semen adalah senyawa C₃S yang dibantu oleh panas hidrasi dari senyawa C₃A. senyawa C₃A akan bereaksi dengan air membentuk gel yang bersifat cepat set (kaku) sehingga akan mengontrol sifat waktu ikat semen. Hasil reaksi akan bereaksi kembali dengan unsur-unsur utama yang terdapat pada abu tempurung kelapa yaitu silika (SiO₂), Oksidasi besi (Fe₂O₃), Kalsium Oksida (CaO), dan Alumunium Oksida (Al₂O₃) dengan demikian maka rantai reaksi hidrasi akan semakin panjang yang pada akhirnya akan memperlama waktu pengerasan semen.

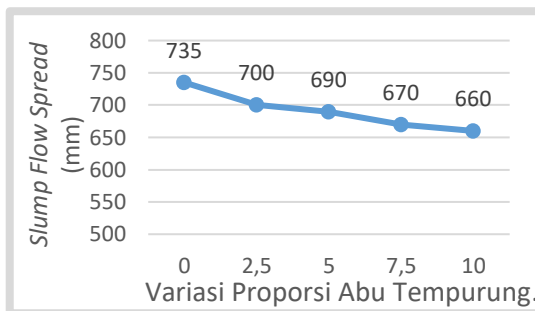


Gambar 3 Pengujian waktu ikat semen

Hasil Pengujian Beton Segar *Slump Flow Spread*

Pengujian *slump flow spread* bertujuan untuk mengetahui seberapa besar

tingkat kemampuan campuran beton untuk mengisi ruangan atau cetakan dengan beratnya sendiri. Diameter penyebaran yang disarankan untuk dapat dikatakan sebagai campuran SCC yang baik adalah 65 – 80 cm dengan nilai toleransi yang diperbolehkan adalah ± 5 cm. dengan adanya pemeriksaan ini dapat diperoleh nilai *slump* yang dapat dipakai sebagai tolak ukur kecekan (*workability*) dalam pengerjaan beton (EFNARC, 2002).



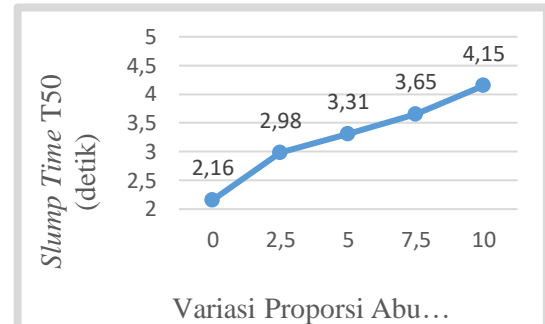
Gambar 4 Grafik *slump flow spread*

Aliran *slump flow* menurun saat persentase abu tempurung kelapa ditambahkan. Nilai *slump flow* terbesar terjadi pada adukan beton tanpa penambahan abu tempurung kelapa dengan diameter sebaran yaitu 73,5 cm. Untuk adukan beton dengan penambahan abu tempurung kelapa 2,5-10% mengalami penurunan. Hal ini diduga dikarenakan sifat abu tempurung kelapa yang dapat menyerap air, sehingga adukan beton menjadi kental yang menyebabkan terjadinya penurunan nilai *slump flow*.

Slump Time T50

Slump flow T50 merupakan pengujian yang dilakukan bersamaan dengan pengujian *slump flow spread*. Tujuan dilakukan pengujian ini adalah untuk mengetahui kemampuan campuran beton untuk mengisi ruangan atau cetakan dengan beratnya sendiri. Pengujian ini dilakukan dengan cara menghitung waktu yang diperlukan oleh campuran beton segar SCC untuk mengalir dan mencapai diameter 50 cm. Nilai *slump time T50* sangat berhubungan dengan nilai *slump flow spread*, apabila nilai *slump flow spread* semakin tinggi maka nilai *slump time T50* akan semakin cepat dan begitu juga sebaliknya. Berdasarkan (EFNARC, 2002) waktu yang dibutuhkan adukan beton

SCC untuk mengalir mencapai diameter 50 cm yaitu di antara 2 – 5 detik. Adapun hasil pengujian *slump time T50* dapat dilihat pada Gambar 5 sebagai berikut :

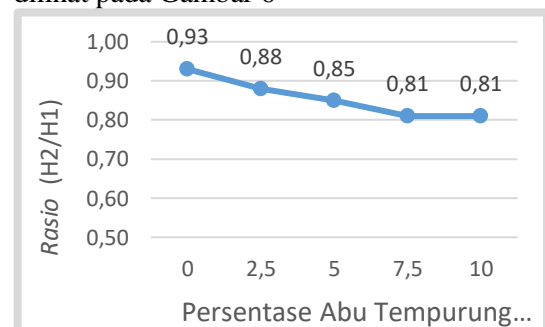


Gambar 5 Grafik *slump time T50*

Hasil pengujian *slump time T50* dapat dilihat bahwa nilai T-50 tercepat yang diperoleh yaitu 2,16 detik pada adukan beton tanpa penambahan abu tempurung kelapa. Untuk adukan beton dengan penambahan 2,5% - 10% abu tempurung kelapa diperoleh nilai T-50 yang semakin lambat yaitu 2,98 detik, 3,31 detik, 3,65 detik, dan 4,15 detik. Nilai T-50 untuk masing-masing variasi penambahan abu tempurung kelapa sudah memenuhi standar yang ditentukan menurut EFNARC (2002).

L-Box Test

Pengujian L-Box pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan campuran beton segar SCC untuk melewati celah-celah antar besi tulangan atau bagian celah yang sempit dari cetakan. Rasio ketinggian akhir yang disyaratkan untuk dapat dikatakan sebagai campuran SCC yang baik adalah $0,8 \leq H_2/H_1 \leq 1,0$. Adapun hasil pengujian L-Box ini dapat dilihat pada Gambar 6



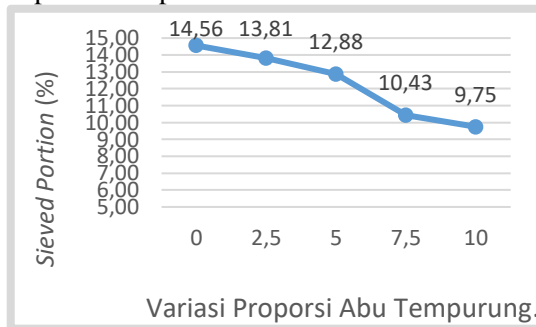
Gambar 6 Grafik *L-Box test*

Berdasarkan hasil pengujian *L-Box* pada Gambar 4.5 didapat nilai yang cukup stabil untuk persentase abu tempurung kelapa 0% - 10%. Hasil yang diperoleh

untuk masing-masing variasi penambahan abu tempurung kelapa berturut-turut sebesar 0,93; 0,88; 0,85; 0,81; dan 0,81. Dengan demikian hasil dari masing-masing variasi beton segar pada pengujian *L-Box* sudah memenuhi standar yang ditentukan menurut EFNARC (2002).

Sieve Stability Test

Pengujian *sieve stability test* pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya tahan campuran SCC terhadap segregasi dengan cara mengukur porsi adukan beton yang melewati ayakan 5 mm. Jika daya tahan SCC rendah terhadap segregasi maka adukan beton tersebut dapat dengan mudah melewati ayakan 5 mm. Adapun hasil pengujian *sieve stability test* dapat dilihat pada Gambar 7



Gambar 4.7 Grafik *sieve stability test*

Dari hasil pengujian *sieve stability test* dapat dilihat bahwa persentase adukan beton yang lolos ayakan 5 mm dari masing-masing variasi abu tempurung kelapa menunjukkan kondisi yang stabil dan tidak terjadi segregasi. Dengan demikian dari masing-masing variasi adukan beton sudah memenuhi standar yang ditentukan menurut EFNARC (2002), dimana persentase yang dianjurkan bagi adukan beton SCC untuk lolos ayakan 5 mm yaitu kurang dari 15%.

Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk memperoleh nilai kuat tekan maksimal pada beton dengan penggunaan *superplasticizer* 1,65% dan variasi penggunaan abu tempurung kelapa sebagai bahan tambah semen sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen. Benda uji yang digunakan dalam pengujian ini adalah beton silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada

benda uji umur 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 90 hari dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM).

Hasil yang digunakan dalam menentukan kuat tekan benda uji adalah beban maksimum yang mengakibatkan benda uji tidak mampu menerima beban lagi dan benda uji mengalami retak-retak. Dimana kuat tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Berikut hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5:

Tabel 3 Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari

No.	Kode Benda Uji	Kadar Abu Tempurung Kelapa (%)	Umur (hari)	Kuat Tekan (MPa)	Selisih Terhadap	
					Chart Area	Normal
				(MPa)	(MPa)	(%)
1	SCC 0	0	7	20,193	-	-
2	SCC 2.5	2.5		24,534	4,341	21,497
3	SCC 5	5		23,024	2,831	14,019
4	SCC 7.5	7.5		22,269	2,076	10,280
5	SCC 10	10		28,686	8,493	42,059

Berdasarkan Tabel 3, menunjukkan hasil kuat tekan beton pada umur 7 hari dengan variasi penambahan abu tempurung kelapa sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen. Diperoleh hasil kuat tekan rata-rata berdasarkan variasi penambahan abu tempurung kelapa berturut-turut adalah sebesar 20,193 MPa; 24,534 MPa; 23,024 MPa; 22,269 MPa; dan 28,686 MPa. Nilai kuat tekan maksimum terjadi pada proporsi 10% abu tempurung kelapa dengan peningkatan yang terjadi sebesar 42,059% terhadap beton SCC tanpa abu tempurung kelapa.

Tabel 4 Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 14 hari

No.	Kode Benda Uji	Kadar Abu Tempurung Kelapa (%)	Umur (hari)	Kuat Tekan (MPa)	Selisih Terhadap	
					SCC	Normal
				(MPa)	(MPa)	(%)
1	SCC 0	0	14	24,157	-	-
2	SCC 2.5	2.5		26,044	1,887	7,811
3	SCC 5	5		29,063	4,906	20,308
4	SCC 7.5	7.5		30,196	6,039	24,998
5	SCC 10	10		33,027	8,870	36,718

Berdasarkan Tabel 4, menunjukkan hasil kuat tekan beton pada umur 14 hari dengan variasi penambahan abu tempurung kelapa sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen. Diperoleh hasil kuat tekan rata-rata berdasarkan variasi penambahan abu tempurung kelapa berturut-turut adalah sebesar 24,157 MPa; 26,044MPa; 29,063 MPa; 30,196 MPa; dan 33,027 MPa. Nilai kuat tekan maksimum terjadi pada proporsi 10% abu tempurung kelapa dengan peningkatan yang terjadi sebesar 36,178% terhadap beton SCC tanpa abu tempurung kelapa.

Tabel 5 Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari

No.	Kode Benda Uji	Kadar Abu Tempurung kelapa	Umur (hari)	Kuat Tekan (MPa)	Selisih Terhadap SCC Normal	
		(%)			(MPa)	(%)
1	SCC 0	0	28	28,120	-	-
2	SCC 2.5	2.5		31,139	3,019	10,736
3	SCC 5	5		32,272	4,152	14,765
4	SCC 7.5	7.5		32,649	4,529	16,106
5	SCC 10	10		36,046	7,926	28,186

Berdasarkan Tabel 5, menunjukkan hasil kuat tekan beton pada umur 28 hari dengan variasi penambahan abu tempurung kelapa sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen. Diperoleh hasil kuat tekan rata-rata berdasarkan variasi penambahan abu tempurung kelapa berturut-turut adalah sebesar 28,120 MPa; 31,139 MPa; 32,272 MPa; 32,649 MPa; dan 36,046 MPa. Nilai kuat tekan maksimum terjadi pada proporsi 10% abu tempurung kelapa dengan peningkatan yang terjadi sebesar 28,186% terhadap beton SCC tanpa abu tempurung kelapa.

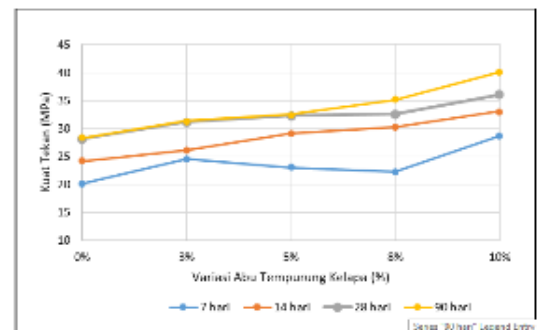
Tabel 6 Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 90 hari

No.	Kode Benda Uji	Kadar Abu Tempurung kelapa	Umur (hari)	Kuat Tekan (MPa)	Selisih Terhadap SCC Normal	
		(%)			(MPa)	(%)
1	SCC 0	0	28	25,289	-	-
2	SCC 2.5	2.5		31,328	6,039	23,879
3	SCC 5	5		32,460	7,171	28,356
4	SCC 7.5	7.5		35,103	9,814	38,807
5	SCC 10	10		40,009	14,72	58,207

Berdasarkan Tabel 6, menunjukkan hasil kuat tekan beton pada umur 90 hari

dengan variasi penambahan abu tempurung kelapa sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen. Diperoleh hasil kuat tekan rata-rata berdasarkan variasi penambahan abu tempurung kelapa berturut-turut adalah sebesar 25,1289 MPa; 31,328 MPa; 32,460 MPa; 35,103 MPa; dan 40,009 MPa. Nilai kuat tekan maksimum terjadi pada proporsi 10% abu tempurung kelapa dengan peningkatan yang terjadi sebesar 58,207 % terhadap beton SCC tanpa abu tempurung kelapa.

Berdasarkan hasil kuat tekan rata-rata dari variasi penambahan abu tempurung kelapa pada setiap umur pengujian dapat diketahui grafik hubungan antara kuat tekan dengan variasi penambahan abu tempurung kelapa untuk masing-masing umur pengujian yang disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7 Hasil pengujian kuat tekan beton SCC

Berdasarkan Gambar 7 menunjukkan bahwa kuat tekan beton SCC mengalami peningkatan kuat tekan seiring dengan bertambahnya abu tempurung hingga 10%.

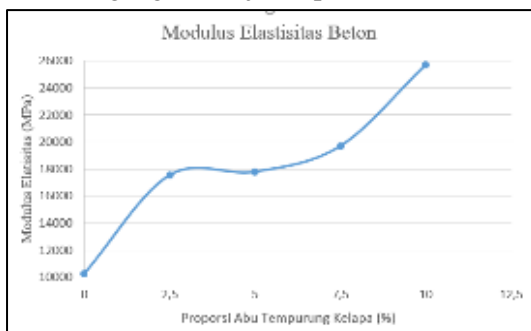
Kuat tekan beton SCC cenderung mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur beton, baik yang menggunakan abu tempurung kelapa maupun tanpa abu tempurung kelapa. Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat bahwa kuat tekan rata-rata paling tinggi dari variasi abu tempurung kelapa pada umur 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 90 hari adalah pada variasi abu tempurung kelapa 10%. Variasi abu tempurung kelapa 10% menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 40,009 MPa pada umur 90 hari, sedangkan beton SCC tanpa abu tempurung kelapa memperoleh kuat tekan sebesar 25,289 MPa. Peningkatan kuat tekan yang terjadi tidak terlalu signifikan yaitu sebesar

58,207 %. Hal ini diduga dikarenakan beton dengan penggunaan bahan tambah pozzolan memerlukan waktu yang lebih lama untuk bereaksi sehingga penggunaan pozzolan sebagai bahan pengganti sebagian semen akan mengakibatkan terlambatnya perkembangan kuat tekan beton.

Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton pada benda uji silinder pada umur perawatan 90 hari dengan menggunakan *ekstensometer (dial gauge)*. Nilai modulus elastisitas diperoleh dari penjabaran hubungan antara tegangan dengan regangan yang dimana hasilnya merupakan nilai yang tercatat dari hasil pengujian dari beban yang bekerja sampai menyebabkan benda uji hancur atau runtuh. Grafik hubungan antara tegangan dan

regangan disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik modulus elastisitas beton

Berdasarkan Gambar 4.10 di atas, dapat dilihat bahwa nilai modulus elastisitas tertinggi terjadi pada proporsi abu tempurung kelapa 10% dengan nilai modulus sebesar 25689,09 MPa dan nilai modulus elastisitas terendah terjadi pada proporsi abu tempurung kelapa 0% dengan nilai modulus sebesar 10227,058 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas beton pada umumnya berbanding lurus dengan nilai kuat tekannya. Apabila nilai kuat tekan beton tinggi, maka nilai modulus elastisitasnya akan cenderung meningkat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh variasi penambahan abu tempurung kelapa sebagai bahan tambah terhadap kuat tekan beton memadat sendiri diuraikan sebagai berikut:
 - a. Nilai kuat tekan beton SCC mengalami peningkatan kuat tekan seiring dengan bertambahnya proporsi abu tempurung kelapa hingga 10%.
 - b. Kekuatan tekan maksimum terjadi pada penambahan proporsi abu tempurung kelapa 10%, dimana kuat tekan yang diperoleh sebesar 40,009 MPa dengan peningkatan yang terjadi sebesar 58,207 % terhadap beton SCC tanpa abu tempurung kelapa.
2. Umur beton sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton SCC. Kuat tekan beton pada umur 90 hari lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Oleh karena itu, semakin lama umur beton maka kekuatannya semakin meningkat..

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka saran-saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Perlunya penelitian lebih lanjut tentang kandungan kimia dari abu tempurung kelapa agar memperoleh hasil yang baik.
2. Perlunya penelitian lebih lanjut tentang penggunaan abu tempurung kelapa terhadap kuat tekan beton pada variasi penambahan abu tempurung kelapa diatas 10%.

DAFTAR PUSTAKA

Aji, P., Dan Purwono, R., 2010, Pengendalian Mutu Beton Sesuai SNI, ACI dan ASTM, ITSPress, ISBN 978-979-889-756-6, Surabaya.

Ali, S, 2011, *Analisis Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton Dengan Abu tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah*, Jurusan Teknik

- Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Atthaarig, W., Khadavi, K., Anif, B. 2019. Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Sebagai Filler Terhadap Kuat Tekan Beton SCC. *Jurnal Tugas akhir Teknik Sipil*, Jurusan Teknik Sipil Universitas Bung Hatta, Padang.
- Badan Pusat Statistik, 2020, Luas Panen dan Produksi kelapa di Nusa Tenggara Barat 2020, BPS Provinsi Nusa Tenggara Barat.
- Utsev, J.T., Taku, J.K., 2012, Cocounte Shell Ash As Partial Replacement of Ordinary Portland Cement In Concrete Production. *International Journal Of Scientific & Technology Research*, vol. 1.
- Citrakusuma, J. L., 2012. Kuat Tekan *Self Compacting Concrete* Dengan Kadar Superplasticizer yang Bervariasi. *Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember. Jember.*
- Dehn, F., Holschemacher, K. and Weiße, D., 2000, Self-Compacting Concrete (SCC) Time Development of The Material Properties and The Bond Behaviour, LACER no.5, Leipzig.
- Citrakusuma, J. L., 2012. Kuat Tekan *Self Compacting Concrete* Dengan Kadar Superplasticizer yang Bervariasi. *Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember. Jember.*
- EFNARC, 2002, *Specification & Guidelines for Self-Compacting Concrete, English Ed.*, Norfolk UK: European Federation For Specialist Construction Chemicals And Concrete Systems.
- Tjokrodinuljo, K., 1996. *Teknologi Beton*. Jogjakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil UGM.
- Maida, N. M., 2015, Optimasi Proporsi *Superplasticizer* Dengan Pendekatan *Chemical Base* Untuk Beton Memadat Sendiri (*Self Compacting Concrete*), Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, Mataram.
- Iadeala A.J, 2020, Potential Of Coconute Sheel Ash Partial Replacement Of Ordinary Portland Cement In Concrete Production. *International Journal Of Engineering Science Invention (IJESI)*, Vol. 09(01), 2020, PP0 47-53.
- Maida, N. M., 2015, Optimasi Proporsi *Superplasticizer* Dengan Pendekatan *Chemical Base* Untuk Beton Memadat Sendiri (*Self Compacting Concrete*), Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, Mataram.
- Mulyono, T., 2005, *Teknologi Beton*, CV Andi Offset, Yogyakarta.
- Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). *Self Compacting Concrete. Journal Of Advanced Concrete Technology*, 1(1), 5-15.
- Ouchi, M., Nakamura, S. A., Osterberg, T., Hallberg, S., & Lwin, M., 2003, *Applications of Self Compacting Concrete In Japan, Europe And The United States*, Kochi University Of Technology, Kochi, Japan.
- Sayyidina, R. U. A. A., 2019, Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Dan *Silica Fume* Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Pada Beton Memadat Sendiri (SCC), Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, Mataram.
- SNI 03-2847-2002, 2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, Badan Standarisasi Nasional (BSN), Jakarta.
- SNI 15-2049-2004, 2004, Semen Portland, Badan Standarisasi Nasional (BSN), Jakarta.
- SNI 1974-2011, 2011, Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder, Badan Standarisasi Nasional (BSN), Jakarta.

- SNI 2847-2019, 2019, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, Badan Standarisasi Nasional (BSN), Jakarta.
- Muhamadiyah Surakarta, Surakarta.
- Susilorini, R., Sambowo, K., A., 2011, Teknologi Beton Lanjutan; Durabilitas Beton, Edisi Ke-2, Surya Perdana Semesta, ISBN 978-602-98015-1-4, Semarang.
- Susilorini, R., Sambowo, K., A., 2011, Teknologi Beton Lanjutan; Durabilitas Beton, Edisi Ke-2, Surya Perdana Semesta, ISBN 978-602-98015-1-4, Semarang.
- Widodo, S., 2002, *Optimalisasi Kuat Tekan Self Compacting Concrete dengan Cara Trial Mix Komposisi Agregat dan Filler pada Campuran Adukan Beton*, Laporan Penelitian, Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Riyanto, D., Cahyadi, H., Respati, R. 2018. Pengaruh Pemakaian Arang Batok Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton Beton K225. *Jurnal Media Ilmiah Teknik Sipil* 6(2), 94-101.
- Mustqim, I. M., Marliansyah, J., Rahmi, A. 2016. Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Paving Block. *Jurnal Teknik Sipil*, Universitas Pasir Pengairan, Rokan Hulu.
- Rego d, J, A., Marwanto., Zulaicha, L. 2022. Pengaruh penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Sleman.