

**STUDI KUAT TEKAN, POROSITAS, DAN PERMEABILITAS
BETON POROUS DENGAN SUBTITUSI ABU ARANG
TEMPURUNG KELAPA TERHADAP BERAT SEMEN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana
Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil
Universitas Islam Riau
Pekanbaru

Oleh :

KIKI HARIADI

143110735

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU**

2019

HALAMAN PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

**STUDI KUAT TEKAN, POROSITAS, DAN PERMEABILITAS BETON
POROUS DENGAN SUBSTITUSI ABU ARANG TEMPURUNG
KELAPA TERHADAP BERAT SEMEN**

DISUSUN OLEH

KIKI HARIADI

NPM. 143110735

Diperiksa dan Disetujui oleh :

Sri Hartati Dewi, ST., MT
Pembimbing I


Tanggal :

Harmiyati, ST., M.Si
Pembimbing II


Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

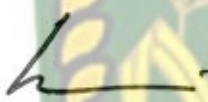
STUDI KUAT TEKAN, POROSITAS, DAN PERMEABILITAS BETON
POROUS DENGAN SUBSTITUSI ABU ARANG TEMPURUNG
KELAPA TERHADAP BERAT SEMEN

DISUSUN OLEH :

KIKI HARIADI
NPM. 143110735

Telah Disetujui Didepan Dewan Penguji Tanggal 02 Desember 2019 Dan
Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Untuk Diterima

SUSUNAN DEWAN PENGUJI


Sri Hartati Dewi, ST., MT
Dosen Pembimbing I


Harmiyati, ST., M.Si
Dosen Pembimbing II

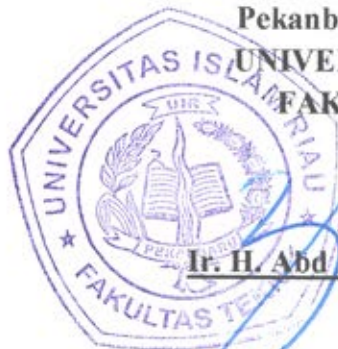

Dr. Elizar, ST., MT
Dosen Penguji


Roza Mildawati, ST., MT
Dosen Penguji

Pekanbaru, 02 Desember 2019

UNIVERSITAS ISLAM RIAU
FAKULTAS TEKNIK


Ir. H. Abd Kudus Zaini, MT., MS., Tr.
Dekan



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademi (Strata Satu), di Universitas Islam Riau.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan tidak kebenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Pekanbaru, Desember 2019

Yang Bersangkutan Pernyataan



Kiki Hariadi

NPM. 143110735

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Studi Kuat Tekan, Porositas, dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Subtitusi Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Berat Semen”**. Adapun penulisan tugas akhir dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan kurikulum akademis untuk menyelesaikan program studi (Strata I) pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Riau.

Dalam membuat beton hendaknya terlebih dahulu membuat rancangan campuran beton (*mix design*), untuk mengetahui kuat tekan beton yang direncanakan untuk sebuah bangunan. Maka penelitian ini membuat rancangan beton untuk mengetahui perilaku kuat tekan beton menggunakan penambahan abu arang tempurung kelapa sebagai substitusi terhadap berat semen.

Penulis mengakui bahwa kesempurnaan itu hanya milik Tuhan Yang Maha Esa. Untuk itu, dengan kelapangan hati penulis menerima kritik dan saran yang membangun guna kesempurnaan dalam pembuatan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Pekanbaru, Oktober 2019

Kiki Hariadi
NPM. 143110735

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga Tugas Akhir ini dengan judul **“Studi Kuat Tekan, Porositas, dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Substitusi Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Berat Semen”** dapat diselesaikan. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

Atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, SH., MCL, selaku Rektor Universitas Islam Riau-Pekanbaru.
2. Bapak Ir. H. Abdul Kudus Zaini., MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau-Pekanbaru.
3. Ibu Dr. Kurnia Hastuti, ST., MT, selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Riau-Pekanbaru.
4. Bapak M. Ariyon, ST., MT, selaku Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Islam Riau-Pekanbaru
5. Bapak Ir. Syawaldi, M.Sc, selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Islam Riau-Pekanbaru.
6. Ibu Dr. Elizar, ST., MT selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Islam Riau-Pekanbaru dan selaku tim penguji
7. Ibu Sri Hartati Dewi, ST., MT selaku Pembimbing I
8. Ibu Harmiyati, ST., M.Si selaku Pembimbing II
9. Ibu Roza Mildawati, ST., MT, selaku tim penguji
10. Bapak Muchammad Zaenal Muttaqin, ST., M.Sc sebagai Kepala Laboratorium dan semua karyawan/i Laboratorium Universitas Islam Riau-Pekanbaru.
11. Seluruh staf dosen Prodi Teknik Sipil Universitas Islam Riau-Pekanbaru.

12. Seluruh staf dan karyawan/i T.U Fakultas Teknik Universitas Islam Riau-Pekanbaru.
13. Seluruh staf dan karyawan/i Perpustakaan Teknik Universitas Islam Riau-Pekanbaru.
14. Buat orang tua tercinta Joni dan Indrawati, terimakasih sebanyak - banyaknya atas do'a dan dukungan yang telah diberikan.
15. Buat keluarga dr. Fernando Gazali, Ir. Abdul Majid, dan Herianto S. Kom, terimakasih sebanyak – banyaknya atas dukungannya.
16. Buat kawan – kawan yang telah membantu di Laboratorium terutama Miswarti, ST,. MT, M Hadi Herianto, Rozana, Siti Aminah Pohan S.T, Siti Kurniasyih, Adi Nurhakim S.T, dan Anggi Yonda Putra. Terimakasih banyak.
17. Buat kawan – kawan diluar kampus Melly Permata Sari A.Md Keb dan Olivia Carissa, terimakasih.
18. Teman dan rekan-rekan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau seluruh angkatan dan khususnya angkatan 2014 yang telah memberikan dorongan, kritik dan saran serta ide-ide dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, serta pihak-pihak lain yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengharapkan keritik dan saran dari semua pihak yang sifatnya membangun.

Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan untuk pembaca pada umumnya.

Pekanbaru, 05 November 2019

KIKI HARIADI

143110735

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	i
UCAPAN TERIMA KASIH	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR NOTASI.....	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
ABSTRAK	xi
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1 Umum	5
2.2 Penelitian Terdahulu	5
2.3 Keaslian Penelitian.....	7
 BAB III LANDASAN TEORI.....	 8
3.1 Umum	8
3.2 Beton Porous	8
3.3 Material Penyusun Beton Porous	10
3.3.1 Semen Portland	10
3.3.2 Agregat.....	13

3.3.3 Air.....	17
3.3.4 Bahan Tambahan.....	20
3.4 Pengujian Material.....	21
3.4.1 Analisa Saringan Agregat Kasar.....	21
3.4.2 Berat Isi Agregat Kasar.....	22
3.4.3 Berat Jenis Penyerapan Air Agregat Kasar.....	23
3.4.4 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar.....	25
3.4.5 Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar.....	26
3.5 Perancangan Beton.....	26
3.6 <i>Slump Test</i>	30
3.7 Perawatan Beton.....	31
3.7.1 Tujuan Perawatan Beton.....	31
3.7.2 Metode Perawatan Beton.....	32
3.8 Kuat Tekan Beton.....	33
3.9 Porositas.....	36
3.10 Permeabilitas.....	37
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN.....	39
4.1 Lokasi Penelitian.....	39
4.2 Bahan Penelitian.....	39
4.3 Peralatan Penelitian.....	39
4.4 Teknik Penelitian.....	47
4.5 Tahap Pelaksanaan Penelitian.....	47
4.6 Tahap Analisa Data.....	48
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	52
5.1 Hasil Pemeriksaan Material Benda Uji.....	52
5.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar.....	52
5.3 Hasil Pemeriksaan Kadar Air.....	53
5.4 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Serta Penyerapan Material.....	53

5.5 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur	54
5.6 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Material.....	54
5.7 Hasil Pemeriksaan Campuran Beton Porous.....	55
5.8 Hasil dan Analisa Nilai <i>Slump</i> Beton.....	55
5.9 Hasil Analisa Kuat Tekan Beton Porous.....	57
5.10 Hasil Analisa Porositas	60
5.11 Hasil Analisa Permeabilitas	62
5.12 Hubungan Antara Kuat Tekan, Porositas, dan Permeabilitas ..	64
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
6.1 Kesimpulan.....	67
6.2 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN A.....	A-1
LAMPIRAN B.....	B-1
LAMPIRAN C.....	C-1
LAMPIRAN D.....	D-1
LAMPIRAN KUMPULAN SURAT-SURAT	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Komposisi Bahan Utama Semen	11
Tabel 3.2	Kandungan Tempurung Kelapa.....	20
Tabel 3.3	Kandungan Arang Tempurung Kelapa.....	21
Tabel 3.4	Faktor pengali untuk deviasi standar	27
Tabel 3.5	Nilai <i>slump</i> untuk pekerjaan beton	31
Tabel 3.6	Perkembangan kuat tekan untuk semen <i>PCC</i> tipe I	34
Tabel 3.7	Kuat Tekan Beton Berpori.....	34
Tabel 3.8	Nilai Rongga Beton Non – Pasir	37
Tabel 3.9	Permeabilitas Beton Porous.....	38
Tabel 4.1	Jumlah Benda Uji Penelitian	47
Tabel 5.1	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Persentase Lolos Agregat Kasar ½”	52
Tabel 5.2	Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat 1/2	53
Tabel 5.3	Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Serta Penyerapan Material	53
Tabel 5.4	Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat.....	54
Tabel 5.5	Berat Isi Agregat.....	54
Tabel 5.6	Proporsi Campuran Beton (<i>Mix Design</i>) Untuk 3 Benda Uji Silinder Ukuran 15 cm x 30 cm Sesudah Koreksi Kadar Air SSD (<i>Saturated Surface Dry</i>)	55
Tabel 5.7	Nilai Slump.....	56
Tabel 5.8	Hasil Uji Kuat Tekan Beton Porous Tanpa Abu Arang Tempurung Kelapa.....	58
Tabel 5.9	Hasil Pengujian Porositas	60
Tabel 5.10	Hasil Pengujian Permeabilitas Beton Porous	62
Tabel 5.11	Hubungan Antara Kuat Tekan, Porositas dan Permeabilitas.....	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1	Cawan.....	40
Gambar 4.2	Oven.....	40
Gambar 4.3	Batang Penusuk	41
Gambar 4.4	Penggaris.....	41
Gambar 4.5	Saringan	42
Gambar 4.6	Wadah	42
Gambar 4.7	Timbangan	43
Gambar 4.8	Kerucut Uji <i>Slump</i>	43
Gambar 4.9	Cetakan Silinder	44
Gambar 4.10	Mesin Uji Tekan	44
Gambar 4.11	Mesin Molen.....	45
Gambar 4.12	Alat Uji Permeabilitas.....	45
Gambar 4.13	Drum Besi	46
Gambar 4.14	Palu	46
Gambar 4.15	Bagan Alir Penelitian	51
Gambar 5.1	Grafik Pengaruh Substitusi Persentase Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Berat Semen Kepada Nilai Slump	57
Gambar 5.2	Grafik Pengaruh Substitusi Persentase Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton Porous Pada Umur 28 Hari.....	59
Gambar 5.3	Grafik Persentase Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Porositas Beton Porous	61
Gambar 5.4	Grafik Persentase Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Permeabilitas Beton Porous	63
Gambar 5.5	Hubungan Kuat Tekan, Porositas dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Substitusi Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Berat Semen.....	65

DAFTAR NOTASI

A	= Jumlah air yang dibutuhkan (ltr/m^3)
ACI	= <i>American Concrete Institute</i>
A_k	= Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat batu pecah (liter/m^3)
$ASTM$	= <i>American Standard For Testing Material</i>
B	= Jumlah air
BA	= Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)
BK	= Berat benda uji kering oven (gram)
BNP	= Beton Non - Pasir
BS	= <i>British Standard</i>
D	= Jumlah agregat kasar (Kg/cm^3)
Da	= Penyerapan air pada agregat kasar (%)
Dk	= Kandungan air dalam agregat kasar (%)
$F.A.S$	= Faktor air semen
f'_c	= Kuat tekan beton (MPa)
$f_{c'r}$	= Kuat tekan beton rata – rata beton dari jumlah benda uji (MPa)
$f_{c'k}$	= Kuat tekan beton karakteristik (MPa)
K	= Ketetapan Konstanta
M	= Nilai tambah margin ($1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ Mpa}$)
MPa	= Mega Pascal ($1 \text{ Mpa} = 10 \text{ Kg/cm}^3$)
$n-1$	= Jumlah Benda Uji.
N/mm^2	= Newton/ mm^2 ($1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ Mpa}$)
P	= Beban aksial yang bekerja (KN)
S	= Standar deviasi (MPa)
SII	= Standar Industri Indonesia
SSD	= Koreksi kadar air (<i>Saturated surface dry</i>)
SNI	= Standar Nasional Indonesia
Wh	= Perkiraan air untuk agregat halus
Wk	= perkiraan air untuk agregat kasar

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A.....	A-1
LAMPIRAN B.....	B-1
LAMPIRAN C.....	C-1
LAMPIRAN D.....	D-1
LAMPIRAN KUMPULAN SURAT-SURAT	



STUDI KUAT TEKAN, POROSITAS, DAN PERMEABILITAS BETON POROUS DENGAN SUBSTITUSI ABU ARANG TEMPURUNG KELAPA TERHADAP KUAT BERAT SEMEN

KIKI HARIADI

143110735

Abstrak :

Salah satu inovasi yang sedang dilakukan dalam dunia konstruksi adalah beton non pasir. Beton non pasir merupakan jenis beton ringan yang dibuat tanpa menggunakan agregat halus (pasir). Tidak adanya agregat halus dalam campuran menghasilkan beton yang berpori sehingga beratnya menjadi berkurang. (Tjokrodimulyo, 2007). Pada umumnya limbah tempurung kelapa jarang dimanfaatkan oleh masyarakat sehingga hancur kembali ke alam tanpa memberi manfaat yang ekonomis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dan kelayakan pemanfaatan abu arang tempurung kelapa terhadap kuat tekan, porositas, dan permeabilitas beton porous.

Mix design yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada buku beton non – pasir (Trisnoyuwono, 2014) dengan memanfaatkan persentase substitusi abu arang tempurung kelapa sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% terhadap berat semen, menggunakan total 30 buah benda uji dengan perawatan dalam bak perendam. Dilakukan analisis kuat tekan, porositas dan permeabilitas beton pada umur 28 hari. Benda uji mempunyai dimensi silinder 15 cm x 30 cm.

Hasil penelitian ini menunjukkan kuat tekan untuk persentase substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen 0% adalah 5,86 MPa, persentase 2,5% adalah 4,91 MPa, persentase 5% adalah 4,54 MPa, persentase 7,5% adalah 4,07 MPa, persentase 10% adalah 3,79 MPa. Sehingga beton porous yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi persyaratan kuat tekan beton porous menurut (NRMCA, 2011) dan (ACI 522R – 10). Sedangkan untuk porositas pada persentase substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen 0%, 2,5%, 5%, 7,5% dan 10% semuanya memenuhi persyaratan menurut (Trisnoyuwono, 2014). Beton porous dengan substitusi abu arang tempurung kelapa 0% terhadap berat semen memenuhi syarat permeabilitas berdasarkan (NRMCA, 2011) dan (ACI 522R – 10), sedangkan untuk persentase substitusi abu arang tempurung kelapa 2,5%, 5%, 7,5% dan 10% terhadap berat semen melewati batas maksimal permeabilitas. Sehingga penggunaan abu arang tempurung kelapa tidak efektif sebagai substitusi terhadap berat semen karena dapat mengurangi kuat tekan, namun dapat meningkatkan porositas dan permeabilitas.

Kata kunci: Beton porous, *mix design*, substitusi, kuat tekan, porositas, permeabilitas

STUDY OF COMPRESSIVE STRENGTH, POROSITY, AND PERMEABILITY OF POROUS CONCRETE USING COCONUT SHELL CHARCOAL ASH SUBSTITUTION ON CEMENT WEIGHT

KIKI HARIADI

143110735

Abstract :

One of the innovations being carried out in the construction world is non-sand concrete. Non-sand concrete is a type of lightweight concrete that is made without using fine aggregate (sand). The absence of fine aggregate in the mixture results in porous concrete so that the weight is reduced. (Tjokrodimulyo, 2007). In general, coconut shell waste is rarely used by the community so that it is destroyed back to nature without providing economic benefits. This study aims to determine the effect and feasibility of using coconut shell charcoal ash on compressive strength, porosity, and permeability of porous concrete.

The mix design used in this study refers to a non-sand concrete book (Trisnoyuwono, 2014) by utilizing the percentage of substitution of coconut shell charcoal ash by 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, and 10% by weight of cement, using a total of 30 test specimens with treatment in a soaking tub. Compressive strength, porosity and permeability analyzes were carried out at 28 days. The test specimen has a cylinder dimension of 15 cm x 30 cm.

The results of this study indicate the compressive strength for the percentage of coconut shell charcoal ash substitution to 0% cement weight is 5.86 MPa, 2.5% percentage is 4.91 MPa, 5% percentage is 4.54 MPa, percentage 7.5% is 4.07 MPa, the percentage of 10% is 3.79 MPa. So that the porous concrete used in this study meets the compressive strength requirements of porous concrete according to (NRMCA, 2011) and (ACI 522R - 10). As for porosity in the percentage of substitution of coconut shell charcoal ash to cement weight of 0%, 2.5%, 5%, 7.5% and 10% all meet the requirements according to (Trisnoyuwono, 2014). Porous concrete with substitution of coconut shell charcoal ash 0% to the weight of cement meets the permeability requirements based on (NRMCA, 2011) and (ACI 522R - 10), while for the percentage of substitution coconut shell charcoal ash 2.5%, 5%, 7.5% and 10% by weight of cement exceeds the maximum permeability limit. So that the use of coconut shell charcoal ash is not effective as a substitute for the weight of cement because it can reduce the compressive strength, but can increase porosity and permeability.

Keywords : Porous concrete, mix design, substitution, compressive strength, porosity, permeability

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia konstruksi sebagian besar material mempergunakan material yang tersedia di alam salah satu contohnya dalam pembuatan beton. Material penyusun beton terdiri dari bahan semen *hidrolik*, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah (Mulyono, 2004). Menurut SNI T-15-1990-03, beton adalah campuran dari semen *portland* atau semen *hidrolik* yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan membentuk massa padat.

Salah satu inovasi yang sedang dilakukan adalah beton non pasir. Beton non pasir merupakan jenis beton ringan yang dibuat tanpa menggunakan agregat halus (pasir). Tidak adanya agregat halus dalam campuran menghasilkan beton yang berpori sehingga beratnya menjadi berkurang. (Tjokrodimulyo, 2007)

Beton non pasir adalah campuran antara semen, air, dan agregat kasar berukuran tunggal yang dikombinasikan untuk mendapatkan bahan struktural berpori. Beton non pasir memiliki volume pori tinggi yang menyebabkan kekuatannya rendah dan bersifat ringan. Beton non pasir memiliki berbagai macam nama yang berbeda diantaranya adalah beton tanpa agregat halus (*zero-fines concrete*), beton yang dapat tembus (*pervious concrete*), dan beton berpori (*porous concrete*). (Harber, 2005)

Aplikasi umum untuk penggunaan beton porous adalah untuk lapangan parkir, trotoar, jalan setapak, lapangan tenis, taman, stabilisasi lereng, teras kolam renang, lantai rumah kaca, area kebun binatang, bahu jalan, drainase, peredam kebisingan, lapisan permukaan untuk perkerasan jalan raya, lapisan permeabel dibawah perkerasan beton, dan jalan dengan volume lalu lintas rendah. Beton yang dapat tembus pada umumnya tidak digunakan sebagai perkerasan dengan lalu lintas padat dan beban roda berat. (Obla, 2007)

Pada umumnya limbah tempurung kelapa jarang dimanfaatkan oleh masyarakat sehingga hancur kembali ke alam tanpa memberi manfaat yang ekonomis. Dalam kehidupan sehari – hari khususnya di Pasar Syariah, sering dijumpai limbah tempurung kelapa yang terbuang begitu saja. Oleh karena itu penulis tertarik menggunakan tempurung kelapa dari limbah Pasar Syariah yang beralamat di Jalan Pasir Putih, Kampar. Sehingga tempurung kelapa dapat bermanfaat bagi masyarakat terutama dibidang pembangunan.

Berdasarkan latar belakang tersebut penulis melakukan penelitian teknologi beton dengan judul **“Studi Kuat Tekan, Porositas, dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Subtitusi Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Berat Semen”**.

1.2. Rumusan Masalah

Dengan memanfaatkan abu arang tempurung kelapa sebagai bahan tambah pengganti pasir dalam penggunaan beton porous dapat diambil suatu rumusan masalah, yaitu :

1. Bagaimana kuat tekan beton porous menggunakan subtitusi abu arang tempurung kelapa dengan campuran 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% terhadap berat semen ?
2. Bagaimana porositas beton porous menggunakan subtitusi abu arang tempurung kelapa dengan campuran 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% terhadap berat semen?
3. Bagaimana permeabilitas beton porous menggunakan subtitusi abu arang tempurung kelapa dengan campuran 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% terhadap berat semen?
4. Apakah abu arang tempurung kelapa efektif dimanfaatkan sebagai subtitusi terhadap berat semen?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang diharapkan adalah :

1. Untuk mengetahui kuat tekan beton porous menggunakan substitusi abu arang tempurung kelapa dengan campuran 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% terhadap berat semen.
2. Untuk mengetahui porositas beton porous menggunakan substitusi abu arang tempurung kelapa dengan campuran 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% terhadap berat semen.
3. Untuk mengetahui permeabilitas beton porous menggunakan substitusi abu arang tempurung kelapa dengan campuran 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% terhadap berat semen.
4. Untuk mengetahui keefektifan abu arang tempurung kelapa sebagai substitusi terhadap berat semen.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat memberikan sumbangan bagi ilmu pengetahuan khususnya dalam teknologi beton berpori yang memenuhi syarat kekuatan dan lebih ramah lingkungan.
2. Penelitian ini dapat dipakai untuk merancang campuran beton porous dengan menggunakan bahan tambahan abu arang tempurung kelapa.
3. Memberikan nilai tambah terhadap tempurung kelapa dimana selama ini merupakan limbah yang sangat minim pemanfaatannya.
4. Untuk penulis, merupakan suatu pemikiran baru yang perlu terus dikembangkan dan diupayakan untuk disosialisasikan kemasyarakat pemakai beton.

1.5. Batasan Masalah.

Perencanaan beton banyak terdapat masalah-masalah yang sangat luas cakupannya dan dalam hal ini penulis membatasi permasalahan-permasalahan yang akan dikaji yaitu sebagai berikut.

1. Sifat kimia semen dan tempurung kelapa tidak diteliti.
2. Persentase abu tempurung kelapa : 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% sebagai substitusi terhadap berat semen.

3. Benda uji berupa silinder beton dengan ($d = 15 \text{ cm}$ dan $h = 30 \text{ cm}$).
4. Umur beton yang diuji adalah 28 hari.
5. Perawatan beton dengan direndam didalam bak perendam beton Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
6. Campuran beton direncanakan berdasarkan buku beton non – pasir. (Trisnoyuwono, 2014)
7. Penelitian yang dilakukan meliputi kuat tekan, porositas, dan permeabilitas.
8. Setiap variasi pencampuran benda uji sebanyak 3 buah.
9. FAS ditetapkan 0,4.
10. Perbandingan semen dan beton yang digunakan adalah 1 : 6. (Trisnoyuwono, 2014)
11. Nilai kuat tekan berdasarkan National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA, 2011) dan American Concrete Institute (ACI 522R – 10).
12. Nilai porositas berdasarkan (Beton Non Pasir. Trisnoyuwono, 2014).
13. Nilai permeabilitas berdasarkan National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA, 2011) dan American Concrete Institute (ACI 522R – 10).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Beton porous merupakan salah satu inovasi dalam dunia konstruksi yang dalam proses pembuatannya tanpa menggunakan pasir serta dapat menyerap air dikarenakan adanya pori – pori dalam beton. Untuk menambah kekuatan beton porous maka dilakukan pencampuran dengan berbagai jenis agregat, zat penambah, dan juga limbah. Sehingga diharapkan limbah lingkungan yang masih banyak belum dapat diolah oleh manusia dapat dikuangi dan memberikan manfaat ekonomis.

2.2. Penelitian Terdahulu

Riyanto, dkk (2018) melakukan penelitian dengan judul “*Pengaruh Pemakaian Arang Batok Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton K225*”. Beton adalah material komposit terdiri dari bahan dasar semen, agregat kasar, agregat halus, air dan dengan atau tanpa bahan tambahan dengan perbandingan tertentu akan membentuk beton. Pada penelitian ini menggunakan bahan arang batok kelapa desa kalampangan untuk campuran beton K225 sebagai pengganti agregat halus terhadap persentasi berat, variasi 7,5%, 10% dan 12,5% yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kuat tekan setelah dilakukan pencampuran arang batok kelapa batok kelapa. Prosedur penelitian dibagi menjadi dua tahap, yaitu: penelitian awal untuk menentukan kuat tekan beton normal dan penelitian kedua untuk menentukan kuat tekan beton dengan menggunakan campuran arang batok kelapa 7,5%, 10% dan 12,5% terhadap berat agregat halus (pasir). Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan beton normal rata-rata adalah 314,45 kg/cm², setelah penggunaan arang batok kelapa 7,5% kuat tekan rata-rata sebesar 340,08 kg/cm². Kemudian pada penggunaan arang batok kelapa 10%

didapat kuat tekan rata-rata $332,78 \text{ kg/cm}^2$, pada penggunaan arang batok kelapa 12,5% kuat tekan rata-rata $305,08 \text{ kg/cm}^2$. Berdasarkan hasil penelitian disarankan pemakaian arang batok kelapa tidak melebihi 10% karena jika pemakaian melebihi 10% kuat tekan beton akan mengalami penurunan.

Mustaqim, dkk (2016) melakukan penelitian dengan judul “*Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Paving Block*”. *paving block* (bata beton) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland, agregat halus dan air dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu beton. Metode pembuatan *paving block* ada dua cara yaitu dengan mesin pres dan manual, warna *paving block* bisa seperti aslinya atau dapat juga diberi zat warna pada komposisinya, *paving block* digunakan untuk halaman baik di dalam maupun di luar bangunan. Benda uji penelitian ini berupa *paving block* dimensi ukurannya adalah $20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$, Pembuatan benda uji penambahan abu tempurung kelapa dari berat semen pada persentase 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Struktur, Program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pasir Pengaraian. Dari hasil pengujian nilai rata-rata kuat tekan *paving block* pada umur 14 hari tanpa penambahan abu tempurung kelapa dengan nilai rata-rata sebesar 101 kg/cm^2 , sedangkan kuat tekan *paving block* rata-rata dengan penambahan abu tempurung kelapa dari berat semen dengan presentase penambahan 5%, 10%, 15% dan 20% adalah sebagai berikut. Pada penambahan 5% diperoleh nilai kuat tekan rata – rata sebesar 113 kg/cm^2 , pada penambahan 10% kuat tekan rata – ratanya sebesar 108 kg/cm^2 , pada penambahan 15% kuat tekan rata-ratanya sebesar 86 kg/cm^2 , pada penambahan 20% kuat tekan rata-ratanya sebesar 81 kg/cm^2 . *paving block* pada penambahan 20% tidak dapat digunakan karena tidak mencapai syarat kuat tekan mutu D SNI-03-0691-1996.

Trisnoyuwono, dkk (2009) melakukan penelitian yang berjudul “*Beton Non Pasir Dengan Agregat Dari Batu Alam (Batu Ape) Sungai Lua Kabupaten*

Kepulauan Talaud Sulawesi Utara”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proporsi campuran yang ideal untuk beton non- pasir dengan agregat batu Ape yang diberi perlakuan pemanasan, sehingga diperoleh sifat- sifat fisik yang cocok dengan pemakaiannya. Sebagai batasan rancangan pembuatan beton non pasir hanya akan menggunakan batu Ape ukuran 10-20 mm hasil pembakaran tungku pada suhu 600° c selama 30 menit, semen Portland tipe I dan pengujian terhadap sifat-sifat mekanik beton. Beton non pasir dengan agregat batu Ape pada nilai fas 0,40, memberikan nilai zero slump untuk semua variasi rasio volume semen – agregat, yang dipengaruhi oleh jenis agregat yang digunakan, namun dengan demikian tidak berarti bahwa beton non pasir tidak dapat dikerjakan. Rasio volume semen – agregat pada campuran beton non pasir yang ideal adalah 1 : 6 dimana kuat tekan pada benda uji silinder sebesar 7,67 MPa dengan kebutuhan semen per m³ sebanyak 285,41 kg. Berat beton non pasir per m³ agregat batu Ape pada rasio volume semen agregat 1 : 6 adalah 1,962 ton. Termasuk jenis beton ringan. Semakin besar perbandingan volume semen : agregat, berat jenis, kuat tekan dan modulus elastisitas yang didapat semakin rendah. Beton non pasir dengan rasio volume semen – agregat 1 : 6, 1 : 8, 1 : 10 dan 1 : 12 dapat dimanfaatkan sebagai agregat dalam pembuatan produk bahan bangunan (batako pejal dan batako berlubang). Agregat batu Ape tidak dapat digunakan sebagai bahan beton non pasir untuk aplikasi perkerasan jalan, conblock dan bagian struktur yang menerima beban kejut.

2.3. Keaslian Penelitian

Penelitian yang penulis lakukan terdapat perbedaan dengan penelitian sebelumnya. Adapun perbedaan tersebut terletak pada jenis agregat penelitian yang penulis gunakan berasal dari Pangkalan, Sumatera Barat, waktu penelitian yang penulis gunakan adalah tahun 2019, lokasi penelitian yang penulis gunakan adalah Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau serta persentase substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen yang penulis gunakan adalah 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%..

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Umum

Berdasarkan SNI-03-2847-2002, pengertian beton adalah campuran dari semen portland atau semen hidrolik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan yang membentuk masa padat.

Secara umum beton memiliki kelebihan dan kekurangan :

1. Kelebihan beton. (SNI-03-2847-2002)

Kelebihan beton antara lain:

- a. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
- b. Mampu memikul beban yang berat.
- c. Tahan terhadap temperature yang tinggi.
- d. Biaya pemeliharaan yang kecil.

2. Kekurangan beton. (SNI-03-2847-2002)

Adapun kekurangan beton sebagai berikut:

- a. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah.
- b. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.
- c. Berat
- d. Daya pantul suara yang besar.

3.2. Beton Porous.

Beton non pasir adalah bentuk sederhana dari beton ringan yang dibuat tanpa menggunakan butiran halus (pasir). Dengan tidak digunakan pasir dalam campuran menyebabkan terciptanya rongga antar agregat kasar, distribusi rongga dalam campuran merata dan saling terkoneksi yang menyebabkan berkurangnya kepadatan beton. (Trisnoyuwono, 2014)

Nama lain dari beton non pasir diantaranya adalah beton tanpa agregat halus (*zero-fines concrete*), beton yang dapat tembus (*pervious concrete*) dan beton berpori (*porous concrete*). (Harber, 2005)

Ukuran agregat yang digunakan umumnya 10-20 mm, meskipun ukuran agregat yang lebih besar masih juga dapat digunakan. Beberapa jenis agregat seperti batu pecah, kerikil alami, blast furnace slag (hasil sampingan pengolahan logam) dan clinker (tanah liat yang dibakar / batu bekah) dapat menjadi bahan penyusun beton non – pasir. Agregat batu pecah dapat menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dari kerikil alami. (Raju, 1983)

Aplikasi umum untuk beton porous digunakan untuk lapangan parkir, trotoar, jalan setapak, lapangan tenis, taman, stabilisasi lereng, teras kolam renang, lantai rumah kaca, area kebun binatang, bahu jalan, drainase, peredam kebisingan, lapisan permukaan untuk perkerasan jalan raya, lapisan permeabel dibawah perkerasan beton dan jalan dengan volume lalu lintas rendah. Beton yang dapat tembus tidak digunakan untuk perkerasan dengan lalu lintas padat dan beban roda berat (Obla, 2007).

Menurut (Antoni, 2008), keuntungan dari penggunaan beton porous adalah antara lain:

1. Permukaan yang menggunakan beton porous dapat meningkatkan penyerapan air tanah, mengurangi air permukaan yang mengalir, mencegah material polutan masuk ke aliran air dan dapat mengurangi potensi banjir pada kawasan dataran rendah.
2. Penggunaan beton porous dapat mengurangi biaya proyek untuk pembuatan kolam retensi, saluran air yang lebih besar atau metode pencegahan banjir lainnya, serta meningkatkan efisiensi penggunaan lahan.
3. Beton porous untuk mempunyai absorpsi terhadap bunyi karena gesekan roda dan suara yang lebih baik seiring dengan meningkatnya porositas dan jumlah agregat kecil.
4. Beton porous menyerap lebih sedikit panas dibandingkan dengan beton normal maupun aspal, karena mempunyai lebih banyak rongga serta

berwarna lebih terang sehingga efek pemanasan lingkungan terutama untuk daerah perkotaan dapat diperkecil.

5. Beton porous dapat dengan mudah didaur ulang sehingga menjadikannya sebagai material yang ramah lingkungan.
6. Beton porous mempunyai daya tembus air dan udara yang baik, sehingga air dan udara segar masih dalam bersirkulasi di lapisan tanah asli. Hal ini tidak akan mematikan tanaman yang tumbuh disekitarnya.

3.3. Material Penyusun Beton Porous

Menurut (Harber, 2005) beton porous terdiri dari campuran dari semen, air, dan agregat kasar berukuran tunggal, yang dicampur untuk menghasilkan bahan struktural berpori.

3.3.1. Semen *Portland*

Semen *portland* adalah semen hidrolik yang dihasilkan dengan cara menggiling klinker yang mana terdiri dari *kalsium silikat hidrolik*, umumnya mengandung satu atau lebih *kalsium sulfat* sebagai bahan tambahan dan digiling dengan bahan utamanya. (ASTM C-150, 1950)

Semen *portland* dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Bahan utama pembuatan semen *Portland* adalah kapur (CaO), silika (SiO_3), alumina (Al_2O_3), sedikit magnesia (MgO), dan terkadang sedikit alkali. Untuk mengontrol komposisinya, terkadang ditambahkan oksidasi besi, sedangkan gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ditambahkan untuk mengatur waktu ikat semen. (Mulyono, 2004)

Berdasarkan (Mulyono, 2004) Semen *Portland* dibagi menjadi 5 tipe, yaitu adalah sebagai berikut :

1. Tipe I, semen *Portland* yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya.
2. Tipe II, semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Tipe III, semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.

4. Tipe IV, semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.

Tipe V, semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang lebih tinggi terhadap sulfat.

Bahan dasar penyusun semen terdiri dari bahan-bahan yang terutama mengandung kapur, silika dan oksida besi. Adapun bahan penyusun semen dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi Bahan Utama Semen (Ghambir, 1986)

No	Komposisi (Rumus Kimia)	Persentase (%)
1	Kapur (CaO)	60-70
2	Silika (SiO ₂)	18-25
3	Alumina (Al ₂ O ₃)	3-8
4	Oksida Besi (Fe ₂ O ₃)	1-5
5	Magnesium (MgO)	1-4
6	Sulfur (SO ₃)	1-3

Berdasarkan tabel 3.1 dapat dilihat komposisi bahan utama semen terdiri dari kapur (CaO) sebesar 60-70%, komposisi silika (SiO₂) sebesar 18-25%, komposisi alumina (Al₂O₃) sebesar 3-8%, komposisi oksida besi (Fe₂O₃) sebesar 1-5%, komposisi magnesium (MgO) sebesar 1-4%, dan komposisi sulfur (SO₃) sebesar 1-3%

Menurut (Mulyono, 2003) mineral-mineral semen *Portland* secara individu masing-masing mempunyai sifat-sifat adalah sebagai berikut:

1. Kehalusan butiran

Kehalusan butiran semen mempengaruhi hidrasi. Waktu pengikatan menjadi lama jika butir semen lebih kasar. Kehalusan penggilingan butir semen dinamakan penampang spesifik, yaitu luas butir permukaan semen. Jika luas permukaan penampang semen lebih besar, semen akan

memperbesar bidang kontak dengan air, semakin besar butiran semen, hidrasinya semakin cepat, maka kekuatan awal tinggi dan kekuatan akhir berkurang. Kehalusan butir semen yang tinggi mengurangi terjadinya *bleeding* atau naiknya air ke permukaan dan menambah kecendrungan beton untuk menyusut lebih banyak, mempermudah terjadinya retak susut. Menurut ASTM, butir semen yang lolos ayakan No.200 harus lebih 78%.

2. Kepadatan

Berat jenis yang disyaratkan oleh ASTM adalah 3.15 Mg/m^3 . Pada kenyataannya, berat semen yang diproduksi berkisar antara 3.05 Mg/m^3 sampai 3.25 Mg/m^3 . Variasi ini akan mempengaruhi proporsi campuran semen.

3. Konsistensi

Konsistensi semen *Portland* lebih banyak pengaruhnya pada saat pencampuran awal, yaitu pada saat terjadi pengikatan sampai pada saat beton mengeras. Konsistensi yang terjadi tergantung rasio antara semen dan air serta aspek-aspek bahan semen seperti kehalusan dan kecepatan hidrasi.

4. Waktu pengikatan adalah waktu yang dibutuhkan semen untuk mengeras, mulai dari bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan.

5. Panas hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang terjadi saat semen bereaksi dengan air, dinyatakan dalam kalori/gram. Jumlah panas yang dibentuk antara lain tergantung pada jenis semen yang dipakai dan kehalusan butir semen. Pada pelaksanaan, perkembangan panas ini dapat mengakibatkan masalah yaitu timbulnya keretakan pada saat pendinginan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pendinginan melalui perawatan pada saat pelaksanaan.

6. Perubahan volume

Kekekalan pasta semen yang telah mengeras adalah suatu ukuran yang menyatakan kemampuan pengembangan bahan-bahan campuran dan kemampuan untuk mempertahankan volume setelah pengikatan terjadi.

Ketidak kekekalan semen terjadi karena banyaknya kapur bebas yang pembakarannya tidak sempurna serta *magnesia* yang terdapat dalam campuran tersebut.

7. Kekuatan tekan

Kekuatan tekan semen diuji dengan cara membuat benda uji yang kemudian ditekan sampai hancur.

3.3.2. Agregat

Sifat yang paling penting dari suatu agregat (batu-batuan, kerikil, pasir dan lain-lain) ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, sedangkan porositas dan karakteristik penyerapan air dapat mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan saat musim dingin dan agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan. (Murdock dan K.M. Brook, 1991).

Jenis agregat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat alam dan agregat buatan (pecah). Agregat alam dan pecahan dapat dibedakan berdasarkan beratnya, asalnya, diameter butirannya (gradasi), dan tekstur permukaannya, maka jenis agregat dapat dikategorikan sebagai berikut (Mulyono, 2004):

1. Jenis agregat berdasarkan berat

Agregat dapat dibedakan berdasarkan beratnya. Ada tiga jenis agregat berdasarkan beratnya, yaitu agregat normal, agregat ringan dan agregat berat (Mulyono, 2004).

- a. Agregat normal dihasilkan dari pemecahan batuan dengan *quarry* atau langsung dari sumber alam. Agregat ini biasanya berasal dari batu granit, basalt, kuarsa, dan sebagainya. Berat jenis rata-ratanya adalah 2.5-2.7 atau tidak boleh kurang dari 1.2 kg/m^3 .
- b. Agregat ringan digunakan untuk menghasilkan beton ringan dalam sebuah bangunan yang memperhatikan beratnya. Agregat ringan digunakan dalam berbagai produk beton, contohnya bahan-bahan untuk isolasi atau bahan untuk pra-tekan. Agregat ini paling banyak digunakan untuk beton-beton pra-cetak. Beton yang dibuat dengan agregat ringan mempunyai sifat tahan

api yang baik. Kelemahannya adalah ukuran pori pada beton yang dibuat dengan agregat ini besar sehingga penyerapannya besar pula. Jika tidak diperhatikan, hal ini akan menyebabkan beton yang dihasilkan menjadi kurang baik kualitasnya. Agregat ringan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu yang dihasilkan melalui pembengkakan (*expanding*) dan dihasilkan melalui pengolahan batu alam. Dalam penggunaannya disarankan penakarannya menggunakan volume. Berat isi agregat ini berkisar 350-880 kg/m³ untuk agregat kasarnya dan 750-1200 kg/m³ untuk agregat halus. Campuran kedua agregat tersebut mempunyai berat isi maksimum 1040 kg/m³. Agregat ringan yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi syarat mutu dari ASTM C-30 "*Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*".

- c. Agregat berat mempunyai berat jenis lebih besar dari 2.800 kg/m³. Contohnya adalah *magnetik* (Fe₃O₄), *barytes* (BaSO₄) dan serbuk besi. Berat jenis beton yang dihasilkan dapat mencapai 5 kali berat jenis bahannya. Beton yang dibuat dengan agregat ini biasanya digunakan sebagai pelindung dari radiasi sinar-x.

2. Jenis agregat berdasarkan bentuk

Bentuk agregat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Secara alamiah bentuk agregat dipengaruhi oleh proses geologi batuan. Setelah dilakukan penambahan, bentuk agregat dipengaruhi oleh cara peledakan maupun mesin pemecah batu dan teknik yang digunakan. Jika dikonsolidasikan, butiran yang bulat akan menghasilkan campuran beton yang lebih baik jika di bandingkan dengan butiran yang pipih. Penggunaan pasta semennya pun akan lebih ekonomis. Bentuk-bentuk agregat ini lebih banyak berpengaruh terhadap sifat pengerasan pada beton segar (*fresh concrete*).

Test standar yang dapat digunakan dalam menentukan bentuk agregat ini adalah ASTM D-3398. Klasifikasi agregat berdasarkan bentuknya adalah sebagai berikut (Mulyono, 2004) :

- a. Agregat Bulat

Agregat ini terbentuk karena terjadinya pengikisan oleh air atau keseluruhannya terbentuk karena penggeseran. Rongga udaranya minimum 33%, sehingga rasio luas permukaannya kecil. Beton yang dihasilkan dari agregat ini kurang cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi, karena ikatan antara agregat kurang kuat.

b. Agregat Bulat Sebagian Atau Tidak Teratur

Agregat ini secara alamiah berbentuk tidak teratur. Sebagian terbentuk karena pergeseran sehingga permukaan atau sudut-sudutnya berbentuk bulat. Rongga udara pada agregat ini lebih tinggi, sekitar 35% - 38%, sehingga membutuhkan lebih banyak pasta semen agar mudah dikerjakan. Beton yang dihasilkan dari agregat ini belum cukup baik untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi, karena ikatan antar agregat belum cukup baik (masih kurang kuat).

c. Agregat Bersudut

Agregat ini mempunyai sudut-sudut yang tampak jelas, yang terbentuk di tempat-tempat perpotongan bidang-bidang dengan permukaan kasar. Rongga udara pada agregat ini berkisar antara 38%-40%, sehingga membutuhkan lebih banyak pasta semen agar mudah dikerjakan. Beton yang dihasilkan dari agregat ini cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi karena ikatan antar agregatnya baik (kuat). Agregat ini dapat juga digunakan untuk bahan lapis perkerasan (*rigid pavement*).

d. Agregat Panjang

Agregat ini panjangnya jauh lebih besar dari pada lebarnya dan lebarnya jauh lebih besar dari pada tebalnya. Agregat tersebut panjang jika ukuran terbesarnya lebih dari 9/5 dari ukuran rata-rata. Ukuran rata-rata ialah ukuran ayakan yang meloloskan dan menahan butiran agregat. Sebagai contoh, agregat dengan ukuran rata-rata 15 mm, akan lolos ayakan 19 mm dan tertahan oleh ayakan 10 mm. Agregat ini dinamakan panjang jika ukuran terkecil butirannya lebih kecil dari 27 mm ($9/5 \times 15$ mm). Agregat jenis ini akan berpengaruh buruk pada mutu beton yang akan di buat.

Agregat jenis ini cenderung berada di rata-rata air sehingga akan terdapat rongga dibawahnya. Kekuatan tekan dari beton yang menggunakan agregat ini buruk.

e. Agregat Pipih

Agregat disebut pipih jika perbandingan tebal agregat terhadap ukuran-ukuran lebar dan tebalnya lebih kecil. Agregat pipih sama dengan agregat panjang, tidak baik untuk campuran beton mutu tinggi. Dinamakan pipih jika ukuran terkecilnya kurang dari 3/5 ukuran rata-ratanya. Untuk contoh di atas agregat disebut pipih jika lebih kecil dari 9 mm.

f. Agregat Pipih dan Panjang

Agregat jenis ini mempunyai panjang yang jauh lebih besar dari pada lebarnya, sedangkan lebarnya jauh lebih besar dari tebalnya.

3. Jenis agregat berdasarkan tekstur permukaan

Umumnya agregat dibedakan menjadi kasar, agak kasar, licin, agak licin. Berdasarkan pemeriksaan visual, tekstur agregat dapat dibedakan menjadi sangat halus, halus, granular, kasar, berkrystal, berpori, dan berlubang-lubang. Secara numerik belum dipakai untuk menentukan definisi dari susunan permukaan agregat. Permukaan yang kasar akan menghasilkan ikatan yang lebih baik dibandingkan dengan permukaan agregat yang licin. Jenis lain dari permukaan agregat adalah mengkilap dan kusam. Umumnya jenis agregat berdasarkan tekstur permukaannya dapat dibedakan sebagai berikut (Mulyono, 2004):

a. Agregat Licin

Agregat seperti ini lebih sedikit membutuhkan air dari pada agregat kasar. Dari hasil penelitian kekasaran agregat akan menambah kekuatan gesekan antara pasta semen dengan permukaan butir agregat sehingga beton yang menggunakan agregat licin cenderung mutunya lebih rendah.

b. Berbutir

Pecahan agregat ini berbentuk bulat dan seragam.

c. Kasar

Pecahan kasar dapat terdiri dari batuan berbutir halus atau kasar yang mengandung bahan-bahan berkrystal.

- d. Berbentuk sarang labah.

Tampak dengan jelas pori-porinya dan rongga-rongganya.

4. Jenis agregat berdasarkan ukuran

Berdasarkan ukurannya, agregat dibedakan menjadi dua, yaitu: agregat halus dan agregat kasar (Mulyono, 2004).

a. Agregat halus

Agregat halus adalah agregat yang semua butirannya menebus ayakan berlubang 4,8 mm (SII.0052,1980).

b. Agregat kasar

Agregat kasar adalah bila semua butirannya tertinggal diatas ayakan 4,8 mm (SII.0052,1980).

Agregat harus mempunyai bentuk yang baik, bersih, keras, kuat dan gradasinya baik. Agregat harus pula mempunyai kestabilan kimiawi dan dalam hal-hal tertentu harus tahan aus dan tahan cuaca. Jika dilihat dari tekstur permukaannya, secara umum susunan permukaan agregat sangat berpengaruh pada kemudahan pekerjaan. Semakin licin permukaan agregat akan semakin mudah beton dikerjakan.

3.3.3. Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting namun harganya paling murah dan diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-bitur agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan.

1. Jenis - Jenis Air Untuk Campuran Beton

Pada umumnya air yang dapat diminum dapat digunakan sebagai air pengaduk pada beton. Adapun jenis-jenis air yang dapat digunakan untuk air pengaduk beton (Mulyono, 2004) adalah:

- a. Air hujan, air hujan menyerap gas-gas serta uap dari udara pada saat jatuh ke bumi. Udara terdiri dari komponen-komponen utama yaitu zat asam atau *oksigen*, *nitrogen* dan *karbon dioksida*. Bahan-bahan padat serta garam yang larut dalam air hujan terbentuk akibat peristiwa kondensasi.

- b. Air tanah. Biasanya mengandung unsur *kation* dan *anion*. Selain itu juga kadang-kadang terdapat unsur CO₂, H₂S dan NH₃.
- c. Air permukaan, terdiri dari air sungai, air danau, air genangan dan air *reservoir*. Air sungai atau danau dapat digunakan sebagai air pencampur beton asal tidak tercemar limbah industri. Sedangkan air rawa atau air genangan yang mengandung zat-zat *alkali* tidak dapat digunakan.
- d. Air laut. Air laut mengandung 30.000 – 36.000 mg/liter garam (3 % - 3,6 %) dapat digunakan sebagai air pencampur beton tidak bertulang. Air laut yang mengandung garam di atas 3 % tidak boleh digunakan untuk campuran beton. Untuk beton pratekan, air laut tidak diperbolehkan karena akan mempercepat korosi pada tulangnya.

2. Persyaratan Air Untuk Campuran Beton

Air yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau. Air yang digunakan untuk mencampur beton harus mempunyai syarat-syarat tertentu. Adapun syarat mutu air untuk adukan beton adalah sebagai berikut (Mulyono, 2004):

a. Garam-garam Anorganik

Ion-ion yang terdapat dalam air adalah *kalsium*, *magnesium*, *natrium*, *kalium*, *bikarbonat*, *sulfat*, *klorida* dan *nitrat*. Gabungan ion-ion tersebut yang terdapat dalam air maksimum 2000 mg/liter. Garam-garam ini akan menghambat waktu pengikatan pada beton sehingga kuat tekannya turun. Selain itu garam-garam ini membuat beton bersifat *higroskopis*, sehingga beton selalu basah, beton menjadi bercak putih, ditumbuhi lumut dan tulangan menjadi *elektrolit* dan berkarat. Konsentrasi garam-garam ini pada air pencampur beton maksimum 500 ppm.

b. NaCl dan Sulfat

Konsentrasi NaCl dalam air diizinkan maksimum 20000 ppm. Garam ini membuat beton bersifat *higroskopis* dan bila bereaksi dengan agregat yang mengandung *alkali* akan membuat beton mengembang. Pengaruh garam *sulfat* terhadap beton adalah membuat beton tidak awet.

c. Air Asam

Air yang mempunyai nilai asam tinggi ($\text{PH} > 3,0$) akan menyulitkan pekerjaan beton.

d. Air Basa

Air dengan kandungan *natrium hidroksida* kurang dari 0,5 % dari berat semen tidak mempengaruhi kekuatan beton. Sebaliknya NaOH lebih dari 0,5 % dari berat semen akan menurunkan kekuatan beton.

e. Air Gula

Penambahan gula sebesar 0,25 % ke atas akan menyebabkan bertambahnya waktu ikat semen dan juga menurunkan kekuatan beton.

f. Minyak

Air yang mengandung minyak tanah lebih dari 2 % menyebabkan kekuatan beton turun sebesar 20 %. Oleh karena itu air yang tercemar oleh minyak sebaiknya tidak digunakan untuk campuran beton.

g. Rumput Laut

Air yang tercampur dengan rumput laut mengakibatkan daya lekat semen berkurang dapat menimbulkan gelembung-gelembung udara pada beton. Akibatnya beton menjadi keropos dan akhirnya kekuatannya akan turun.

h. Zat-zat Organik, lanau dan bahan-bahan terapung

Air yang banyak mengandung zat organik biasanya keruh, berbau dan mengandung butir-butir lumut. Air ini dapat mengganggu proses hidrasi semen, apalagi bila agregat yang digunakan banyak mengandung *alkali*. Ini akan menyebabkan beton mengembang yang akhirnya retak. Air yang mengandung lumpur halus kurang dari 2000 ppm bila akan digunakan untuk beton harus diendapkan terlebih dahulu agar lumpur tidak mengganggu proses hidrasi semen.

i. Air Limbah

Air limbah biasanya mengandung senyawa organik sebanyak 400 ppm. Air ini dapat digunakan untuk campuran beton bila senyawa organik diencerkan/dinetralsisir sampai air hanya mengandung senyawa organik sebesar maksimum 20 ppm.

3.3.4. Bahan Tambahan

Bahan mineral pembantu saat ini banyak ditambahkan ke dalam campuran beton dengan berbagai tujuan, antara lain untuk mengurangi pemakaian semen, mengurangi temperatur akibat reaksi hidrasi, mengurangi *bleeding* atau menambah kelecikan beton segar. Cara pemakaiannya pun berbeda-beda, sebagai bahan pengganti atau sebagai tambahan pada campuran untuk mengurangi pemakaian agregat (Antoni, 2007).

1. Abu Arang Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa adalah limbah dari pabrik kopra dan pasar tradisional yang tidak termasuk produk utama, merupakan hasil dari proses pengolahan kelapa. Tempurung kelapa adalah jenis limbah padat yang umumnya dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk keperluan memasak, khususnya bagi rumah tangga yang masih menggunakan tungku dapur tradisional. Bahkan tak jarang limbah tempurung kelapa yang melimpah dibiarkan begitu saja sehingga hancur kembali ke alam tanpa memberi manfaat ekonomis.

Menurut (Budi, dkk, 2012) persentase kandungan yang terdapat dalam tempurung kelapa adalah seperti pada tabel 3.2 berikut ini :

Tabel 3.2 Kandungan Tempurung Kelapa (Budi, dkk, 2012)

No	Komponen	Persentase (%)
1	Moisture	10,46
2	Volatile	67,67
3	Karbon	18,29
4	Abu	3,58

Berdasarkan tabel 3.2 mengenai kandungan tempurung kelapa dapat diketahui untuk komponen moisture mempunyai nilai sebesar 10,4%, untuk volatile mempunyai nilai 67,6%, untuk karbon mempunyai nilai 18,2%, dan untuk abu mempunyai nilai 3,5%.

Sedangkan kandungan arang tempurung kelapa adalah seperti pada tabel 3.3 berikut ini (Budi, dkk, 2012) :

Tabel. 3.3 Kandungan Arang Tempurung Kelapa (Budi, dkk, 2012)

No	Komponen	Persentase (%)
1	Volatile	10,
2	Karbon	76,
3	Abu	13,

Berdasarkan tabel 3.3 mengenai kandungan arang tempurung kelapa dapat diketahui volatile mempunyai nilai 10,60%, karbon mempunyai nilai 76,32%, dan abu mempunyai nilai 13,08%.

Tempurung kelapa dibakar selama 2 x 24 jam agar didapatkan hasil maksimal menjadi abu, kemudian dilakukan pengayakan menggunakan saringan nomor 200; ketika telah dilakukan pengayakan maka baru dilakukan proses pengambilan abu secara hati – hati.

3.4. Pengujian Material

Pengujian material ini mencakup jumlah serta jenis agregat yang kasar yang persyaratannya haruslah sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan, sehingga hasil pengujian material ini dapat digunakan untuk kepentingan perencanaan, antara lain :

3.4.1. Analisa Saringan Agregat Kasar

Metoda ini dilakukan untuk memeriksa pembagian butir agregat kasar dengan menggunakan saringan, tujuannya untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran.

Adapaun yang diperlukan untuk analisa saringan sebagai berikut :

1. Peralatan yang digunakan sebagai berikut :
 - a. Timbangan
 - b. Oven
 - c. Cawan
 - d. Satu Set Saringan
 - e. Sikat
2. Langkah kerja:

- a. Benda uji dimasukan kedalam cawan kemudian ditimbang dan oven selama 24 jam, setelah dioven dinginkan kemudian timbang lagi.
- b. Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran dan ketentuan letak saringan yang telah ditetapkan. Saringan diguncang dengan alat pengguncang selama 15 menit,
- c. Timbang persentase benda uji yang tertahan diatas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji setelah dilakukan penyaringan.

3.4.2. Berat Isi Agregat Kasar

Pemeriksaan berat isi untuk menentukan berat isi agregat kasar. Berat isi dimaksudkan sebagai perbandingan berat agregat kering dengan volumenya.

1. Peralatan yang dipergunakan sebagai berikut:
 - a. Timbangan
 - b. Batang penusuk
 - c. Mistar perata
 - d. Wadah
2. Langkah kerja berat isi terbagi menjadi dua, yaitu:
 - a. Berat isi gembur
 - 1) Sediakan benda uji yang mewakili agregat dari lapangan.
 - 2) Timbang dan catat berat wadah (W_1).
 - 3) Masukkan benda uji berlahan, maksimum 5 cm diatas wadah dengan sendok lalu ratakan.
 - 4) Timbang dan catat wadah yang berisi benda uji (W_2).
 - 5) Hitung berat bersih benda uji (W_3)

$$W_3 = W_2 - W_1 \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana : W_1 = Berat wadah

W_2 = Berat tempat + berat uji

- 6) Hitung berat isi tempat (W_4)

$$W_4 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot t \text{ atau } \pi r^2 \cdot t \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana : d = diameter wadah

r = jari- jari wadah

t = tinggi wadah

7) Berat isi gembur ($W5$)

$$W5 = \frac{W3}{W4} \dots \dots \dots (3.3)$$

Dimana : $W3$ = Berat bersih benda uji

$W4$ = Berat isi tempat

b. Berat isi padat

- 1) Sediakan benda uji yang mewakili agregat dari lapangan.
- 2) Timbang dan catat berat wadah ($W1$).
- 3) Masukkan benda uji kedalam wadah dengan tiga lapis yang sama tebalnya, setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan.

- 4) Timbang dan catat wadah yang berisi benda uji ($W2$).

- 5) Hitung berat bersih benda uji ($W3$)

$$W3 = W2 - W1 \dots \dots \dots (3.4)$$

Dimana : $W1$ = Berat wadah

$W2$ = Berat wadah + berat uji

- 6) Hitung berat isi tempat ($W4$)

$$W4 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot t \text{ atau } \pi r^2 \dots \dots \dots (3.5)$$

Dimana : d = diameter wadah

r = jari- jari wadah

t = tinggi wadah

- 7) Berat isi padat ($W5$)

$$W5 = \frac{W3}{W4} \dots \dots \dots (3.6)$$

Dimana : $W3$ = Berat bersih benda uji

$W4$ = Berat isi tempat

3.4.3. Berat Jenis Penyerapan Air Agregat Kasar

Pemeriksaan ini bertujuan untuk memeriksa berat jenis curah hujan, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis dari semua agregat kasar serta angka penyerapan dari agregat kasar.

1. Peralatan yang dipergunakan sebagai berikut:

- a. Timbangan
- b. Cawan
- c. Saringan no 4
- d. Oven

2. Langkah kerja berat jenis :

- a. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu dan kotoran lainnya.
- b. Keringkan benda uji dalam oven sampai berat tetap, dengan catatan bila penyerapan dan harga berat jenis digunakan dalam pekerjaan beton, dimana agregatnya digunakan pada keadaan air aslinya tidak perlu dikeringkan dalam oven.
- c. Benda uji didinginkan, kemudian timbang (*BK*).
- d. Rendam benda uji dalam air pada suhu ruangan selama 24 jam.
- e. Keluarkan benda uji dalam air, bersihkan dan lap dengan menggunakan kain yang dapat menyerap air.
- f. Timbang benda uji kering permukaan jenuh (*BJ*).
- g. Letakkan benda uji dalam keranjang, guncang benda uji untuk mengeluarkan udara yang tersangkap kemudian tentukan beratnya didalam air (*BA*), dan ukur suhu air untuk menyesuaikan suhu standart.
- h. Banyak jenis bahan campuran yang mempunyai berat butiran yang berbeda, bahan ini memberikan berat yang tidak tetap walaupun pemeriksaan dilakukan dengan hati-hati.
- i. Hitung berat jenis dengan rumus:

$$\frac{BK}{(BJ-BA)} \dots \dots \dots (3.7)$$

Dimana : BK = Berat benda uji
 BJ = Berat uji kering permukaan jenuh
 BA = Berat benda uji dalam air

- j. Berat jenis permukaan jenuh:

$$\frac{BJ}{(BJ-BA)} \dots \dots \dots (3.8)$$

Dimana : BJ = Berat uji kering permukaan jenuh

BA = Berat benda uji dalam air

k. Berat jenis semu dengan rumus:

$$\frac{BK}{(BK-BA)} \dots \dots \dots (3.9)$$

Dimana : BK = Berat benda uji

BA = Berat benda uji dalam air

l. Hitung penyerapan air dengan rumus:

$$\frac{BJ-BK}{(BK)} \times 100\% \dots \dots \dots (3.10)$$

Dimana : BK = Berat benda uji

BJ = Berat uji kering permukaan jenuh

3.4.4. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pemeriksaan kadar lumpur yang lolos saringan No. 200 (0,075) sebagai acuan dan pegangan dalam pelaksanaan pengujian untuk menentukan jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 dengan cara dicuci.

1. Peralatan yang dipergunakan sebagai berikut:

- a. Saringan No. 200 (0,075mm)
- b. Cawan
- c. Timbangan
- d. Oven

2. Langkah kerja pemeriksaan kadar lumpur agregat :

- a. Benda uji dimasukkan kedalam cawan, lalu dikeringkan didalam oven mencapai berat tetap selama 24 jam. Kemudian ditimbang beratnya (B1).
- b. Benda uji yang telah ditimbang, dicuci dengan air dengan cara air cucian disaring dengan menggunakan saringan No. 200.
- c. Kemudian benda uji dikeringkan kembali dengan oven sampai berat tetap, kemudian ditimbang beratnya (B2).
- d. Hitung kadar lumpur dengan rumus:

$$\frac{B1-B2}{(B1)} \times 100\% \dots \dots \dots (3.11)$$

Dimana : B1 = Berat benda uji kering sebelum dicuci

B2 = Berat benda uji kering sesudah dicuci

3.4.5. Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

Pemeriksaan kadar air bertujuan untuk menentukan kadar air agregat dengan cara mengeringkan didalam oven selama 24 jam.

1. Peralatan yang digunakan sebagai berikut:
 - a. Timbangan
 - b. Cawan
 - c. Oven
2. Langkah kerja:
 - a. Timbang berat cawan.
 - b. Masukkan benda uji basah kedalam cawan dan timbang.
 - c. Hitung berat benda uji dengan cawan.
 - d. Keringkan benda uji beserta cawan selama 24 jam.
 - e. Setelah benda uji kering, dinginkan dan timbang kembali.
 - f. Berat benda uji sebelum dioven dikurangi dengan berat benda uji setelah dioven, didapat berat air (W1).
 - g. Berat benda uji setelah dioven, dikurangi berat cawan, didapatkan berat benda ujin tanpa cawan (W2).
 - h. Hitung persentase kadar air dengan rumus:

$$\frac{W1}{(W2)} \times 100\% \dots \dots \dots (3.12)$$

Dimana : W1 = Berat air

W2 = Berat benda ujikering oven

3.5. Perancangan Beton

Proses pembuatan rancangan campuran beton pada umumnya dibagi menjadi 2 tahapan sebagai berikut :

1. Melakukan perhitungan proporsi campuran beton yang tepat berdasarkan data

tentang bahan baku yang digunakan.

2. Pembuatan beton dalam skala kecil (dalam penelitian ini, peneliti menggunakan silinder 150mm x 300 mm).

Adapun beberapa persyaratan metode perencanaan beton porous berdasarkan Buku Beton Non-Pasir (Trisnoyuwono, 2014) adalah sebagai berikut:

1. Kuat tekan rencana diabaikan.
2. Deviasi standar (S)

Deviasi alat ukur adalah alat ukur tingkat mutu pelaksanaan pembuatan (produksi) beton. Deviasi standar adalah identifikasi penyimpangan yang terjadi dalam kelompok data dalam hal ini produksi beton. Nilai S ini digunakan sebagai salah satu data masuk pada perencanaan campuran adukan beton. Rumus menghitung deviasi standar adalah sebagai berikut (Labalatorium Teknologi Beton, Universitas Islam Riau):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (xi - x)^2}{n-1}} \dots \dots \dots (3.13)$$

Dimana:

S = Deviasi standar

X_i = Kekuatan tekan beton yang dipakai dari masing-masing benda uji

X = Kekuatan beton rata-rata

n = Jumlah benda uji hasil pemeriksaan

Menurut (SNI 03-2834-2000) faktor pengali untuk deviasi standar dikelompokkan berdasarkan jumlah pengujiannya seperti pada tabel 3.4 berikut ini :

Tabel 3.4 Faktor pengali untuk deviasi standar (SNI 03-2834-2000)

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Lihat butir (4.2.3.1 1) (5)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Dari tabel 3.4 dapat dilihat bahwa faktor pengali untuk deviasi standar dengan jumlah pengujian kurang dari 15 dapat melihat ke butir (4.2.3.1 1) (5), untuk jumlah pengujian 15 faktor pengali deviasi standar senilai 1,16, untuk jumlah pengujian 20 faktor pengali deviasi standar senilai 1,08, untuk jumlah pengujian 25 faktor pengali deviasi standar senilai 1,03, sedangkan untuk jumlah pengujian 30 atau lebih faktor pengali deviasi standarnya senilai 1,00.

Data hasil uji yang digunakan untuk menghitung deviasi standar (S) haruslah sebagai berikut:

- a. Mewakili bahan-bahan, prosedur pengawasan mutu dan kondisi produksi yang serupa dengan pekerjaan yang diusulkan.
- b. Mewakili kuat tekan beton yang diisyaratkan f_c' yang nilainya dalam batas lebih kurang dari nilai yang ditentukan.
- c. Paling sedikit dari 30 hasil uji yang berurutan atau dua kelompok hasil uji berurutan jumlah benda uji minimum 30 hasil uji diambil dalam prediksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari.

3. Nilai Tambah (Margin)

Nilai tambah dihitung dengan rumus:

$$M = K \times S \dots\dots\dots(3.14)$$

Dimana:

M = Nilai tambah margin (N/mm²)

K = 1,64 adalah ketetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase yang lebih rendah dari f_c' . Dalam hal ini diambil 5%, sehingga nilai k = 1,64

S = Standar deviasi (N/mm²).

4. Perhitungan kuat tekan rata-rata ($f_c'r$) yang ditargetkan. Kuat tekan rata-rata direncanakan dihitung dengan rumus:

$$f_c'r = f_c' + M \dots\dots\dots(3.15)$$

Dimana:

$f_c'r$ = Kuat tekan rata-rata (MPa)

f_c' = Kuat tekan beton yang direncanakan (MPa)

M = Nilai tambah atau Margin (MPa)

5. Menetapkan jenis semen *Portland* yang digunakan.
6. Menetapkan jenis agregat yang akan digunakan adalah agregat kasar.
7. Menentukan Faktor Air Semen (FAS)

Faktor Air Semen adalah perbandingan berat air dengan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. Faktor air semen sangat mempengaruhi keadaan beton, semakin rendah perbandingan semen dengan air berarti semakin kental campuran beton dan semakin tinggi juga kuat tekan beton yang dihasilkan. Nilai faktor air semen semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kuat tekan beton semakin tinggi, ada batasan-batasan dalam hal ini. Nilai faktor air semen yang rendah dapat menyebabkan kesulitan dalam pekerjaan, yaitu kesulitan dalam pemadatan yang menyebabkan mutu beton menurun. Faktor air semen ditetapkan 0,4 sesuai dengan buku beton non pasir.

8. Penetapan nilai *slump*.
9. Penetapan ukuran agregat maksimum.
10. Kadar air bebas: untuk menentukan kadar air bebas agregat gabungan yang berupa campuran antara campuran pasir alami dan kerikil (batu pecah) maka kadar air bebas harus diperhitungkan memakai rumus :

$$\text{Dengan: } \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \dots \dots \dots (3.16)$$

W_h : perkiraan air untuk agregat halus

W_k : perkiraan air untuk agregat kasar

11. Menghitung jumlah semen.
12. Jumlah semen maksimum diabaikan jika tidak ditetapkan.
13. Menghitung berat jenis relative agregat:

$$BJ. \text{ Campurann} = \left(\frac{P}{100} \times BJ \text{ agregat halus} \right) + \left(\frac{K}{100} \times BJ \text{ agregat kasar} \right) \dots \dots \dots (3.17)$$

Dimana:

P = Persentase agregat halus terhadap agregat campuran (%)

K = Persentase agregat kasar terhadap agregat campuran (%)

BJ = Berat Jenis

14. Hitung kadar air gabungan, yaitu berat jenis beton dikurangi dengan kadar semen dan kadar air.

15. Hitung kadar agregat kasar, agregat gabungan dikurangi kadar agregat kasar.

3.6 *Slump Test*

Slump test adalah salah satu cara untuk mengukur kecairan atau kepadatan dalam adukan beton. Semakin rendah nilai *slump* menandakan semakin kental kondisi beton segar yang ada dilapangan, sebaliknya semakin besar bacaan *slump* berarti semakin encer kondisi beton segar dilapangan. Percobaan *slump* dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan. Percobaan ini dilakukan dengan alat berbentuk kerucut terpancung, yang diameter atasnya 10 cm dan diameter bawahnya 20 cm dan tinggi 30 cm, dilengkapi dengan kuping untuk mengangkat beton segar dan tongkat pemadat diameter 16 mm sepanjang minimal 60 cm. (Mulyono, 2004)

Langkah-langkah percobaan adalah sebagai berikut:

1. Siapkan alat-alat *slump*, termasuk centong untuk memasukkan semen.
2. Bagi volume masing-masing menjadi 1/3 volume.
3. Jika dihitung tinggi lapisan 1/3 pertama ± 7 cm, tinggi lapisan kedua 9 cm, dan sisanya lapisan ketiga.
4. Masukkan beton segar dengan centong secara hati-hati setinggi 1/3 volume.
5. Padatkan lapisan tersebut dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali.
6. Lakukan hal serupa untuk lapisan kedua dan ketiga.
7. Diamkan selama 60 detik setelah lapisan terakhir dikerjakan.
8. Angkat alat *slump* secara hati-hati jangan sampai miring hingga mengenai isi beton.
9. Letakan alat *slump* disisi beton segar.
10. Ukur rata-rata tinggi *slump*, diukur dari tinggi permukaan alat sampai tinggi permukaan beton yang jatuh.

Sedangkan menurut (Tjokrodimulyo, 2007) nilai *slump* untuk pekerjaan beton dapat dilihat berdasarkan pada tabel 3.5 berikut ini :

Tabel 3.5 Nilai *slump* untuk pekerjaan beton (Tjokrodimulyo, 2007)

Uraian	<i>Slump</i> (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, plat pondasi, pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tiang bertulang, kaison, pondasi bawah tanah	9,0	2,5
Plat, balok, kolom, dinding	15,0	7,5
Pekerjaan jalan	7,5	5,0
Pembetonan massal	7,5	2,5

Berdasarkan tabel 3.5 dapat dilihat bahwa nilai slump maksimum untuk dinding, plat pondasi, pondasi telapak bertulang bernilai 12,5 cm dan nilai minimumnya sebesar 5,0 cm, untuk pondasi telapak tiang bertulang, kaison, pondasi bawah tanah nilai slump maksimumnya sebesar 9,0 cm dan nilai minimumnya sebesar 2,5, untuk plat, balok, kolom, dinding nilai slump maksimumnya sebesar 15,0 cm dan nilai minimumnya sebesar 7,5 cm, untuk pekerjaan jalan nilai maksimumnya sebesar 7,5 cm dan nilai minimumnya sebesar 5,0 cm, untuk pembetonan massal nilai slump maksimumnya sebesar 7,5 cm dan nilai minimumnya 2,5 cm.

3.7 Perawatan Beton

Perawatan beton dilakukan setelah beton mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat (Mulyono, 2004)

Jumlah air di dalam beton cair sebetulnya sudah lebih dari cukup untuk menyelesaikan reaksi hidrasi. Namun sebagian air hilang menguap sehingga hidrasi selanjutnya terganggu. Karena hidrasi relative cepat pada hari-hari pertama, perawatan paling penting adalah pada umur mudanya. Kehilangan air yang cepat juga menyebabkan beton menyusut, terjadi tegangan tarik pada beton yang sedang mengering sehingga dapat menimbulkan retak (Antoni, 2007)

3.7.1 Tujuan Perawatan Beton

Beton yang telah dibuat menjadi struktur harus dirawat selama usia strukturnya. Tindakan perawatan ini dimaksudkan untuk menjamin tercapainya usia ekonomi struktur tersebut, dan salah satu sifat yang penting dari beton adalah

keawetannya, yakni mampu menahan serangan (pengaruh) kimia dan fisika serta mekanis (ductility). Keawetan beton yang baik didapatkan jika perencanaan, pelaksanaan dan terutama pada perawatan dilakukan dengan baik.

3.7.2 Metode Perawatan Beton

Perawatan pada beton dimaksudkan untuk menghindari panas hidrasi yang tidak diinginkan yang terutama disebabkan oleh suhu, serta perawatan yang baik terhadap beton akan memperbaiki berbagai segi kualitas beton tersebut.

Beberapa cara perawatan beton yang sering digunakan pada proses pengerasan adalah sebagai berikut (Supartono, 1997):

1. Perawatan dengan air

Cara ini yang paling banyak digunakan dan mutu air yang digunakan harus bebas dari bahan-bahan yang agresif terhadap beton.

Beberapa macam cara perawatan beton dengan menggunakan air, sebagai berikut:

- a. Penyemprotan dengan menggunakan air.
- b. Perendaman dalam air.
- c. Penumpukan jerami basah.
- d. Pelapisan tanah atau pasir basah.
- e. Penyelimutan dengan kain atau karung basah.

2. Perawatan dengan penguapan

Cara ini banyak digunakan dengan tujuan untuk mendapatkan kuat tekan awal yang tinggi pada elemen-elemen beton pracetak, seperti pada fabrikasi tiang pancang beton pratekan.

3. Perawatan dengan penguapan tekanan tinggi

Cara ini juga dikenal sebagai *high pressure steam curing*, banyak digunakan untuk perawatan elemen beton ringan. Cara ini digunakan sering kali dengan tujuan untuk mengurangi resiko terjadinya retak susut elemen beton dan sekaligus meningkatkan kemampuan ketahanan terhadap *sulfat*.

4. Perawatan dengan isolasi permukaan beton

Cara perawatan dengan menggunakan lapisan yang rapat untuk menutupi permukaan beton biasa merupakan solusi yang baik, karena cara ini bisa penghambat proses penguapan air pori dari dalam beton, disamping juga bisa mengurangi resiko timbulnya perbedaan temperatur yang menyolok antara bagian dalam beton dengan bagian luar beton. Beberapa material yang biasa digunakan untuk keperluan perawatan ini antara lain:

- a. Lapisan pasir kering.
 - b. Lembaran plastik.
 - c. Kertas berserat, yang dilapisi dengan *adhesive bituminious*.
5. Tanpa perawatan (diluar ruangan)
- Seringnya dijumpai dilapangan konstruksi setelah dilakukan pengecoran, banyak sekali dijumpai dilapangan mengabaikan perawatan pada bangunan ruko – ruko atau bangunan lainnya.

3.8 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton menurut (SK SNI 03-2834-2000) adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton diawali oleh tegangan maksimum pada saat beton telah mencapai umur 28 hari. Beton yang dirancang harus memenuhi persyaratan kuat tekan rata - rata, yang memenuhi syarat berdasarkan data deviasi standar hasil uji kuat tekan untuk kondisi dan jenis konstruksi yang sama. Kuat tekan beton diwakili oleh perbandingan kuat tekan maksimum dengan luas tampang silinder beton.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton dapat dikelompokkan menjadi dua bagian (Ghambir, 2005) sebagai berikut:

1. Faktor yang berdasarkan kepada metode percobaan
 - a. Ukuran contoh percobaan.
 - b. Keadaan tumpuan.
 - c. Ukuran contoh dalam hubungan ukuran agregat.
 - d. Keadaan air.
 - e. Tipe pengangkutan beton.

- f. Pembebanan rata-rata dari contoh benda uji.
 - g. Tipe uji mesin.
 - h. Asumsi dari analisa yang berhubungan dengan ketegangan untuk keruntuhan kegagalan beton.
2. Faktor yang berdasarkan kepada metode percobaan
 - a. Tipe semen, umur perawatan dan jenis agregat.
 - b. Derajat kepadatan.
 - c. Proporsi campuran beton, berat isi semen, perbandingan agregat.
 - d. Tipe perawatan dan suhu masa perawatan.
 - e. Sifat jenis perbedaan yang mana sebagai contoh benda uji, statis, pemeliharaan, dinamis dan lain-lain.

Menurut (Mulyono, 2004) perkembangan kuat tekan untuk semen *PCC* tipe I mempunyai nilai – nilai perkembangan berdasarkan umur beton seperti pada tabel 3.6 berikut ini :

Tabel 3.6 Perkembangan kuat tekan untuk semen *PCC* tipe I. (Mulyono, 2004)

Umur Beton (hari)	3	7	14	21	28
Semen Portland Tipe I	0,46	0,7	0,88	0,96	1

Berdasarkan tabel 3.6 dapat bahwa pada umur beton 3 hari mempunyai nilai perkembangan sebesar 0,46, pada umur 7 hari nilai perkembangan beton sebesar 0,7, pada umur 14 hari nilai perkembangan beton sebesar 0,88, pada umur 21 hari nilai perkembangan beton sebesar 0,96, dan pada umur 28 hari nilai perkembangan beton sebesar 1.

Menurut National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA, 2011) dan ACI 522R – 10 beton berpori mempunyai nilai kuat tekan seperti pada tabel 3.7 berikut ini :

Tabel 3.7 Kuat Tekan Beton Berpori. (NRMCA, 2011 dan ACI 522R – 10)

Nilai	NRMCA, 2011 (MPa)	ACI 522R – 10 (MPa)
Minimum	3,5	2,8
Maksimum	28	28

Dari tabel 3.7 dapat dilihat kuat tekan beton berpori menurut (NRMCA, 2011) mempunyai nilai kuat tekan minimum sebesar 3,5 MPa dan nilai kuat tekan maksimum adalah sebesar 28 MPa, sedangkan menurut (ACI 522R - 10) mempunyai nilai kuat tekan minimum sebesar 2,8 MPa dan nilai kuat tekan maksimum adalah sebesar 28 MPa

Kuat tekan beton dapat diketahui melalui pengujian kuat tekan dengan memakai alat uji tekan. Pemberian beban tekan dilakukan bertahap dengan kecepatan beban tertentu atas uji beton. Besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus (SNI 03 - 1974 - 1990) :

1. Kuat tekan (f_c')

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.18)$$

Dimana:

f_c' = Kuat tekan benda uji, MPa
 P = Besar beban maksimum, N
 A = Luas penampang benda uji, mm²

2. Kuat tekan rata-rata benda uji.

Kuat tekan rata-rata benda uji adalah kuat tekan beton yang dicapai dari beberapa sampel benda uji dibagi dengan jumlah benda uji, dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$f_{c'r} = \frac{\sum_1^n f_c'}{n} \dots\dots\dots(3.19)$$

Dimana:

f_c' = Kuat tekan benda uji (KN/mm²).
 $f_{c'r}$ = Kuat tekan rata-rata jumlah benda uji (KN/mm²).
 n = Jumlah benda uji.

3. Standar deviasi (S)

Defiasi standar adalah suatu istilah statistik yang dipakai sebagai ukuran tingkat variasi produk beton tertentu. Rumus standar deviasi dapat dilihat pada persamaan 3.20.

$$S = \frac{\sqrt{\sum_1^n (f_c' - f_{c'r})^2}}{n-1} \dots\dots\dots(3.20)$$

Dimana:

S = Standar deviasi.

f_c' = Kuat tekan beton estimasi 28 hari.

$n-1$ = Jumlah benda uji.

$f_{c'r}$ = Kuat tekan beton rata-rata 28 hari.

4. Kuat tekan karakteristik (f_{ck})

Kuat tekan karakteristik atau kuat tekan rata-rata perlu digunakan sebagai dasar pemilihan campuran beton, lihat persamaan 3.21.

$$f_{ck} = f_{c'r} - (1,64 \cdot S) \dots \dots \dots (3.21)$$

Dimana:

f_{ck} = Kuat tekan karakteristik beton

f_c' = Kuat tekan beton rata-rata estimasi 28 hari.

S = Standar deviasi.

3.9. Porositas

Porositas adalah besarnya persentase ruang-ruang kosong atau besarnya kadar pori yang terdapat pada beton dan merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi kekuatan beton. Pori-pori beton biasanya berisi udara atau berisi air yang saling berhubungan dan dinamakan dengan kapiler beton. Kapiler beton akan tetap ada walaupun air yang digunakan telah menguap, sehingga kapiler ini akan mengurangi kepadatan beton yang dihasilkan. Dengan bertambahnya volume pori maka nilai porositas juga akan semakin meningkat dan hal ini memberikan pengaruh buruk terhadap kekuatan beton. (Nugroho, 2010)

Menurut (Nugroho, 2010) tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai persentase pori – pori beton terhadap volume beton. Rumus perhitungan porositas beton adalah :

$$\text{Porositas} = \frac{B-C}{B-A} \times 100\% \dots \dots \dots (3.22)$$

Dimana, A : Berat sampel dalam air (gram)

B : Berat sampel kondisi permukaan jenuh (gram)

C : Berat sampel kering oven (gram)

Menurut (Trisnoyuwono. 2014) beton non – pasir mempunyai nilai rongga minimum dan maksimum yang dapat dilihat pada tabel 3.8 berikut ini :

Tabel 3.8 Nilai Rongga Beton Non – Pasir. (Trisnoyuwono. 2014)

Nilai Rongga	Persentase (%)
Minimum	12
Maksimum	25

Berdasarkan tabel 3.8 dapat dilihat nilai rongga minimum beton non – pasir sebesar 12% dan nilai maksimum rongga beton non – pasir sebesar 25%.

3.10. Permeabilitas

Permeabilitas beton adalah kemudahan beton untuk dapat dilalui air. Jika beton tersebut dapat dilalui air, maka beton tersebut dikatakan permeabel. Jika sebaliknya, maka beton tersebut dikatakan impermeabel. Maka sifat permeabilitas yang penting pada beton adalah permeabilitas terhadap air. (Sugiharto, dkk. 2004)

Sedangkan menurut (Neville, 1995) permeabilitas merupakan kemudahan air atau gas melewati beton. Faktor yang mempengaruhi permeabilitas adalah faktor air semen dari campuran beton, kondisi lingkungan, dan sifat dari semen.

Menurut (Hanta, 2015) dan (Makmur, 2015) untuk mencari nilai permeabilitas dapat dicari dengan pengujian yang menggunakan prinsip tinggi energi turun (*Falling Head Meter*). Nilai akhir permeabilitas air pada beton berpori dihitung dengan :

$$K = \frac{A}{t} \dots \dots \dots (3.23)$$

Dimana,

K = Koefisien permeabilitas (cm/dt)

A = Koefisien luar permukaan (cm²)

T = waktu (dt)

Menurut National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA, 2011) dan American Concrete Institute (ACI 522R - 10) beton porous mempunyai nilai permeabilitas minimum dan nilai permeabilitas maksimum seperti pada tabel 3.9 berikut ini :

Tabel 3.9 Permeabilitas Beton Porous. (NRMCA, 2011 dan ACI 522R - 10)

Nilai	NRMCA, 2011 (cm/s)	ACI 522R - 10 (cm/s)
Minimum	0,2	0,14
Maksimum	1,2	1,22

Dari tabel 3.9 dapat dilihat nilai minimum permeabilitas beton porous menurut (NRMCA, 2011) sebesar 0,2 cm/s dan nilai maksimum permeabilitas beton porous sebesar 1,2 cm/s , sedangkan menurut (ACI 522R - 10) nilai minimum permeabilitas beton porous sebesar 0,14 cm/s dan nilai maksimum permeabilitas beton porous sebesar 1,22 cm/s.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau, Pekanbaru. Di Laboratorium Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil ini digunakan untuk melakukan pemeriksaan material, pengecoran atau pembuatan benda uji (silinder), *mix design*, uji *slump*, perawatan beton, pengujian berat isi agregat, dan uji kuat tekan beton.

4.2 Bahan Penelitian

Bahan – bahan yang digunakan peneliti pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar

Agregat yang peneliti gunakan berasal dari Pangkalan, Sumatera Barat.

2. Air

Air yang digunakan berasal dari sumur bor Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Pekanbaru.

3. Semen

Semen yang digunakan adalah semen *Portland (PCC Tipe 1)* dari PT. Semen Padang.

4. Bahan Tambahan

Bahan yang digunakan sebagai substitusi sebagian semen adalah tempurung kelapa yang berasal dari Pasar Syariah, Jalan Pasir Putih, Kampar.

4.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Cawan

Alat ini digunakan sebagai tempat benda uji sebelum melakukan pengujian. Cawan terbuat dari aluminium yang tahan terhadap panas. Cawan yang digunakan berbeda-beda ukuran.



Gambar 4.1 Cawan (*Dokumentasi Penelitian, 2019*)

Dalam penelitian ini cawan digunakan untuk pengujian analisa saringan, berat jenis, kadar lumpur, dan kadar air.

2. Oven

Oven yang digunakan adalah Memmert yang berfungsi sebagai tempat mengeringkan agregat, yang dilengkapi dengan pengaturan suhu. Suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah $110 \pm 5^\circ\text{C}$.



Gambar 4.2 Oven (*Dokumentasi Penelitian, 2019*)

Dalam penelitian ini oven digunakan untuk pengujian analisa saringan, berat jenis, kadar lumpur, kadar air, dan porositas.

3. Batang Penusuk

Batang penusuk yang digunakan terbuat dari baja dengan panjang 60 cm dan diameter 16 cm.



Gambar 4.3 Batang penusuk (*Dokumentasi Penelitian, 2019*)

Dalam penelitian ini batang penusuk digunakan untuk pengujian berat isi, untuk mengetahui nilai slump, dan untuk memadatkan beton porous dalam cetakan silinder.

4. Penggaris

Penggaris digunakan adalah Micro yang terbuat dari baja.

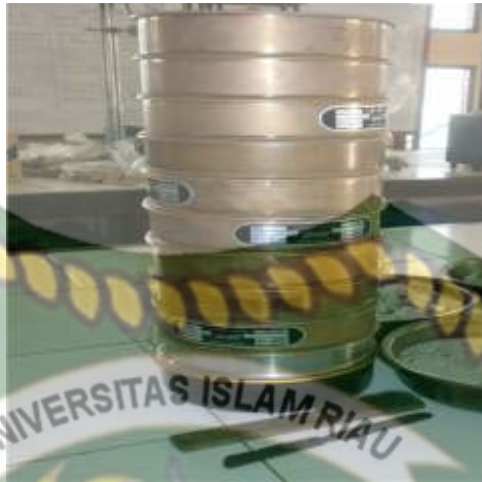


Gambar 4.4 Penggaris (*Dokumentasi Penelitian, 2019*)

Dalam pengujian ini penggaris berfungsi untuk mengukur diameter, penurunan *slump*.

5. Saringan

Saringan yang digunakan untuk mengayak agregat kasar agar mendapatkan analisa saringan.



Gambar 4.5 Saringan (*Dokumentasi Penelitian, 2019*)

Ukuran saringan yang digunakan yaitu $1\frac{1}{2}$ (38 mm), $\frac{3}{4}$ (19 mm), $\frac{3}{8}$ (9,6 mm), No.4 (4,8 mm), No.8 (2,4 mm), No.16 (1,2 mm), No.30 (0,6 mm), No.50 (0,3 mm), No.100 (0,15 mm), No.200 (0,075 mm)

6. Wadah

Wadah berbentuk silinder yang terbuat dari baja dengan tinggi 155 mm dan diameter 158 mm.



Gambar 4.6 Wadah (*Dokumentasi Penelitian, 2019*)

Dalam penelitian ini wadah digunakan untuk pemeriksaan berat isi agregat kasar.

7. Timbangan

Timbangan yang digunakan ada 2 jenis, yaitu:

- a. Timbangan manual dengan kapasitas 20 kg.
- b. Timbangan digital dengan kapasitas 3 kg.



Gambar 4.7 Timbangan (*Dokumentasi Penelitian, 2019*)

Dalam penelitian ini timbangan digunakan untuk pengujian analisa saringan, berat jenis, berat isi, kadar lumpur, kadar air, pengujian kuat tekan dan porositas.

8. Alat Uji Slump

Alat ini terbuat dari baja yang berbentuk kerucut dengan tebal 2 mm, diameter atas 100 mm dan diameter bawah 200 mm.



Gambar 4.8 Kerucut Uji Slump (*Dokumentasi Penelitian, 2019*)

Pada penelitian ini kerucut uji slump digunakan saat pemeriksaan slump setelah pengadukan beton.

9. Cetakan Beton

Cetakan beton terbuat dari baja. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan cetakan berbentuk silinder dengan tinggi 300 mm dan diameter 150 mm.



Gambar 4.9 Cetakan silinder (*Dokumentasi Penelitian, 2019*)

Dalam penelitian ini cetakan silinder berfungsi untuk mencetak beton setelah pengadukan beton segar selesai.

10. Mesin Kuat Tekan Beton.

Mesin yang digunakan adalah BT Testing dengan dial manual dan terbuat dari baja, mempunyai pengaturan dan pengontrol beban dengan kapasitas beban maksimum 2000 KN.



Gambar 4.10 Mesin uji tekan (*Dokumentasi Penelitian, 2019*)

Pada penelitian ini mesin kuat tekan beton berfungsi untuk menguji kuat tekan beton.

11. Mesin Pengaduk Beton

Mesin ini berfungsi untuk mengaduk bahan-bahan pembuat beton.



Gambar 4.11 Mesin Molen (*Dokumentasi Penelitian, 2019*)

Pada penelitian ini mesin molen yang digunakan adalah mesin Tiger berkapasitas 125 Liter.

12. Alat pengujian permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan dengan cara pengujian sederhana dengan memanfaatkan prinsip tinggi energi jatuh (*Falling Head Meter*).



Gambar 4.12 Alat uji permeabilitas (*Dokumentasi Penelitian, 2019*)

Pengujian permeabilitas pada penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan galon air.

13. Drum Besi

Drum besi digunakan untuk pembakaran tempurung kelapa.



Gambar 4.13 Drum Besi (*Dokumentasi Penelitian, 2019*)

Pada penelitian ini drum besi yang digunakan adalah drum besi yang berada di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau.

14. Palu

Palu terbuat dari besi dan tangkai kayu.



Gambar 4.14 Palu (*Dokumentasi Penelitian, 2019*)

Pada penelitian ini palu digunakan untuk pemasangan dan pembukaan cetakan beton.

15. Bak Perendam

Bak perendam berfungsi untuk perawatan beton yang telah dicetak, beton direndam sesuai hari perencanaan yaitu 28 hari.

4.4 Teknik Penelitian

Eksperimen laboratorium adalah penelitian yang dilakukan dengan cara mengkaji variabel - variabel bebas yang mungkin berpengaruh, sedangkan variabel yang tidak sesuai dengan masalah – masalah penelitian dibuat seminimal mungkin. Dilaksanakan secara terkontrol, teliti dan cermat.

4.5 Tahap Pelaksanaan Penelitian

1. Persiapan

Meliputi pengurusan izin pemakaian laboratorium, persiapan material, bahan tambahan dan persiapan peralatan.

2. Pemeriksaan Material

Pemeriksaan material terdiri dari analisa saringan, berat isi agregat, berat jenis, kadar air dan kadar lumpur.

3. Perencanaan Campuran Beton

Metode yang digunakan dalam perhitungan campuran beton (*mix design*) berdasarkan buku beton non - pasir.

4. Pembuatan Beton Segar

Dalam pembuatan beton segar ini menggunakan mesin pengaduk beton.

5. Pengujian Nilai *Slump Test*

Pengujian *slump tests* ini dimaksud untuk ukuran kelecakan beton segar yang berhubungan dengan tingkat kemudahan dalam pengerjaannya.

6. Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat dengan menggunakan silinder dengan ukuran 150 mm x 300 mm, benda uji berjumlah 30 terdiri dari 15 benda uji kuat tekan dan 15 benda uji porositas dan permeabilitas.

Tabel 4.1 Jumlah Benda Uji Penelitian

Umur Perawatan (Hari)	Persentase Substitusi Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Berat Semen					Jumlah Benda Uji
28	0%	2,5%	5%	7,5%	10%	30
	6	6	6	6	6	

7. Perawatan (*curing*)

Dalam penelitian ini perawatan yang digunakan adalah perendaman dalam air, yang dilakukan di bak perendaman Labolatorium UIR dengan umur 28 hari.

8. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dimaksudkan untuk mencari perbandingan kuat tekan rencana dengan kuat tekan yang dihasilkan dari beberapa umur rencana 28 hari.

9. Pengujian Porositas Beton Potyrous

Pengujian ini digunakan untuk mengetahui jumlah pori – pori beton terhadap volume beton.

10. Pengujian Permeabilitas Beton Porous

Pengujian dilakukan untuk mengetahui jumlah air yang melewati beton dengan menggunakan prinsip *Falling Head Meter* atau prinsip energi turun. (Hanta dan makmur, 2015)

11. Hasil dan Pembahasan

Analisa dan pembahasan didapat setelah pengujian benda uji beton, lalu dilakukan analisa kuat tekan, porositas, dan permeabilitas benda uji beton.

12. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran bertujuan menyimpulkan apa yang telah didapat dari hasil penelitian dan saran kepada peneliti selanjutnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat di gambar 4.15.

4.6. Tahap Analisis Data

1. Tahap Analisis Data Kuat Tekan

- a. Pembuatan sampel beton menggunakan cetakan beton silinder sekaligus dilakukan pengujian nilai slump beton.
- b. Setelah sampel dicetak maka dilakukan perawatan beton dengan cara perendaman sampel beton didalam bak air yang berada di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau selama 28 hari.

- c. Dilakukan perawatan selama 28 hari dan setelahnya dilakukan pengujian kuat tekan beton menggunakan mesin uji kuat tekan beton.
- d. Pengumpulan data dari hasil pengujian kuat tekan tersebut.
- e. Kemudian dilakukan analisis data dari hasil pengujian sampel menggunakan rumus kuat tekan.
- f. Setelah melalui tahap – tahap tersebut maka didapatkan hasil dan pembahasan.

2. Tahap Analisis Data Porositas

- a. Pengujian porositas diawali dengan pengujian berat sampel dalam air dengan menggunakan timbangan yang ada dilaboratorium teknik sipil Universitas Islam Riau.
- b. Dilanjutkan dengan menimbang berat sampel kondisi permukaan jenuh,.
- c. Kemudian dilanjutkan dengan mengoven sampel selama 24 jam dengan kondisi suhu 110°C .
- d. Setelah sampel dioven selama 24 jam sampel dikeluarkan dan ditimbang beratnya.
- e. Pengumpulan data dari hasil pengujian porositas.
- f. Kemudian dilakukan analisis data porositas dari hasil pengujian sampel menggunakan rumus porositas beton.
- g. Setelah melalui tahap – tahap tersebut maka didapatkan hasil dan pembahasan.

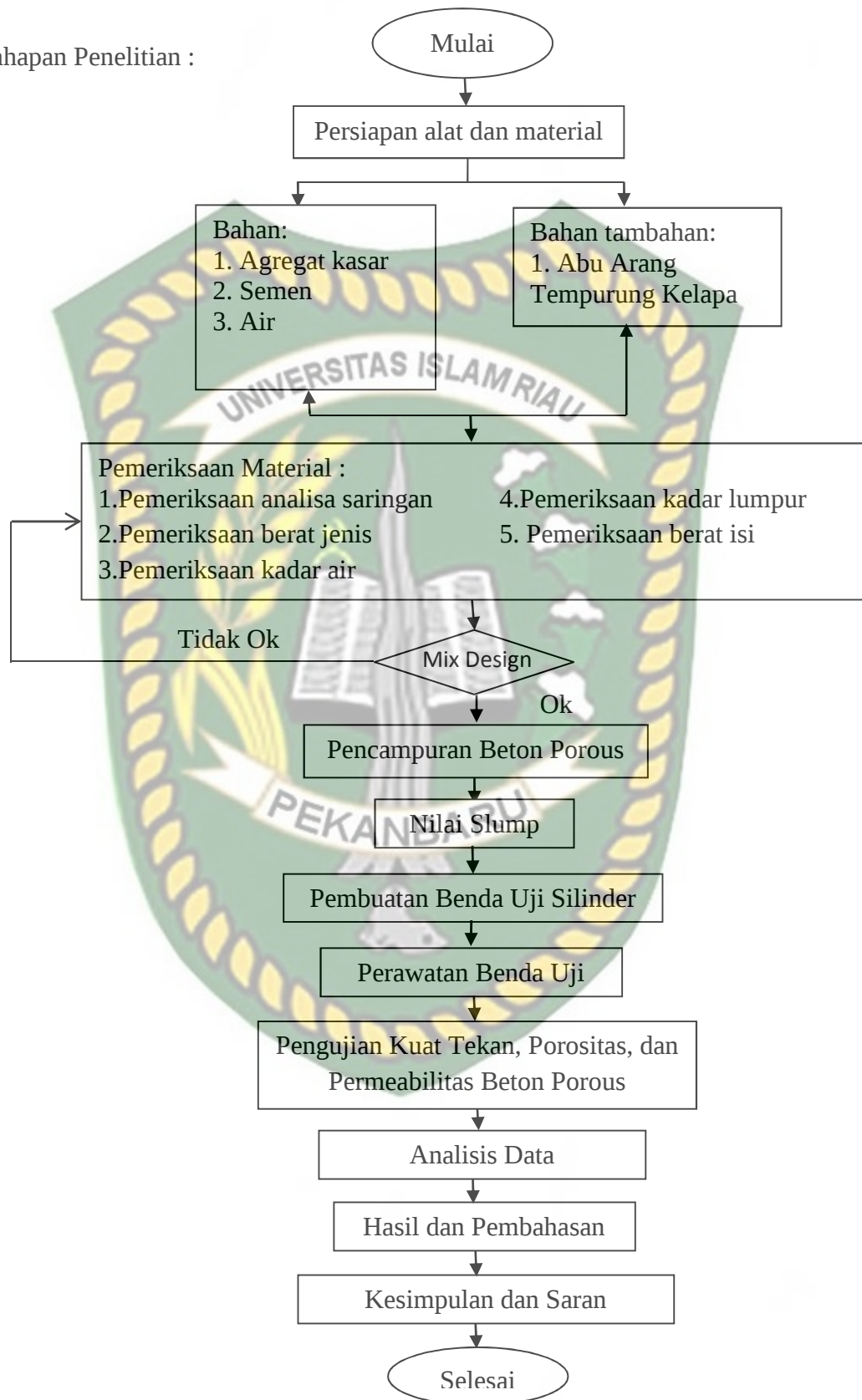
3. Tahap analisis data permeabilitas.

- a. Persiapkan seluruh alat
- b. Letakkan posisi alat seperti pada gambar 4.12
- c. Ukur ketinggian air jatuh terhadap beton menggunakan penggaris
- d. Masukkan 1 liter air ke dalam gallon
- e. Hitung waktu air mengalir menggunakan stopwatch
- f. Ulangi kembali dari cara no.1 untuk sampel berikutnya hingga selesai.
- g. Pengumpulan data dari hasil pengujian permeabilitas.

- h. Kemudian dilakukan analisis data permeabilitas dari hasil pengujian sampel menggunakan prinsip *Falling Head Meter* atau prinsip tinggi energi turun.
- i. Setelah melalui tahap – tahap tersebut maka didapatkan hasil dan pembahasan.



Tahapan Penelitian :



Gambar 4.15 Bagan alir penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pemeriksaan Material Benda Uji

Pemeriksaan material pada penelitian ini, meliputi beberapa pemeriksaan, yaitu: analisa saringan agregat kasar, pemeriksaan berat jenis agregat kasar, pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar, dan pemeriksaan kadar air lapangan agregat kasar, dan pemeriksaan berat isi agregat kasar.

5.2. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Lampiran B1, sedangkan hasil persentase lolos dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Persentase Lolos Agregat Kasar 1/2"

Nomor Ayakan	1 1/2	3/4	3/8	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
Ukuran Ayak (mm)	38	19	9,6	4,8	2,4	1,2	0,6	0,3	0,15	0,075
Lolos (%)	100	100	20,862	7,874	0,669	0,607	0,575	0,523	0,376	0,188

Sumber : Hasil analisa penelitian.

Dari Tabel 5.1 dapat dilihat bahwa persentase lolos agregat kasar dengan saringan ukuran 0,075 persentase lolos sebesar 0,188%, ukuran saringan 0,15 mm memiliki persentase lolos sebesar 0,376%. Saringan ukuran 0,3 mm persentase lolos sebesar 0,523%. Saringan ukuran 0,6 mm persentase lolos sebesar 0,575%. Saringan ukuran 1,2 mm persentase lolos sebesar 0,607%. Saringan ukuran 2,4 mm persentase lolos sebesar 0,669%. Saringan ukuran 4,8 mm persentase lolos sebesar 7,974%. Dan untuk saringan ukuran 9,6 mm persentase lolos sebesar 20,862%. Saringan ukuran 19 mm persentase lolos sebesar 100% dan saringan ukuran 38 mm persentase lolos sebesar 100%.

5.3 Hasil Pemeriksaan Kadar Air

Pemeriksaan kadar air bertujuan untuk memperoleh persentase dari kadar air yang terkandung dalam agregat. Analisa dapat dilihat pada lampiran B-6. Hasil pemeriksaan kadar air dapat dilihat pada tabel 5.2 berikut.

Tabel.5.2 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat 1/2

Uraian	(%)
Persentase Kadar Air	0,2607

Sumber: Hasil analisa penelitian.

Berdasarkan tabel diatas didapatkan bahwa kadar air agregat adalah 0,2607%.

5.4 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Serta Penyerapan Material

Pemeriksaan berat jenis serta penyerapan air material dilakukan untuk mengetahui berat jenis kering permukaan jenuh SSD (*saturated surface dry*) serta untuk memperoleh angka berat jenis curah, dan berat jenis semu. Analisa dapat dilihat pada Lampiran B-4, hasil pemeriksaan dapat dilihat pada tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5.3 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Serta Penyerapan Material.

Material	Berat Jenis Semu (gr)	Berat Jenis Permukaan Jenuh (gr)	Berat Jenis (gr)	Penyerapan (gr)	Keterangan
Agregat Kasar ½	2,669	2,680	2,699	0,42	Memenuhi syarat

Sumber: Hasil analisa penelitian.

Berdasarkan tabel 5.3 dapat dilihat bahwa agregat kasar ½ didapat berat jenis permukaan jenuh sebesar 2,680 dan memenuhi standar spesifikasi berat jenis yaitu 2,58 s/d 2,83 gr/cm³ (Tjokrodinuljo,1995). ini merupakan pegangan untuk digunakan dalam perencanaan beton porous.

5.5 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur

Pemeriksaan kadar lumpur ini menggunakan metode penjumlahan bahan dalam agregat yang lolos saringan #200 (0,075) yang dimaksudkan sebagai acuan dalam pegangan untuk melaksanakan pengujian dan untuk melakukan jumlah setelah dilakukan pencucian benda uji. Analisa dapat dilihat pada Lampiran B-5 dan hasil pemeriksaan dapat dilihat pada tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat.

Material	Kadar Lumpur %	Keterangan
Agregat Kasar $\frac{1}{2}$	0,302	Memenuhi Syarat

Sumber: Hasil analisa penelitian.

Berdasarkan tabel 5.4 dapat dilihat bahwa agregat kasar $\frac{1}{2}$ mengandung kadar lumpur dalam keadaan aman untuk digunakan sebagai campuran adukan beton porous, dimana menurut SNI 03-6821-2002 untuk agregat kasar < 1%, sedangkan hasil yang didapatkan dalam penelitian ini adalah 0,302% sehingga material-material yang digunakan pada penelitian ini tidak perlu dilakukan pencucian agregat.

5.6 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Material

Berat isi adalah perbandingan antara berat agregat kering dengan volumenya. Analisa pemeriksaan berat isi material dapat dilihat pada Lampiran B-4. Sedangkan hasil pemeriksaan berat isi material dapat dilihat pada tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5.5 Berat Isi Agregat.

Material	Berat Isi (gr/cm ³)
Agregat Kasar $\frac{1}{2}$	1,614
Semen	0,94
Abu Arang Tempurung Kelapa	0,9

Sumber: Hasil analisa penelitian.

Berdasarkan tabel 5.5 dapat dilihat bahwa setelah melakukan pemeriksaan material, berat isi agregat kasar sebesar 1,614%, berat isi semen sebesar 0,94%, dan berat isi abu arang tempurung kelapa sebesar 0,9%.

5.7 Hasil Pemeriksaan Campuran Beton Porous

Perencanaan campuran beton porous (*mix design*) bertujuan untuk mengetahui proporsi campuran antara semen, agregat kasar, dan air. Analisa dapat dilihat pada Lampiran A.1 – A.9, hasil perencanaan campuran beton untuk 3 benda uji silinder sesudah koreksi kadar air dapat dilihat tabel 5.6 berikut ini :

Tabel 5.6 Proporsi campuran beton (*mix design*) untuk 3 benda uji silinder ukuran 150 cm x 30 cm sesudah koreksi kadar air SSD (*saturated surface dry*).

No	Material Campuran	Proporsi Campuran Untuk 1x Adukan	
1	Semen	$187,5 \times 0,02066532$	= 3,87 kg
2	Air	$99,02 \times 0,02066532$	= 2,04 liter
3	Agregat Kasar $\frac{1}{2}$	$2673,594 \times 0,02066532$	= 55,250 kg

Berdasarkan perbandingan 1 : 6 untuk beton non pasir maka jumlah agregat yang digunakan untuk 3 benda uji silinder sesudah koreksi kadar air SSD (*saturated surface dry*) adalah :

$$= 55,250 \times \frac{1}{6} \times 3$$

$$= 27,625 \text{ kg}$$

5.8 Hasil dan Analisa Nilai Slump Beton

Hasil pemeriksaan dari *slump test* bertujuan untuk mengecek adanya perubahan kadar air yang ada dalam adukan beton, sedangkan nilai *slump* dimaksudkan untuk mengetahui konsistensi beton dan sifat *workability* (kemudahan dalam pengerjaan) beton sesuai dengan syarat-syarat yang ditetapkan, semakin rendah nilai *slump* menunjukkan beton semakin kental dan proses pemadatan atau pekerjaan beton akan mengalami kesulitan dan butuh waktu cukup lama. dalam proses pengerjaan atau pemadatan lebih mudah dilaksanakan dan tidak memerlukan waktu yang lama dalam proses pemadatannya.

Nilai slump yang didapatkan dari penelitian benda uji yang dilakukan dapat dilihat nilai *slump* pada tabel 5.7.

Tabel 5.7 Nilai *slump*

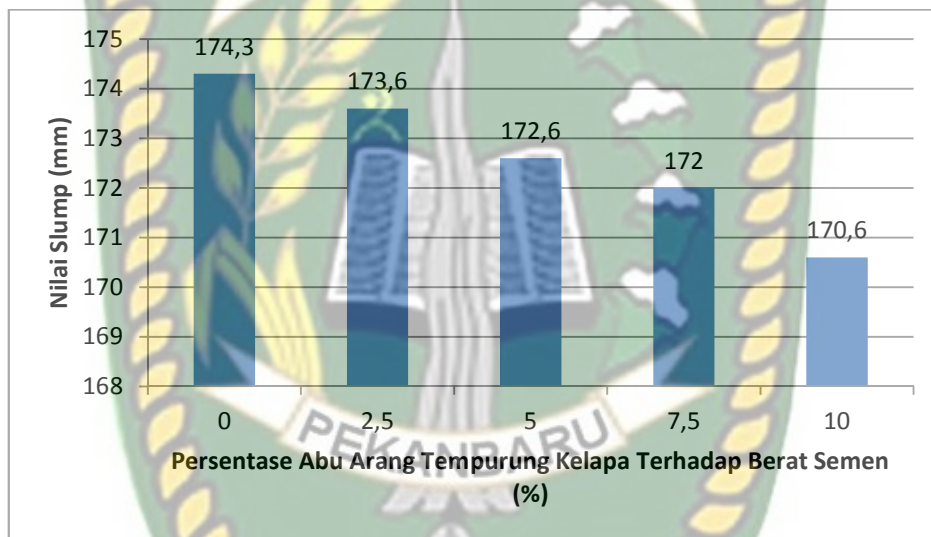
No	Persentase Abu	Perawatan (Hari)	Slump (mm)	Slump Rata-rata
1	0	28	175	174,3
			175	
			173	
2	2,5	28	174	173,6
			172	
			175	
3	5	28	170	172,3
			174	
			173	
4	7,5	28	174	172
			171	
			171	
5	10	28	170	170,6
			170	
			172	

Sumber : Hasil analisa penelitian

Berdasarkan hasil data penelitian pada tabel 5.7 dapat dilihat bahwa nilai slump yang didapatkan melewati nilai *slump* untuk pekerjaan beton menurut (Tjokrodimulyo, 2007) dalam tabel 3.5 hal ini disebabkan oleh tidak adanya penggunaan agregat halus (pasir) pada beton porous. Dimana pada persentase 0% dengan umur perawatan 28 hari pada benda uji 1 memiliki nilai slump sebesar 175 mm, pada benda uji 2 memiliki nilai slump sebesar 175 mm, pada benda uji 3 memiliki nilai slump 173 mm dengan nilai slump rata – rata 174,3 mm, persentase 2,5% dengan umur perawatan 28 hari pada benda uji 1 memiliki nilai slump sebesar 174 mm, pada benda uji 2 memiliki nilai slump sebesar 172 mm, pada benda uji 3 memiliki nilai slump 175 mm dengan nilai slump rata – rata 173,6 mm, persentase 5% dengan umur perawatan 28 hari pada benda uji 1 memiliki nilai slump sebesar 170 mm, pada benda uji 2 memiliki nilai slump sebesar 174 mm, pada benda uji 3 memiliki nilai slump 173 mm dengan nilai slump rata – rata

172,3 mm, persentase 7,5% dengan umur perawatan 28 hari pada benda uji 1 memiliki nilai slump sebesar 174 mm, pada benda uji 2 memiliki nilai slump sebesar 171 mm, pada benda uji 3 memiliki nilai slump 171 mm dengan nilai slump rata – rata 172 mm, persentase 10% dengan umur perawatan 28 hari pada benda uji 1 memiliki nilai slump sebesar 170 mm, pada benda uji 2 memiliki nilai slump sebesar 170 mm, pada benda uji 3 memiliki nilai slump 172 mm dengan nilai slump rata – rata 170,6 mm

Berdasarkan data dari tabel 5.7 maka dapat dibuat kedalam grafik seperti gambar 5.1.



Gambar 5.1 Grafik Pengaruh Substitusi Persentase Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Berat Semen Kepada Nilai Slump

Berdasarkan gambar 5.1 dapat dilihat bahwa pada beton porous dengan substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen dengan persentase 0% mempunyai nilai slump 174,3 mm, pada persentase 2,5% mempunyai nilai slump 173,6 mm, pada persentase 5% mempunyai nilai slump 172,6 mm, pada persentase 7,5% mempunyai nilai slump 172 mm, dan pada persentase 10% mempunyai nilai slump sebesar 170,6 mm.

5.9 Hasil Analisa Kuat Tekan Beton Porous

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan setelah masa perawatan (*curing*) benda uji berusia 28 hari, untuk masing-masing pengadukan baik beton porous

tanpa menggunakan abu maupun dengan menggunakan abu arang tempurung kelapa.

Dari hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Lampiran C-1 sampai dengan Lampiran C-5, sedangkan hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada tabel 5.8 berikut :

Tabel 5.8 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Porous Substitusi Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Berat Semen.

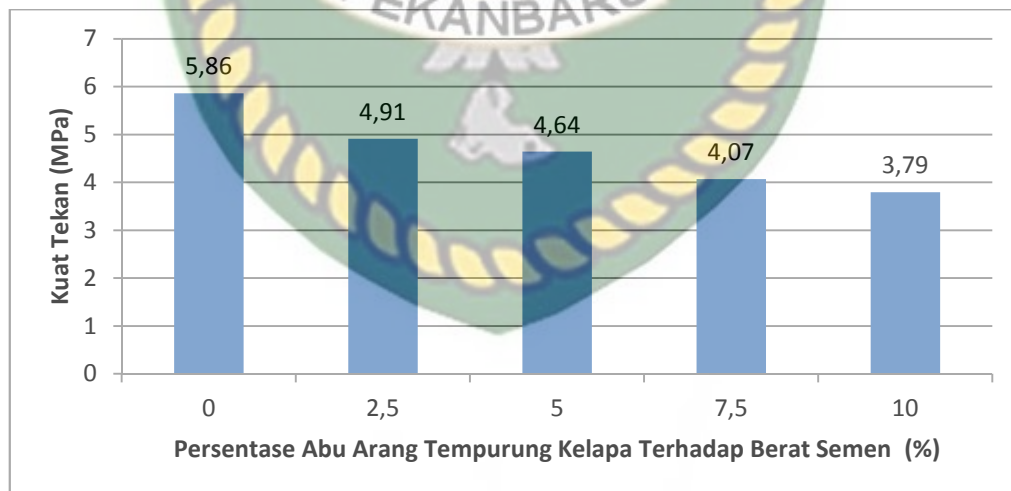
Persentase Abu (%)	Kuat Tekan (Mpa)	$f_{c'r}$ (MPa)	$f_{c'k}$ (MPa)	NRMCA, 2011	ACI 522R – 10
0	5,67 5,67 6,23	5,86	5,32	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat
2,5	4,53 5,10 5,10	4,91	4,37	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat
5	4,82 4,25 4,53	4,54	4,07	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat
7,5	4,25 3,97 3,97	4,07	3,80	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat
10	3,69 3,97 3,69	3,79	3,52	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat

Sumber: Hasil analisa penelitian.

Dari tabel 5.8 dapat dilihat bahwa kuat tekan pada benda uji yang digunakan oleh peneliti memenuhi persyaratan nilai kuat tekan beton porous yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan ACI 522R-10 dalam tabel 3.7. Dimana untuk persentase substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen 0%

dengan kuat tekan rata – rata 5,86 MPa dan kuat tekan karakteristik 5,32 MPa memenuhi syarat yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan ACI 522R-10, untuk persentase substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen 2,5% dengan kuat tekan rata – rata 4,91 MPa dan kuat tekan karakteristik 4,37 MPa memenuhi syarat yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan ACI 522R-10, untuk persentase substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen 5% dengan kuat tekan rata – rata 4,54 MPa dan kuat tekan karakteristik 4,07 MPa memenuhi syarat yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan ACI 522R-10, untuk persentase substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen 7,5% dengan kuat tekan rata – rata 4,07 MPa dan kuat tekan karakteristik 3,80 MPa memenuhi syarat yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan ACI 522R-10, sedangkan untuk persentase substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen 10% dengan kuat tekan rata – rata 3,79 MPa dan kuat tekan karakteristik 3,52 MPa memenuhi syarat yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan ACI 522R-10.

Berdasarkan tabel 5.8 maka nilai kuat tekan masing – masing beton porous dengan persentase substitusi abu tempurung kelapa terhadap berat semen dibuat kedalam bentuk grafik seperti berikut ini :



Gambar 5.2 Grafik Pengaruh Substitusi Persentase Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Berat Semen Kepada Kuat Tekan Beton Porous Pada Umur 28 Hari

Berdasarkan gambar 5.2, dapat dilihat bahwa substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen mengakibatkan terjadinya penurunan kuat

tekan. Pada penggunaan substitusi abu arang tempurung kelapa 0% terhadap berat semen diperoleh kuat tekan 5,86 MPa, penggunaan substitusi abu arang tempurung kelapa 2,5% terhadap berat semen diperoleh kuat tekan 4,91 MPa, penggunaan substitusi abu arang tempurung kelapa 5% terhadap berat semen diperoleh kuat tekan 4,64 MPa, penggunaan substitusi abu arang tempurung kelapa 7,5% terhadap berat semen diperoleh kuat tekan 4,07 MPa, serta penggunaan substitusi abu arang tempurung kelapa 10% terhadap berat semen diperoleh kuat tekan 3,79 MPa.

5.10 Hasil Analisa Porositas

Pengujian porositas diawali dengan pengujian berat sampel dalam air dengan menggunakan timbangan yang ada di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau, dilanjutkan dengan menimbang berat sampel kondisi permukaan jenuh, kemudian dilanjutkan dengan mengoven sampel selama 24 jam dengan kondisi suhu 110° C, setelah sampel dioven selama 24 jam sampel dikeluarkan dan ditimbang beratnya. Setelah itu dilakukan pengumpulan data dari sampel – sampel yang digunakan dalam pengujian porositas, kemudian dilakukan analisis data porositas menggunakan rumus porositas beton. Setelah melalui tahap – tahap tersebut maka didapatkan hasil pengujian.

Hasil pengujian porositas dari benda uji dapat dilihat di Lampiran C-7 dan tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Porositas

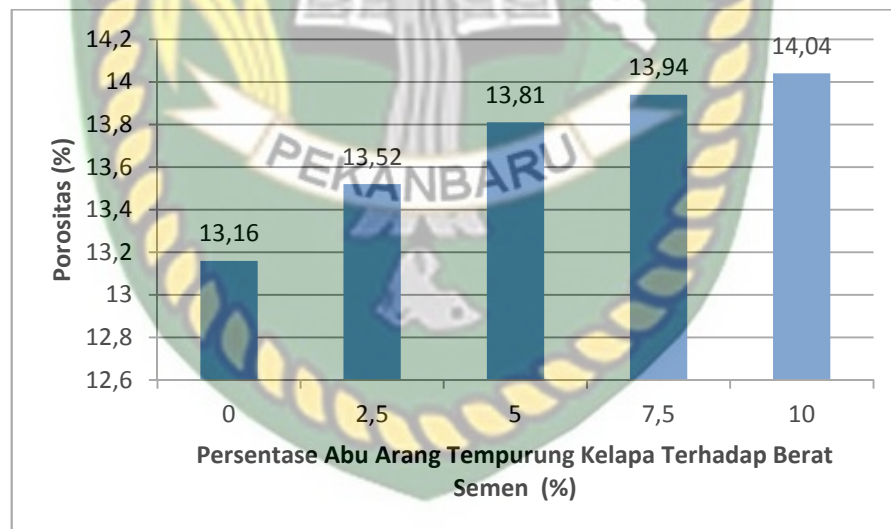
No	Persentase (%)	Porositas (%)	Standar Porositas
1	0	13,16	Memenuhi Syarat
2	2,5	13,52	Memenuhi Syarat
3	5	13,81	Memenuhi Syarat
4	7,5	13,94	Memenuhi Syarat
5	10	14,04	Memenuhi Syarat

Sumber: Hasil analisa penelitian.

Berdasarkan tabel 5.9 dapat dilihat bahwa substitusi abu arang tempurung kelapa menyebabkan terjadinya kenaikan persentase porositas terhadap semua benda uji dan memenuhi persyaratan dari (Trisnoyuwono, 2014) dalam tabel 3.8.

Dimana didapatkan nilai porositas sebesar 13,16% untuk persentase 0% substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen dan memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh (Trisnoyuwono, 2014), 13,52% untuk persentase 2,5% substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen dan memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh (Trisnoyuwono, 2014), 13,81% untuk persentase 5% substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen dan memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh (Trisnoyuwono, 2014), 13,94% untuk persentase 7,5% substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen dan memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh (Trisnoyuwono, 2014), 14,04% untuk persentase 10% substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen juga memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh (Trisnoyuwono, 2014).

Berdasarkan hasil pengujian porositas dalam tabel 5.9 mengenai hasil pengujian porositas dapat dibuat kedalam bentuk grafik seperti pada gambar 5.3 berikut ini :



Gambar 5.3 Grafik Pengaruh Substitusi Persentase Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Berat Semen Kepada Porositas Beton Porous

Berdasarkan gambar 5.3 terlihat nilai porositas beton mengalami peningkatan disetiap penambahan persentase substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen. Pada substitusi persentase abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen dengan persentase 0% mempunyai nilai porositas sebesar 13,16%, pada persentase 2,5% mempunyai nilai porositas sebesar 13,52%,

pada persentase 5% mempunyai nilai porositas sebesar 13,81%, pada persentase 7,5% mempunyai nilai porositas sebesar 13,94%, pada persentase 10% mempunyai nilai porositas sebesar 14,04%.

5.11 Hasil Analisa Permeabilitas

Permeabilitas merupakan kemudahan air atau gas melewati beton. Faktor yang mempengaruhi permeabilitas adalah faktor air semen dari campuran beton, kondisi lingkungan, dan sifat dari semen. (A.M. Neville, 1995). Sedangkan menurut (Hanta dan Makmur, 2015) untuk pengujian permeabilitas dapat dilakukan dengan menggunakan pengujian prinsip tinggi energi turun (Falling Head Meter).

Hasil pengujian permeabilitas benda uji yang dilakukan oleh peneliti berlokasi di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Riau dapat dilihat pada Lampiran C-6 dan pada tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Permeabilitas Beton Porous

Persentase (%)	Permeabilitas Rata – Rata (k = cm/s)	NRMCA, 2011	ACI 522R – 10
0	1,171	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat
2,5	1,243	Tidak Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
5	1,269	Tidak Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
7,5	1,285	Tidak Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
10	1,3	Tidak Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat

Sumber : Hasil analisa penelitian

Berdasarkan tabel 5.10 didapatkan penggunaan substitusi abu arang tempurung kelapa 0% terhadap berat semen diperoleh nilai permeabilitas 1,171 cm/s memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan (ACI 522R - 10) dalam tabel 3.9, penggunaan substitusi abu arang tempurung kelapa 2,5% terhadap berat semen diperoleh nilai permeabilitas 1,243 cm/s tidak memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan (ACI 522R - 10) dalam tabel 3.9, penggunaan abu arang tempurung kelapa 5% terhadap berat semen diperoleh nilai permeabilitas 1,269 cm/s tidak memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan (ACI 522R - 10) dalam tabel 3.9, penggunaan substitusi abu arang tempurung kelapa 7,5% terhadap berat semen diperoleh nilai permeabilitas 1,285 cm/s tidak memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan (ACI 522R - 10) dalam tabel 3.9, serta pada penggunaan substitusi abu arang tempurung kelapa 10% terhadap berat semen diperoleh nilai permeabilitas 1,3 cm/s juga tidak memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan (ACI 522R - 10) dalam tabel 3.9.

Berdasarkan data diatas dibuat kedalam bentuk grafik seperti pada gambar 5.4 berikut ini :



Gambar 5.4 Grafik Pengaruh Substitusi Persentase Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Berat Semen Kepada Permeabilitas Beton Pours

Dari gambar 5.4 hasil persentase beton porous dengan substitusi abu arang tempurung kelapa 0% terhadap berat semen memiliki nilai permeabilitas sebesar 1,171 cm/s, mengalami peningkatan pada persentase beton porous dengan substitusi abu arang tempurung kelapa 2,5% terhadap berat semen dengan nilai permeabilitas sebesar 1,243 cm/s, mengalami peningkatan pada persentase beton porous dengan substitusi abu arang tempurung kelapa 5% terhadap berat semen dengan nilai permeabilitas sebesar 1,269 cm/s, mengalami peningkatan pada persentase beton porous dengan substitusi abu arang tempurung kelapa 7,5% terhadap berat semen dengan nilai permeabilitas sebesar 1,285 cm/s, dan mengalami peningkatan pada persentase beton porous dengan substitusi abu arang tempurung kelapa 10% terhadap berat semen dengan nilai permeabilitas sebesar 1,3 cm/s

5.12 Hubungan Antara Kuat Tekan, Porositas dan Permeabilitas

Nilai kuat tekan, porositas, dan permeabilitas beton porous yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat di Lampiran C1 - Lampiran C7 dan tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5.11 Hubungan Antara Kuat Tekan, Porositas dan Permeabilitas

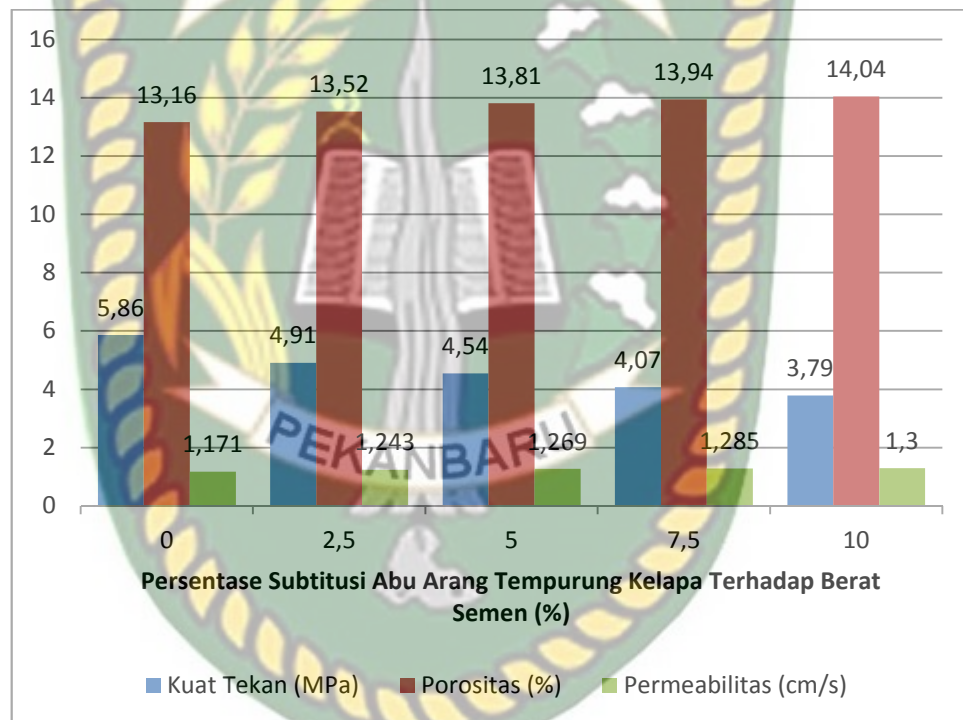
No	Permeabilitas (cm/s)	Porositas (%)	Kuat Tekan (MPa)
1	1,171	13,16	5,86
2	1,243	13,52	4,91
3	1,269	13,81	4,54
4	1,285	13,94	4,07
5	1,3	14,04	3,79

Sumber : Hasil analisa penelitian

Dari tabel 5.11 dengan nilai permeabilitas 1,171cm/s didapatkan nilai porositas sebesar 13,16% dan nilai kuat tekan sebesar 5,86 MPa, nilai permeabilitas 1,243 cm/s didapatkan nilai porositas sebesar 13,52% dan nilai kuat

tekan sebesar 4,91 MPa, nilai permeabilitas 1,269 cm/s didapatkan nilai porositas sebesar 13,81% dan nilai kuat tekan sebesar 4,54 MPa, nilai permeabilitas 1,285 cm/s didapatkan nilai porositas 13,94% dan nilai kuat tekan sebesar 4,07 MPa, sedangkan nilai permeabilitas 1,3 cm/s didapatkan nilai porositas 14,04% dan nilai kuat tekannya sebesar 3,79 MPa.

Berdasarkan tabel 5.11 maka dibuat kedalam bentuk grafik seperti pada gambar 5.5 mengenai hubungan kuat tekan, porositas dan nilai permeabilitas berikut ini :



Gambar 5.5 Hubungan Kuat Tekan, Porositas, dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Substitusi Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Berat Semen

Berdasarkan gambar 5.5 dapat diketahui bahwa beton porous dengan substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen menyebabkan penurunan terhadap kuat tekan, namun meningkatkan porositas dan permeabilitas. Dimana nilai kuat tekan tertinggi pada persentase 0% dengan nilai kuat tekan sebesar 5,86 MPa dan nilai kuat tekan terendah pada persentase 10% dengan nilai kuat tekan sebesar 3,79 MPa. Sedangkan untuk porositas, nilai persentase

porositas terendahnya pada persentase 0% substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen dengan nilai persentase porositas sebesar 13,16% dan nilai porositas tertinggi pada persentase 10% substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen dengan nilai persentase porositas sebesar 14,04%. Kemudian untuk nilai permeabilitas terendahnya pada persentase 0% substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen dengan nilai permeabilitas sebesar 1,171 cm/s dan untuk nilai permeabilitas tertinggi pada persentase 10% substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen dengan nilai permeabilitas sebesar 1,3 cm/s.

Sehingga dapat diketahui bahwa substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen tidak efektif karena mengakibatkan penurunan terhadap kuat tekan beton porous, namun dapat meningkatkan porositas dan permeabilitas beton porous.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari data penelitian analisis dan pembahasan dapat ditarik beberapa hal, yaitu sebagai berikut:

1. Kuat tekan beton porous dengan substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen mengakibatkan penurunan kuat tekan pada masing – masing peningkatan persentase abu arang tempurung kelapa dan memenuhi persyaratan kuat tekan beton porous menurut (NRMCA, 2011) sebesar 3,5 – 28 MPa dan (ACI 522R – 10) sebesar 2,8 – 28 MPa.
2. Porositas beton porous mengalami kenaikan pada masing – masing peningkatan persentase substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen dan memenuhi standar porositas menurut (Trisnoyuwono, 2014).
3. Permeabilitas beton porous mengalami kenaikan pada masing – masing peningkatan persentase substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen. Namun hanya pada persentase 0% substitusi abu arang tempurung kelapa terhadap berat semen saja yang memenuhi persyaratan permeabilitas beton porous yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) sebesar 0,2 – 1,2 cm/s dan (ACI 522R – 10) sebesar 0,14 – 1,22 cm/s, sedangkan pada persentase substitusi abu arang tempurung kelapa 2,5%, 5%, 7,5% dan 10% terhadap berat semen melewati persyaratan permeabilitas beton porous.
4. Abu arang tempurung kelapa tidak efektif digunakan sebagai substitusi terhadap berat semen karena mengakibatkan penurunan terhadap kuat tekan beton porous, namun dapat meningkatkan porositas dan permeabilitas beton porous.

6.2 Saran

Dari penelitian yang dilakukan oleh penulis, maka penulis menyampaikan beberapa saran terkait yaitu sebagai berikut ini.

1. Perlu adanya penelitian lanjutan beton porous dengan penggunaan bahan tambahan atau bahan campuran lainnya yang dapat meningkatkan kuat tekan beton porous.
2. Perlu adanya penelitian lanjutan beton porous menggunakan perawatan yang berbeda.
3. Perlu adanya penelitian lanjutan beton porous menggunakan perbandingan semen dan FAS yang berbeda.



DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committe. 2010. ACI 522R – 10, *Report On Pervious Concrete*. American Concrete Institute, USA.
- Antoni. 2008. *Green Concrete : Porous Concrete Pelajaran dari LKTB 2008*. Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Budi, Esmar dkk. 2012. *Kajian Pembentukan Karbon Aktiv Berbahan Arang Tempurung Kelapa*. Universitas Negeri Jakarta, Jakarta.
- Hanta L dan Makmur A. 2015. *Studi Eksperimental Pengaruh Bentuk Agregat Terhadap Porositas dalam Campuran Beton Berpori pada Aplikasi Jalur Pejalan Kaki*. Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta.
- Hasan, Hajatmi. 2006. *Pengaruh Arang Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Mortar*. Universitas Tadolaku, Palu.
- Harber, Paul. 2005. *Applicability of No – Fines Concrete As A Road Pavement. Dissertation. University Of Southern Queensland (Faculty of Engineering and Surveying), Australia*.
- Mustaqim, Iwan M, dkk. 2016. *Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Paving Block*. Universitas Pasir Pengaraian, Pasir Pengaraian.
- NRMCA. 2010. *Pervious Concrete and Construction (International Concrete Sustainability Conference Dubai, December 2010)*. USA.
- NRMCA. 2004. “What, Why, and How? Pervious Concrete” *Concrete in Practice Series, CIP 38*. NRMCA (National Ready Mixed Concrete Association), USA
- Nugroho, Eko H. 2010. *Analisis Porositas dan Permeabilitas Beton dengan Bahan Tambah Fly Ash untuk Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)*. Skripsi. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Prasetya, Adi. 2013. *Kajian Jenis Agregat dan Proporsi Campuran Terhadap Kuat Tekan dan Daya Tembus Beton Porus*. Universitas Janabadra, Yogyakarta.
- Raju, Khrisna. 1983. *Design Of Concrete Mixes*. CBS Publishers & Distributors, India.
- Riyanto, Dodi. 2018. *Pengaruh Pemakaian Arang Batok Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton K225*. Universitas Muhammadiyah Palangkaraya, Palangkaraya.

- Shetty, M.S. 2000. *Concrete Technology – Technology – Theory and Practice*. S. Chand Limited, India.
- BSN, 1990. *SNI 03-1974-1990 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*, Badan Standarisasi Nasional.
- Tjokrodimulyo, K. 2007. *Serba – Serbi Beton Non Pasir (Hasil Penelitian di Laboratorium dan Uji Coba Lapangan)*. JTSL-FT. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Trisnoyuwono, Diarto, dkk. 2009. *Beton Non Pasir Dengan Agregat dari Batu Alam (Batu Ape) Sungai Lua Kabupaten Kepulauan Talaud Sulawesi Utara*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Trisnoyuwono, Diarto. 2014. *Beton Non Pasir*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- Trisnoyuwono, Diarto. 2015. *Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Sifat Workability dan Sifat Fisik – Mekanik Beton Non Pasir dengan Agregat Alwa Asal Cilacap*. Politeknik Negeri Kupang, Kupang.
- Wardi. 2003. *Pengaruh Pemakaian Arang Batok Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton*. Universitas Bung Hatta, Padang.