

PENGARUH SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT DAN ADITIF TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON MUTU TINGGI

Muhammad Zacky Ardhyhan^{1,2}, T. Budi Aulia³, Muttaqin Hasan⁴

¹⁾Jurusan Teknik Sipil, Universitas Samudera, Langsa, Aceh,
email : zackyardhyhan82@gmail.com

²⁾Magister Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala, Darussalam, Banda Aceh

^{3,4)}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111, email: aulia@unsyiah.ac.id³,
muttaqin@unsyiah.ac.id⁴

Abstract : *The development of concrete technology is absolutely necessary at this time, is related to the many requests from buildings with large mass and a storey. One of them is the development in the field of high-quality concrete. Composing materials that consist of cement concrete, split, sand, water and other additives with good quality is absolutely necessary in the manufacture of high-quality concrete. Speaking about the split and sand, we definitely know the impact it has on the watershed on mining was done. For that we need research on the use of alternative materials to replace sand and split in the manufacture of high-quality concrete. Natural pozzolan sand and palm shell crust combustion products can be used to replace sand and split. The use of natural pozzolan sand and slag from the burning of palm shells on the manufacture of high-quality concrete is expected to produce high-quality concrete quality and cheap. The research objective is to analyze the effect of the use of combustion waste palm shells and sand natural pozzolan as a substitute for sand aggregate as well as the use of ash as a pozzolan cement replacement additives. In this study, the percentage of usage of alternative aggregate as much as 10%, 20%, 30%, 40% and 50% of the total aggregate needed. Gray sand for use as a pozzolan cement replacement additives as much as 5%, 10% and 15% of the total cement used. Concrete mix is planned to hold the load pressure of 70 MPa with a total cement consumption of 600 kg / m³. Superplasticizer used is viscocrete 10. From the results of experimental studies use chunks of palm shells and sand pozzolan as a substitute as well as the use of pozzolan ash as an additive can improve the compressive strength. The percentage of optimum use of palm shells as a substitute chunks of coarse aggregate and sand pozzolan as a substitute fine aggregate is 10%, while the percentage of optimum use of ash as a pozzolan additive is 10%.*

Keywords : *High Strength Concrete, Boulders Palm Shells, Shell Fragments Palm, Pozzolan Sand, Pozzolan Ash, Superplasticizer*

Abstrak : Perkembangan dari teknologi beton saat ini mutlak diperlukan, ini terkait dari banyaknya permintaan bangunan dengan massa yang besar dan berlantai banyak. Salah satunya adalah perkembangan dibidang beton bermutu tinggi. Material penyusun beton yang terdiri dari semen, split, pasir, air dan zat additive dengan kualitas yang baik mutlak diperlukan pada pembuatan beton bermutu tinggi. Berbicara tentang split dan pasir, kita pasti mengetahui dampak yang ditimbulkan bagi daerah aliran sungai atas penambangan yang dilakukan. Untuk itu diperlukan penelitian tentang pemakaian material alternatif untuk menggantikan posisi pasir dan split pada pembuatan beton bermutu tinggi. Pasir pozzolan alami dan kerak hasil pembakaran cangkang sawit dapat dipakai untuk menggantikan pasir dan split. Penggunaan pasir pozzolan alami dan kerak dari hasil pembakaran cangkang sawit pada pembuatan beton bermutu tinggi diharapkan dapat menghasilkan beton bermutu tinggi yang berkualitas dan murah. Tujuan penelitian yaitu menganalisis pengaruh penggunaan limbah hasil pembakaran cangkang sawit dan pasir pozzolan alami sebagai pengganti agregat serta penggunaan abu pasir pozzolan sebagai aditif pengganti semen. Pada penelitian ini persentase pemakaian agregat alternatif sebanyak 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari total agregat yang dibutuhkan. Untuk pemakaian abu pasir pozzolan sebagai aditif pengganti semen sebanyak 5%, 10% dan 15% dari total semen yang dipakai. Campuran beton direncanakan untuk menahan beban tekanan sebesar 70 MPa dengan total pemakaian semen sebanyak 600 kg/m³. Superplasticizer yang dipakai adalah viscocrete 10. Dari hasil kajian eksperimental pemakaian bongkahan cangkang sawit dan pasir pozzolan sebagai substitusi serta pemakaian abu pozzolan sebagai aditif dapat meningkatkan nilai kuat tekan. Persentase optimum pemakaian bongkahan cangkang sawit sebagai substitusi agregat kasar dan pasir pozzolan sebagai substitusi agregat halus adalah sebesar 10%, sedangkan untuk persentase optimum pemakaian abu pozzolan sebagai aditif adalah sebesar 10%.

Kata kunci : Beton, Bongkah Cangkang Sawit, Pecahan Cangkang Sawit, Pasir Pozzolan, Abu Pasir Pozzolan, Superplasticizer.

Perkembangan dari teknologi beton saat ini mutlak diperlukan, ini terkait dari banyaknya permintaan bangunan dengan massa yang besar dan berlantai banyak. Salah satunya adalah perkembangan dibidang beton bermutu tinggi. Beton dengan kuat tekan diatas 41,4 MPa membutuhkan material penyusun beton dengan kualitas yang baik. Material penyusun beton yang terdiri dari semen, split, pasir, air dan *zat additive* dengan kualitas yang baik mutlak diperlukan pada pembuatan beton bermutu tinggi.

Berbicara tentang split dan pasir, kita pasti mengetahui dampak yang ditimbulkan bagi daerah aliran sungai atas penambangan yang dilakukan. Untuk itu diperlukan penelitian tentang pemakaian material alternatif untuk menggantikan posisi pasir dan split pada pembuatan beton bermutu tinggi.

Provinsi aceh memiliki 19 daerah kabupaten kota dengan potensi pengembangan komoditi kelapa sawit, dengan jumlah produksi sebesar 1.988.676 ton (Aceh Dalam Angka, 2014). Cangkang pada buah kelapa sawit dapat digunakan sebagai sumber energi untuk proses pembakaran, ini menghasilkan limbah berupa kerak dari hasil pembakaran cangkang kelapa sawit yang berlimpah. Berlimpahnya kerak hasil pembakaran cangkang sawit memastikan ketersediaan kerak hasil pembakaran cangkang sawit di Provinsi Aceh.

Pasir pozzolan alami merupakan bahan lokal dari Provinsi Aceh. Pozzolan alam yang merupakan hasil timbunan dari abu lava gunung berapi yang mengandung silika aktif

dapat memberikan pengaruh positif terhadap campuran beton. Pasir pozzolan yang terletak di Desa Beurandeh Kecamatan Mesjid Raya Ujong Batee Kabupaten Aceh Besar ini telah memenuhi syarat sebagai bahan campuran pembentuk beton (Saputra, 2010). Berdasarkan hal tersebut diatas, maka diperlukannya penelitian terhadap penggunaan bahan limbah cangkang sawit dan pasir pozzolan terhadap substitusi material dan sebagai aditif pada campuran beton mutu tinggi.

KAJIAN KEPUSTAKAAN

Beton Mutu Tinggi (BMT)

Beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kekuatan lebih besar dari 41,4 MPa (American Concrete Institute (ACI), 1997). Menurut SNI 03-6468-2000 BMT memiliki kuat tekan lebih besar sama dengan 41,4 MPa dan tercampurkan, terangkutkan, dapat dituang/dilaksanakan dan terpadatkan dengan memadai sehingga menunjukkan kinerja yang sangat baik pada struktur dimana beton terpasang, pada lingkungan dimana beton terekspos dan beban yang bekerja pada beton tersebut

Material Penyusun Beton Mutu Tinggi

1. Semen Portland

Menurut Widodo dkk (2009), semen adalah suatu jenis bahan yang memiliki sifat kohesif (*cohesive*) dan adhesif (*adhesive*) yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat. Semen merupakan bahan yang jadi dan mengeras dengan adanya air yang dinamakan

semen hidroaulis (*hydraulic cements*).

2. Agregat kasar (split)

Agregat kasar adalah agregat yang semua butirnya tertahan saringan: 4,80 mm (SII.0052-1980), 4,75 mm (ASTM C33,1982), 5.00 mm (BS.812,1976). Agregat kasar yang baik untuk pengikatan dengan pasta dan mortar semen adalah yang bertekstur cukup kasar, bentuk bersudut banyak/kubikal, tidak pipih ataupun panjang.

3. Agregat halus

Menurut Tjokrodinuljo (1996), agregat halus adalah agregat yang berbutir kecil (antara 0,15 mm dan 5 mm). Dalam pemilihan agregat halus harus benar-benar memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Karena sangat menentukan dalam hal kemudahan pengerjaan (*workability*), kekuatan (*strength*), dan tingkat keawetan (*durability*) dari beton yang dihasilkan.

4. Air

Air mempunyai peranan penting terhadap pembuat dan perawatan beton. Air yang ada akan bereaksi dengan semen, dan juga berfungsi sebagai pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Menurut Tjokrodinuljo (1996) kekuatan beton dan daya tahannya berkurang jika air mengandung kotoran. Pengaruh pada beton diantaranya pada lamanya waktu ikatan awal serta kekuatan beton setelah mengeras. Adanya lumpur dalam air diatas 2 gram/liter dapat mengurangi kekuatan beton. Air dapat memperlambat ikatan awal beton sehingga beton belum mempunyai kekuatan dalam

umur 2-3 hari.

5. Pasir Pozzolan

Menurut ASTM C 618-91, pozzolan merupakan bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina. Bahan-bahan pozzolan ini tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, dalam bentuknya yang halus dan bila ada air maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi dengan kalsium hidroksida yang dibebaskan dari hasil proses pengikatan semen pada suhu kamar.

6. Superplasticizer

Superplasticizer tersusun atas asam sulfonat yang berfungsi menghilangkan gaya permukaan pada partikel semen sehingga menyebar, melepas air yang terikat pada kelompok partikel semen, untuk menghasilkan *viskositas* (kekentalan) adukan pasta semen atau beton segar yang lebih rendah.

Menurut Nugraheni (2011), *superplasticizer* (*sika viscocrete-10*) adalah bahan tambah kimia (*chemical admixture*) yang melarutkan gumpalan-gumpalan dengan cara melapisi pasta semen, sehingga semen dapat tersebar dengan merata pada adukan beton dan mempunyai pengaruh dalam meningkatkan *workability* beton sampai pada tingkat yang cukup besar. *Superplasticizer* dapat mereduksi air sampai 40% dari campuran awal.

Pengujian Beton Keras

Pengujian kuat tekan dan Modulus Elastisitas

Pengujian kuat tekan beton, menurut SNI 03-1974-1990 adalah dengan menggunakan

alat *compression test machine*. Menurut Murdock dan Brook (1991:96), beton mempunyai kecenderungan berisi rongga akibat adanya gelembung-gelembung udara yang terbentuk selama setelah pengecoran. Kuat tekan beton dapat dihitung:

$$f'_c = \frac{P_{maks}}{A} \quad (1)$$

dimana:

f'_c = Kuat tekan (MPa);
 P_{maks} = Beban Maksimum (N);
 A = Luas penampang benda uji silinder (mm^2).

Menurut Wang dan Salmon (1990), modulus elastisitas (E) dihitung pada saat tegangan mencapai 25% sampai 50% dari kuat tekan (f'_c) beton dan nilai modulus elastisitas yang diperoleh masih termasuk dalam zona elastis yang artinya hubungan tegangan dan regangan masih bersifat linier. Modulus elastisita beton adalah perbandingan antara besarnya kuat tekan rata-rata dengan regangan, sehingga modulus elastisitas dapat dihitung dengan rumus:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2)$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas (N/mm²);
 σ = Tegangan (N/mm²);
 ϵ = Regangan.

Kuat Tarik Belah Beton (f_t)

Menurut Kartini (2007), kuat tarik beton merupakan suatu bagian penting dalam menahan retak akibat perubahan kadar air, suhu dan pembebanan. Kuat tarik beton sangat dipengaruhi oleh lekatan antara pasta semen dengan agregat kasar. Sifat kuat tarik dipengaruhi oleh mutu betonnya. Penentuan

kuat tarik belah beton dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tarik dan benda uji silinder 15 cm x 30 cm dengan prosedur ASTM C 496 – 94, kuat tarik belah beton dapat dihitung :

$$f_t = \frac{2P}{\pi Dt} \quad (3)$$

Dimana:

f_t = Kuat tarik belah (MPa);
 P = Beban maksimum (N);
 D = Diameter benda uji silinder (mm);
 T = Tinggi benda uji silinder (mm).

Kuat tarik lentur (f_r)

Kuat lentur adalah nilai tegangan tarik yang dihasilkan dari momen lentur dibagi dengan modulus penampang benda uji. Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua titik perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan padanya sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam satuan MPa. Pengujian menggunakan metode ASTM C-78. Kuat lentur dihitung dengan persamaan:

$$f_r = \frac{P_{max} L}{bh^2} \quad (4)$$

Dimana:

f_r = kuat lentur (MPa);
 P_{max} = beban maksimum yang mengakibatkan keruntuhan balok uji (N);
 L = panjang bentang diantara kedua tumpuan (mm);
 b = lebar benda uji balok rata-rata pada penampang runtuh (mm);
 h = tinggi benda uji balok rata-rata pada penampang runtuh (mm).

Kuat Geser

Kuat geser beton merupakan kekuatan komponen struktur atas penampang yang

berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktur dan menahan gaya-gaya lateral. Dalam pengujian tidak mungkin menghilangkan elemen lentur (Murdock dkk, 1981). Pengaruh-pengaruh geser yang timbul merupakan efek dari lentur, torsi dan kombinasi torsi dengan lentur (Salmon dkk, 1983). Kondisi geser akibat lentur ditunjukkan dengan timbulnya tegangan-tegangan tarik tambahan di tempat-tempat tertentu pada komponen struktur tertentu. Hal ini terjadi karena kekuatan tarik lentur jauh lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan tekannya, sehingga desain terhadap geser merupakan hal yang sangat penting dalam struktur beton (Nawy, 1990).

Anonim (1971) memberikan suatu pendekatan desain untuk menghitung tegangan geser dalam bentuk persamaan (5) sebagai berikut:

$$v = \frac{V}{b.d} \quad (5)$$

Dimana :

- v = Tegangan geser (MPa);
- V = Gaya geser (N);
- b = Lebar bidang geser (mm);
- d = Tinggi bidang geser (mm).

Absorpsi beton

Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C-1585 “*Measurement of rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concrete*”, untuk menentukan tingkat penyerapan air oleh beton semen hidrolis dengan mengukur peningkatan massa dalam spesimen yang terekspos air.

Menurut Ronald dan Marcell (2011), nilai penyerapan air beton dikategorikan menjadi tiga, yaitu:

1. Low Absorption : <3%;
2. Average absorption : 3% – 5%;
3. High absorption : >5%.

Perhitungan besarnya penyerapan air menggunakan persamaan :

$$\text{Absorpsi} = \frac{B-A}{A} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana:

- A = berat benda uji kering (kg);
- B = berat uji setelah direndam (kg).

Modulus elastisitas

Menurut Rikardus dkk (2013), modulus elastisitas beton adalah kemiringan kurva tegangan regangan beton pada kondisi linier atau mendekati linier. Secara umum, peningkatan kuat tekan beton seiring dengan peningkatan modulus elastisitasnya. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran benda uji. Biasanya nilai modulus elastisitas diambil pada saat tegangan tekan mencapai 25% - 50% dari kuat tekannya. Pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan metode SNI 03-4169-1996.

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen di laboratorium, yang bertujuan untuk menyelidiki kemungkinan adanya hubungan antar variabel, yang dilakukan dengan memberikan suatu perlakuan terhadap objek yang diteliti dan membandingkan hasilnya dengan suatu kelompok obyek yang tidak dikenai perlakuan.

Peralatan yang digunakan

Peralatan utama yang digunakan sebahagian besar telah tersedia di Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan, Fakultas Teknik Unsyiah seperti : ayakan, alat ukur, timbangan, molen pengaduk beton, oven, peralatan pengetesan beton keras, dan peralatan pengetesan beton segar dan peralatan komputer untuk pengolahan data.

Material yang digunakan

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah: semen portland; agregat halus; agregat kasar (*split*); air; sisa pembakaran cangkang sawit dari wilayah Meulaboh; pasir pozzolan dari wilayah Aceh Besar; dan *superplasticizer*.

Semen yang digunakan adalah semen portland Tipe I yang telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 03-2847-2002, dan SNI 15-20490-1994. Agregat halus yang dipakai berukuran di bawah 2 mm yang diambil dari Krueng Aceh dan *split* yang digunakan berukuran lebih kecil dari 12 mm yang diambil dari daerah Blang Bintang.

Pemeriksaan Material

Pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat berdasarkan ASTM, sifat-sifat fisis yang diperiksa meliputi :

1. Berat jenis (ASTM C.128-93).
2. Absorpsi (ASTM C.128-93).
3. Berat volume (ASTM C. 127-88).
4. Analisa saringan (ASTM C. 136-93).

Perencanaan Komposisi Campuran (*Mix Design*)

Pada penelitian ini, perencanaan

komposisi campuran direncanakan mencapai mutu beton dengan kuat tekan sebesar 70 MPa dan faktor air semen 0,3. Perencanaan komposisi campuran untuk membuat beton mutu tinggi mengacu pada penelitian Yusra (2014) yang dimodifikasi pada jumlah pemakaian semen. Modifikasi yang dibuat pada jumlah semen yang digunakan yaitu sebanyak 600 kg/m³, yang sebelumnya sebanyak 550 kg/m³. Untuk agregat kasar digunakan sebanyak 990,46 kg/m³, untuk agregat halus digunakan sebanyak 660,30 kg/m³, jumlah air yang digunakan sebanyak 180 kg/m³, dan *superplasticizer* yang digunakan sebanyak 9 kg/m³.

Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji berdasarkan komposisi campuran yang telah didapat yang telah diuji mutunya mencukupi mutu rencana penelitian yaitu dengan kuat tekan sebesar 70 MPa. Selanjutnya benda uji untuk penelitian ini dibuat sesuai dengan kebutuhan penelitian, yaitu untuk benda uji kuat tekan, kuat geser, kuat tarik belah, kuat lentur dan modulus elastisitas. Jumlah benda uji untuk masing-masing variasi persentase sebanyak 3 buah, dan jumlah benda uji untuk masing-masing variasi umur beton adalah sebanyak 3 buah.

Pengujian Beton Keras

Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton menggunakan metode SNI 03-1974-1990. Benda uji pada pengujian kuat tekan adalah silinder dengan ukuran diameter 15 cm tinggi 30 cm. Pengujian kuat tekan beton dilakukan

pada saat umur 7, 28 dan 56 hari. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban pada benda uji dengan menggunakan mesin Pembebanan *Portable Compression Testing Machine* No. Mic-10-1-12 sampai benda uji hancur.

Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah dilakukan pada benda uji berbentuk silinder ukuran diameter 15 cm tinggi 30 cm pada saat benda uji berumur 28 hari dengan menggunakan metode SNI 03-2491-2002.

Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton

Pengujian kuat tarik lentur dilakukan dengan menggunakan metode ASTM C.39.86. Benda uji pengujian berbentuk balok diameter berukuran lebar 15 cm, tinggi 15 cm dan panjang 60 cm. Pengujian kuat tarik lentur beton dilakukan pada umur beton 28 hari. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin uji sampai benda uji hancur.

Pengujian kuat geser beton

Benda uji untuk pengujian kuat geser beton adalah prisma berdimensi panjang 30 cm, lebar 10 cm dan tinggi 30 cm. Sketsa pengujian kuat geser beton. Pengujian kuat geser murni mengacu standar ASTM dengan beban tekan dari tumpuan. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari. Pengujian dilakukan dengan memberikan pembebanan secara terus menerus pada benda uji sampai benda uji patah.

Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan pada benda uji silinder ukuran Ø15 cm dan tinggi benda uji 30 cm. Pengujian dilakukan

dengan mesin uji tekan. Pada setiap kenaikan pembebanan dicatat perpindahan yang terjadi pada benda uji. Perpindahan yang terjadi pada benda uji silinder diukur dengan menggunakan *transducer* serta besarnya beban setiap interval diukur dengan load cell. Data beban dan perpindahan benda uji yang terjadi ditransfer ke portable data logger model TDS-302 dan diprint pada setiap penambahan beban yang terjadi dengan pembebanan mencapai 60% dari beban maksimum.

Pengujian Absorpsi Beton

Pengujian absorpsi beton dilakukan berdasarkan metode ASTM C 642-97. Pengujian absorpsi beton dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari. Benda uji absorpsi beton adalah kubus berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Kubus untuk benda uji absorpsi didapatkan dari benda uji kuat tarik lentur yang dipotong.

HASIL PEMBAHASAN

Sifat-sifat fisis agregat

Berat Volume

Pengukuran berat volume rata-rata yang diperoleh untuk setiap jenis agregat diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Berat Volume

No	Jenis Agregat	Berat Volume (kg/l)
1	Split Ø 12 mm	1,445
2	Pasir Ø 2,38 mm	1,629
3	Cangkang Sawit Ø 12 mm	0,872
4	Cangkang Sawit Ø 2,38 mm	1,138
5	Pasir Pozzolan Ø 2,38 mm	1,002

Keausan, Berat Jenis Dan Absorpsi

Keausan didapat dengan pengujian menggunakan mesin Los Angeles, Material

yang dimasukkan akan ditumbuk dengan bola besi setelah itu baru dihitung berat lolos saringan. Keausan untuk material cangkang sawit adalah sebesar 4,7 % dan ini sudah memenuhi dari persyaratan keausan yaitu <30%.

Tabel 2. Berat Jenis dan Absorpsi

Jenis Agregat	Berat Jenis		Absorpsi (%)
	SG (SSD)	SG (OD)	
Split Ø 11 mm	2,835	2,820	0,680
Pasir Ø 2,38 mm	2,613	2,553	2,376
Cangkang sawit Ø 11 mm	1,861	1,816	2,530
Cangkang sawit Ø 2,38 mm	1,942	1,927	0,798
Pasir Pozzolan Ø 2,38 mm	2,256	2,115	6,667

Susunan butiran agregat

Data pengujian susunan agregat digunakan untuk melihat susunan butiran agregat yang akan digunakan dalam campuran beton. Nilai fineness modulus agregat dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Fineness Modulus

No	Jenis Agregat	Fineness Modulus
1	Split Ø 11 mm	6,01
2	Pasir Ø 2,38 mm	2,37
3	Cangkang sawit Ø 11 mm	5,8
4	Cangkang sawit Ø 2,38 mm	4,118
5	Pasir Pozzolan Ø 2,38 mm	1,8276

Komposisi kimia pasir pozzolan dan cangkang sawit

Menurut ASTM C 618-91, pozzolan merupakan bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina. Bahan-bahan pozzolan ini tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, dalam bentuknya yang halus dan bila ada air maka senyawa tersebut bereaksi dengan kalsium hidroksida yang dibebaskan dari hasil proses pengikatan semen pada suhu kamar (Muna, 2015). Kandungan komposisi kimia

abu pozzolan alami dapat dilihat pada Tabel 4..

Tabel 4. Komposisi Kimia Abu Pozzolan

No	Parameter Uji	Persentase (%)
1	SiO ₂	24,50
2	P ₂ O ₅	1,20
3	MgO	7,55
4	Alkali (Na)	0,06
5	MgO	98,73

Sumber : Lea's (2001:475)

Kerak boiler cangkang sawit mempunyai massa yang lebih berat dari pada *fly ash* dan mempunyai pori-pori yang relatif banyak.

Rancangan Campuran beton

Pada rancangan campuran beton, ukuran agregat halus yang dipakai adalah sebesar 2 mm dan ukuran maksimum split yang dipakai adalah sebesar 11 mm. Variasi campuran abu pasir pozzolan sebagai aditif pengganti semen adalah sebesar 5%, 10% dan 15% dari berat semen. Untuk pemakaian bongkahan cangkang sawit sebagai substitusi agregat kasar, pecahan cangkang sawit sebagai substitusi agregat halus dan pasir pozzolan sebagai substitusi agregat adalah sebesar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari berat agregat.

Hasil Pengujian Sifat Fisis Beton Mutu Tinggi

Absorpsi Beton

Pengujian absorpsi beton dilakukan berdasarkan ASTM C-1585 "*Measurement of rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concrete*", untuk menentukan tingkat peningkatan massa dalam spesimen yang terekspos air.

Hasil perhitungan absorpsi beton dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6 dibawah ini:

Tabel 5. Hasil Pengujian Absorpsi Beton Variasi Cangkang Sawit dan Pasir Pozzolan Sebagai Substitusi Agregat

Variasi Persentase Campuran	Nilai Absorpsi		
	BCS Sebagai Agregat Kasar	PCS Sebagai Agregat Halus	PP Sebagai Agregat Halus
%	%	%	%
0	2,903	2,903	2,903
10	3,391	3,015	2,314
20	3,417	3,052	2,548
30	3,736	3,128	4,087
40	3,211	3,103	4,887
50	3,696	3,339	5,588

Tabel 6. Hasil Pengujian Absorpsi Beton Variasi Abu Pasir Pozzolan Sebagai Aditif

Variasi Persentase Campuran	Nilai Absorpsi	
	APP Sebagai Aditif	
%	%	
0%	2,903	
5%	4,274	
10%	3,541	
15%	5,490	

Grafik absorpsi beton dapat dilihat pada Gambar 1.

Flow test

Hasil perhitungan *flow test* ditampilkan pada Gambar 2.

Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas

Hasil pengujian kuat tekan diplot kedalam bentuk grafik pada Gambar 3 dengan axis adalah nilai variasi persentase campuran dan ordinat adalah nilai dari kuat tekan dalam satuan MPa. Kuat tekan dilakukan dalam tiga tahap, tahap pertama pada umur beton 7 hari, tahap kedua pada umur beton 28 hari dan tahap ketiga pada umur beton 56 hari. Untuk grafik tegangan regangan dapat dilihat pada Gambar/

Nilai tegangan dan regangan beton dapat dilihat pada Gambar 4.

Kuat Tarik Belah

Nilai kuat tarik belah dengan pemakaian bongkahan cangkang sawit sebagai substitusi agregat kasar, pecahan cangkang sawit sebagai substitusi agregat halus, pasir pozzolan sebagai substitusi agregat halus dan abu pozzolan sebagai aditif diplot ke dalam grafik pada Gambar 5.

Kuat Tarik Lentur

Dari hasil perhitungan kuat lentur pada pemakaian pecahan cangkang sawit sebagai substitusi agregat halus menunjukkan nilai kuat lentur lebih kecil dari pada nilai kuat tarik lentur non variasi. Grafik kuat tarik lentur dapat dilihat pada Gambar 6. Pemakaian pecahan cangkang sawit sebagai substitusi agregat halus menghasilkan nilai kuat tarik lentur lebih rendah dari pada nilai kuat tarik lentur benda uji kontrol, itu berlaku untuk semua persentase. Nilai kuat tarik lentur maksimum yang didapat pada Pemakaian pecahan cangkang sawit sebagai substitusi agregat halus adalah sebesar 4,95 MPa. lebih kecil 1,91 MPa dari pada nilai kuat tarik lentur benda uji kontrol.

Kuat Geser Murni

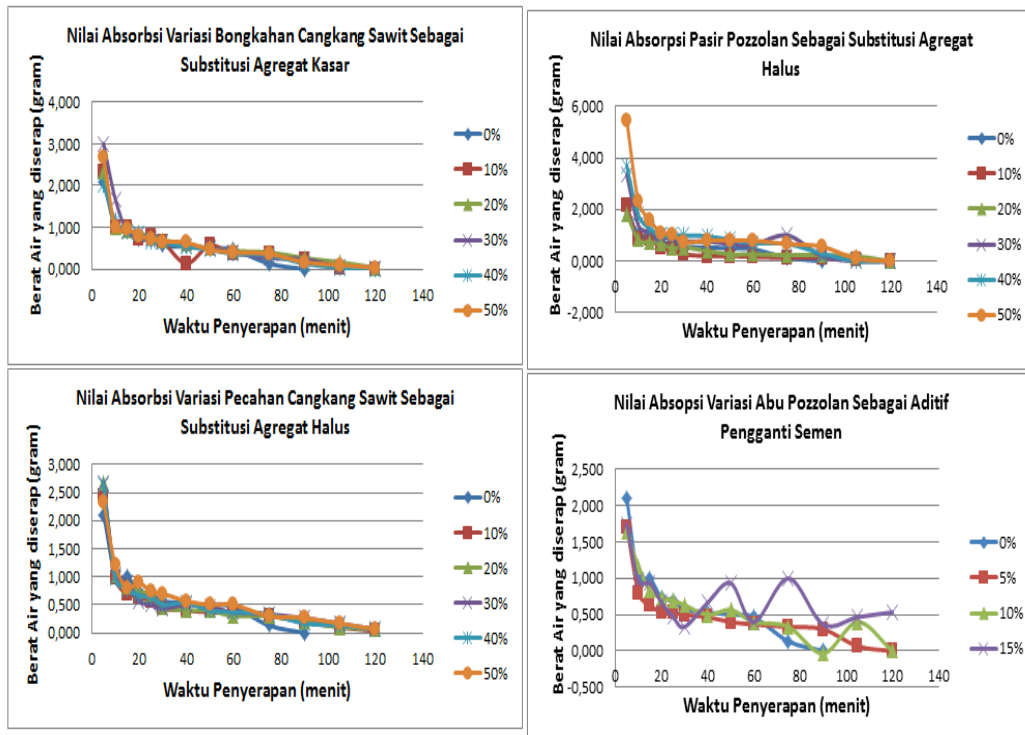
Pengujian kuat geser murni dilakukan pada umur beton 28 hari. Hasil perhitungan pengujian kuat geser murni diplot dalam bentuk batang pada Gambar 7.

Hubungan Kuat Tarik Lentur – Kuat Tekan Beton

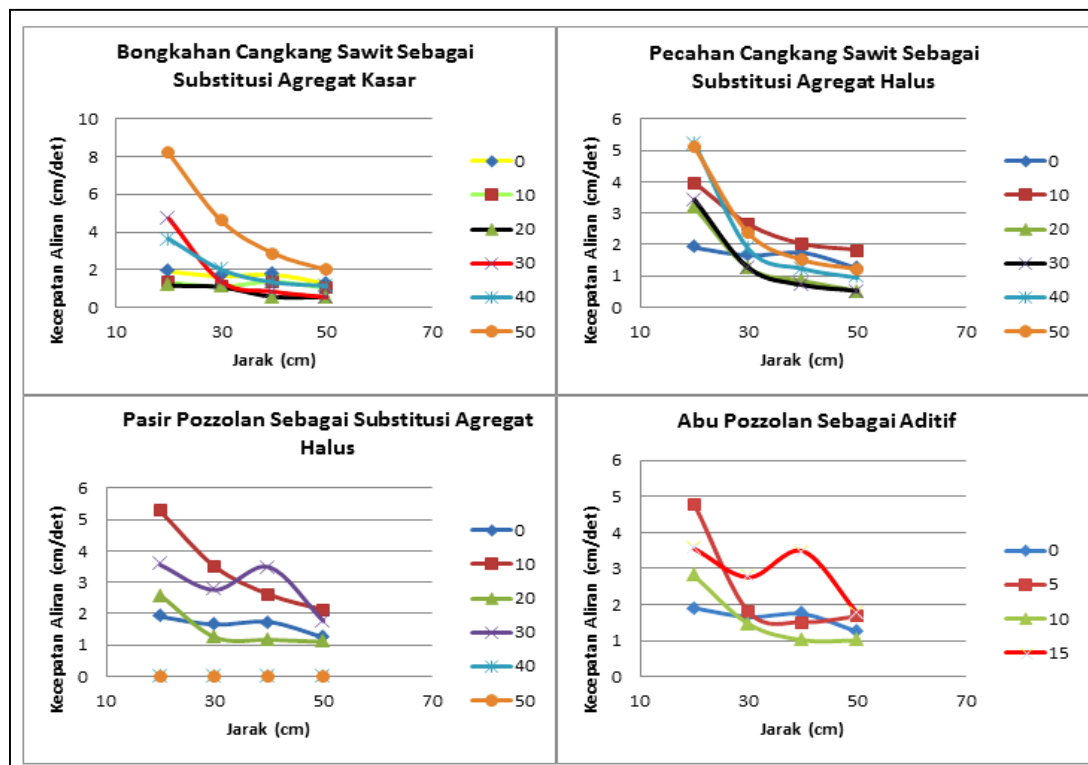
Grafik hubungan kuat tarik lentur terhadap kuat tekan dapat dilihat pada gambar 8. Gambar 8 menjelaskan koefisien batasan

tarik lentur untuk variasi pemakaian bongkahan cangkang sawit sebagai substitusi agregat kasar yaitu $0,09 - 0,013\sqrt{f'c}$; pecahan cangkang sawit sebagai substitusi agregat

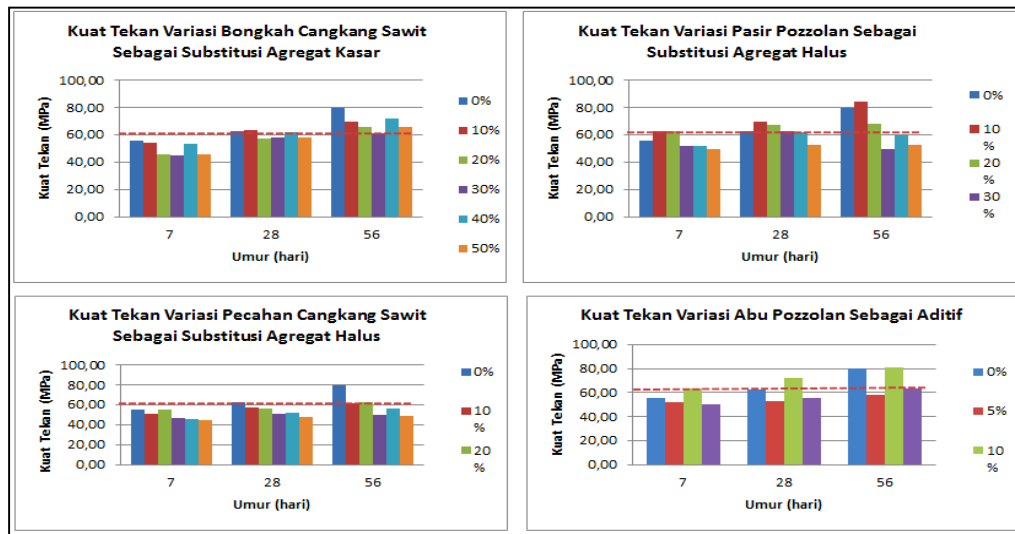
halus yaitu $0,06 - 0,01\sqrt{f'c}$; pasir pozzolan sebagai substitusi agregat halus yaitu $0,06 - 0,01\sqrt{f'c}$; pemakaian abu pozzolan sebagai aditif yaitu $0,12 - 0,15\sqrt{f'c}$.



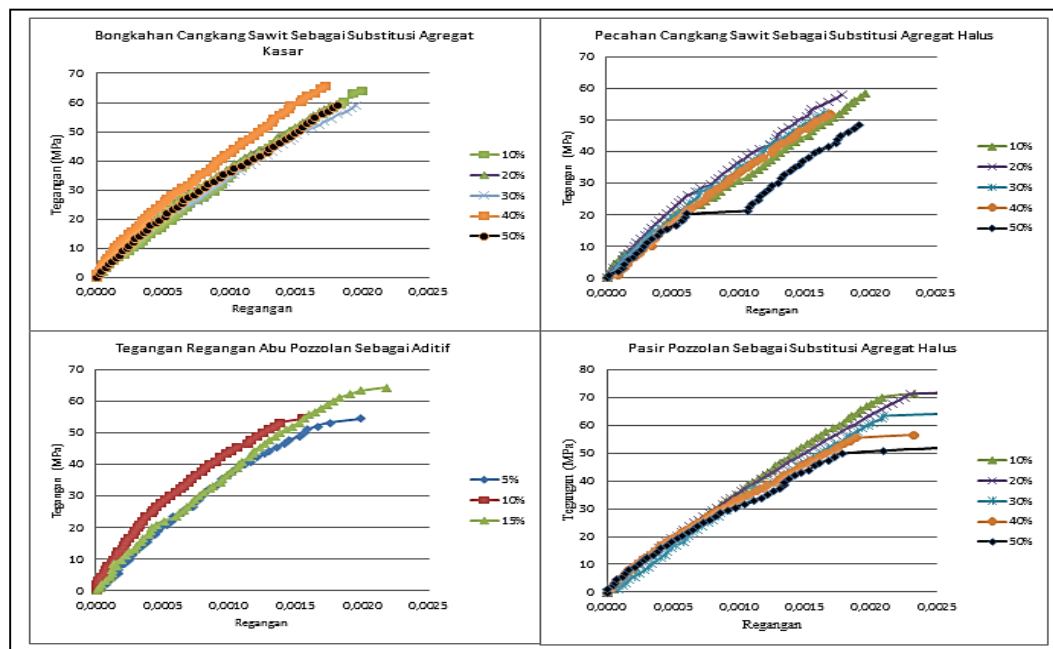
Gambar 1. Grafik Absorpsi Beton



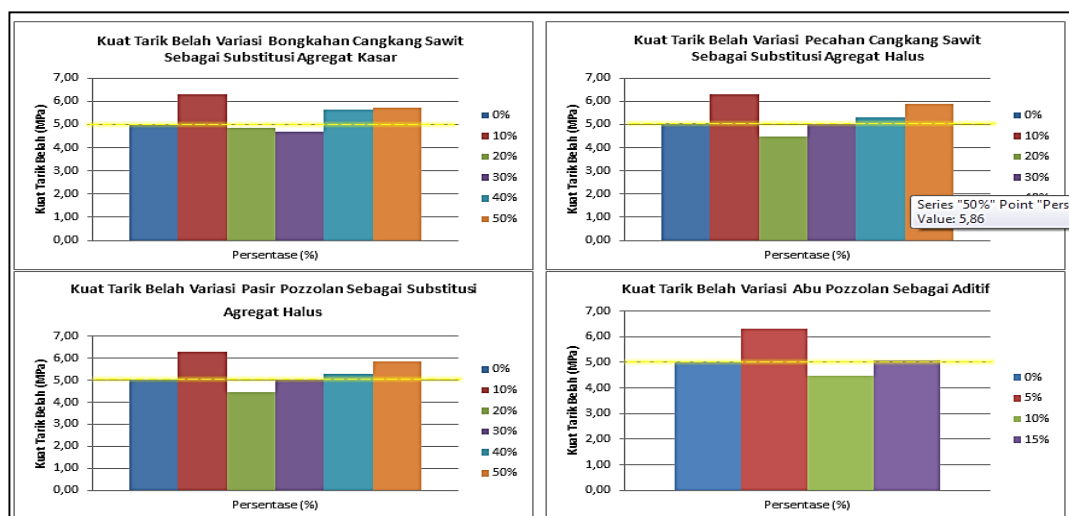
Gambar 2. Grafik Flow Test



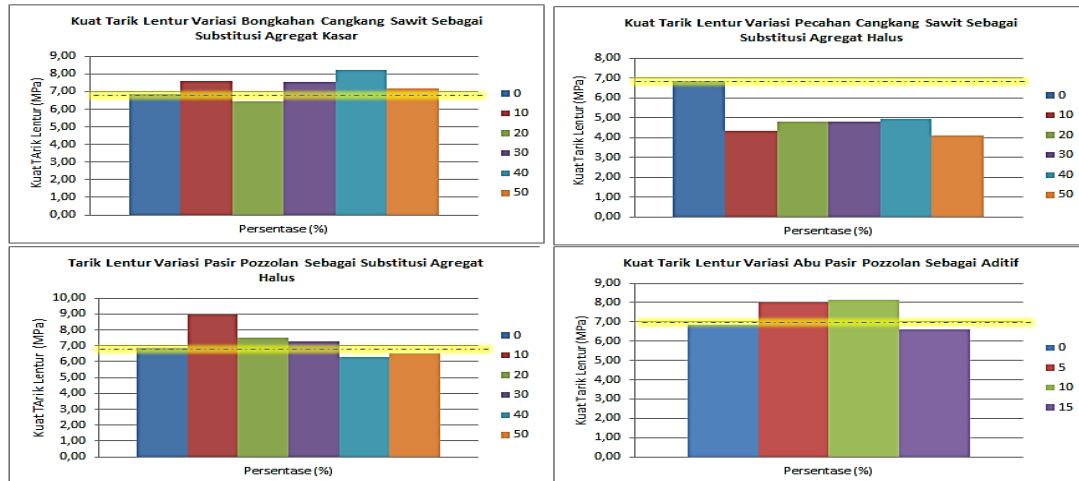
Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Beton



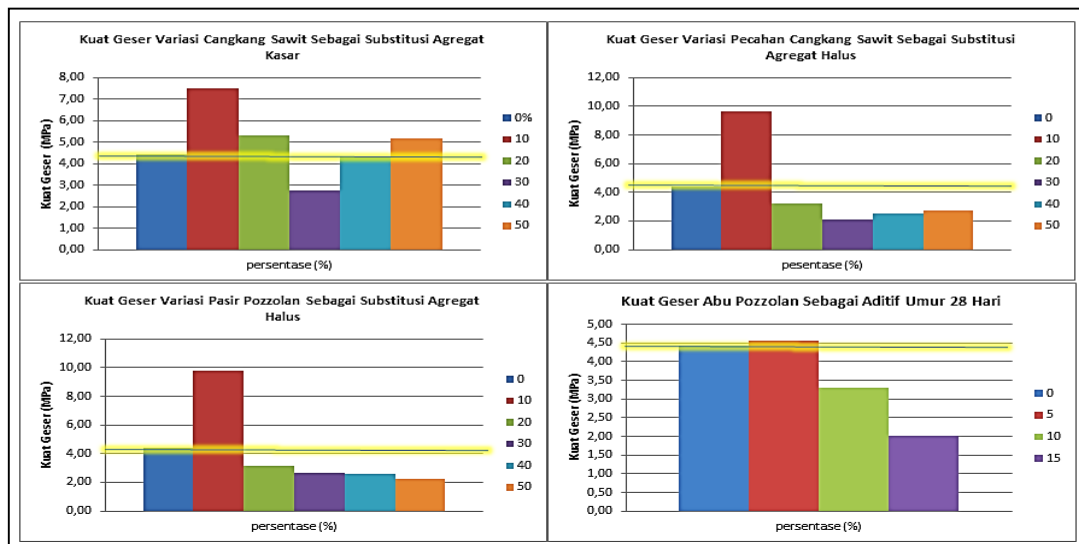
Gambar 4. Grafik Tegangan Regangan



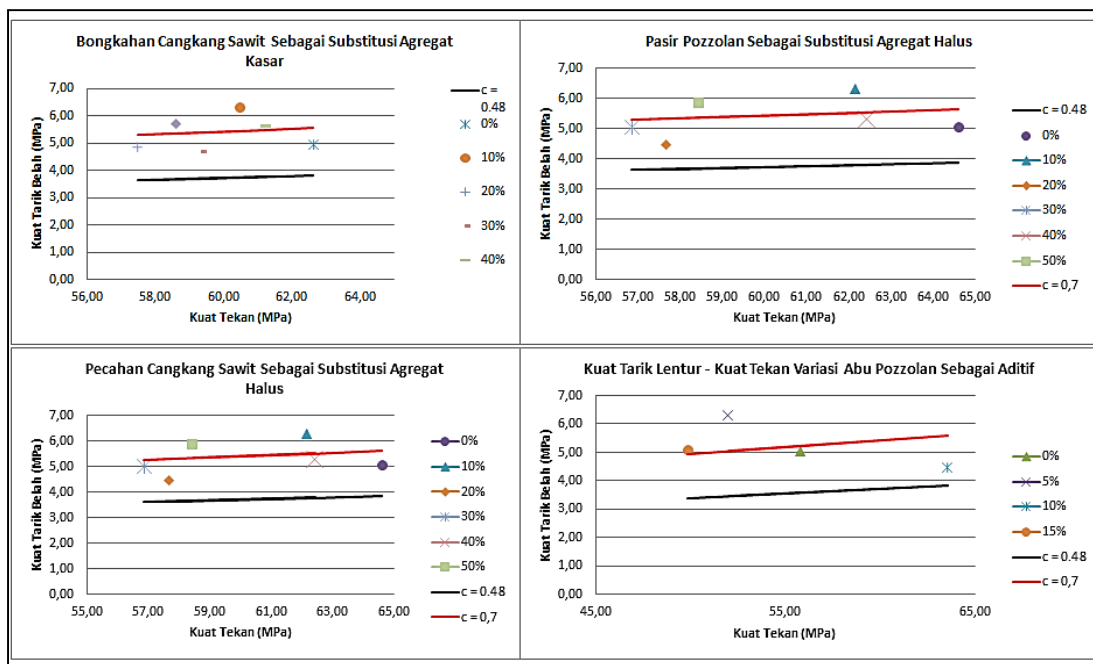
Gambar 5. Grafik Kuat Tarik Belah



Gambar 6. Grafik Kuat Tarik Lentur



Gambar 7. Grafik Kuat Geser Murni



Gambar 8. Grafik Hubungan Kuat Tarik Lentur Terhadap Kuat Tekan

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian pengaruh substitusi parsial agregat dan aditif terhadap sifat mekanis beton mutu tinggi (penggunaan limbah cangkang sawit dan pasir pozzolan alami) adalah sebagai berikut:

1. Hasil absopsi minimum beton pada pemakaian material bongkah cangkang sawit sebagai substitusi agregat kasar sebesar 3,21%; pemakaian pecahan cangkang sawit sebagai substitusi agregat halus sebesar 3,01%; pasir pozzolan sebagai substitusi agregat halus sebesar 2,31%; pemakaian abu pozzolan sebagai aditif sebesar 2,90%.
2. Dari hasil kajian eksperimental pemakaian bongkahan cangkang sawit dan pasir pozzolan sebagai substitusi serta pemakaian abu pozzolan sebagai aditif dapat meningkatkan nilai kuat tekan. Persentase optimum pemakaian bongkahan cangkang sawit sebagai substitusi agregat kasar dan pasir pozzolan sebagai substitusi agregat halus adalah sebesar 10%, sedangkan untuk persentase optimum pemakaian abu pozzolan sebagai aditif adalah sebesar 10%.
3. Dari hasil eksperimental pemakaian bongkahan cangkang sawit sebagai substitusi agregat kasar, pemakaian pecahan cangkang sawit dan pasir pozzolan sebagai substitusi agregat halus serta pemakaian abu pozzolan sebagai aditif pada pembuatan beton mutu tinggi

dapat meningkatkan nilai kuat tarik belah. Persentase optimum pemakaian material sebagai substitusi adalah sebesar 10% sedangkan persentase pemakaian untuk aditif adalah sebesar 5%.

Saran

Hasil penelitian ini diharapkan dapat berguna bagi keilmuan tentang bahan bangunan serta penerapan secara praktis dilapangan. Diharapkan penelitian lanjutan dapat dilakukan oleh peneliti lainnya, terutama pada beberapa permasalahan berikut:

1. Mencari alternatif agregat lainnya, juga menggunakan agregat kasar dengan ukuran yang lebih besar.
2. Penelitian lanjutan dapat dilakukan pada perilaku panas hidrasi dengan menggunakan Metode Adiabatic Kalorimeter.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Anonim, 1971, Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (NI-2), Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, Bandung.
- ASTM-C127-88 (1993) Standar Test Methode for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate
- ACI Committee 116R-90.1995. Cemen and Concrete Terminology. American Concrete Institute Part 1, Detroit, 2 pp
- Adi Rahwanto, Mustanir Yahya,

- Zulkarnain Jalil, 2013., Magnetic Behavior fo natural Fe₂O₃ from Lhoong Mining Area, Aceh Province, Indonesia.
- ASTM- C33-99ae1 Standar Specification for Concrete Aggregates
- ASTM – Standar Test Method for Specify Gravity and Absorption of fine Aggregate
- ASTM-C136-96a Standar Test Methode for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregate
- ASTM-c140-99b Standar Test Methods of Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units
- ACI Commitee 211, 1997, Standar Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavy Weight, and Mass Concrete, ACI 211.1-91, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan
- Anonim, 2009, Buku Panduan Penulisan Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh
- Dipohusodo, I. 1996. Struktur Beton Bertulang berdasarkan SK-SNIT-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum RI. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Istimawan Dipohusodo, 1994, Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T 15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum RI, Gramedia Pustaka Utama
- Lauw Tjun Nji, Sipil dan Konstruksi, <http://lauwtjunji.weebly.com/sipil-konstruksi.html>
- Lauw Tjunji. Weebly.com/aggregate-kasar-parameter.html.
- Mulyono, Tri., 2005, Teknologi Beton, Penerbit Andi Yogyakarta
- Mardiono, 2011, Pengaruh Pemamfaatan Abu Terbang (fly Ash) dalam Beton Mutu Tinggi, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gunadarma Jakarta
- Oriza Rizky, 2015, Sifat Mekanis Beton Mutut Tinggi Menggunakan Pasir Besi, Kerak Boiler Cangkang Sawit Dan Pasir Pozzolan Sebagai Substitusi Agregat Halus
- Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 03-6468-200 Pd T-18-1999-03, 2010, Tata cara Perencanaan Campuran Beton Berkekuatan Tinggi dengan Semen Portland dan Abu Terbang”, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta
- Tjokrodimuljo, K. 1996, Teknologi Beton. Buku Ajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada
- Wang, C. K., dan Salmon, C. G., 1986, Disain Beton Bertulang, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta