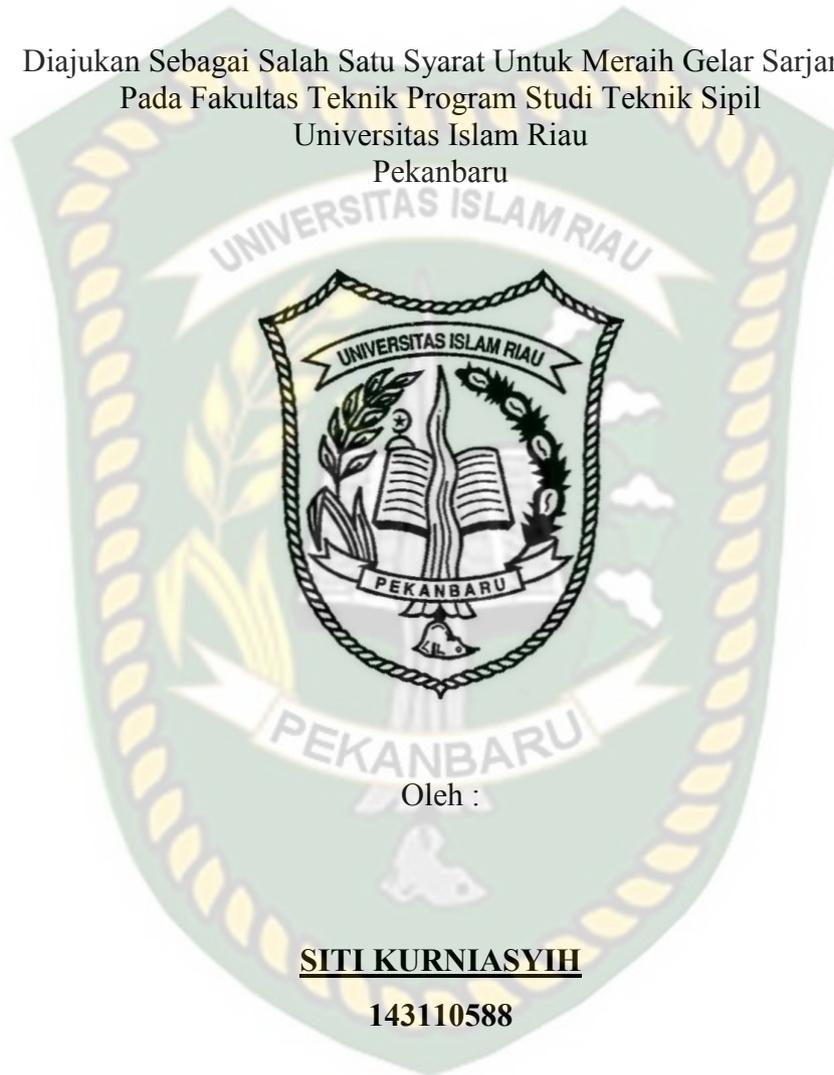


**STUDI KUAT TEKAN, POROSITAS DAN PERMEABILITAS
DENGAN PENAMBAHAN ABU ARANG KAYU KARET
TERHADAP BETON POROUS
TUGAS AKHIR**

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



Oleh :

SITI KURNIASYIH

143110588

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

2020

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikumWr. Wb.

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Studi Kuat Tekan, Porositas, Dan Permeabilitas Dengan Penambahan Abu Arang Kayu Karet Terhadap Beton Porous"**. Adapun penulisan tugas akhir dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan kurikulum akademis untuk menyelesaikan program studi (SI) pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Riau. Didalam pembuat beton hendaknya terlebih dahulu membuat rancangan campuran beton (mix design), untuk mengetahui kuat tekan, porositas dan permeabilitas dari beton porous tersebut. Penulis mengakui bahwa kesempurnaan itu hanya milik Allah SWT. 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.

Wassalamu'alaikumWr. Wb.

Pekanbaru, Desember 2019

Siti Kurniasyih
NPM.143110588

12. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
13. Seluruh Staff Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
14. Penghargaan setinggi-tingginya kepada bapak Tukiran dan ibu Siti Sukaesih selaku orang tua serta Muhammad Firmansyah ST selaku abang, yang selalu memberikan nasehat-nasehat dan bantuan moril maupun finansial.
15. Bapak Holdun Yazid ST., MT selaku Kepala Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
16. Kepada rekan-rekan yang telah membantu di laboratorium terutama Miswanti, ST, MT dan Rahmat Hidayat, ST.
17. Buat teman dan sahabat seperjuangan Siti Aminah Pohan ST, Kiki Hariadi ST, Riza Nurrohim ST, Teguh Pambudi SH, Surya Mayroni SH, Muhammad Solihin ST, Adi Nurhakim ST, Rozana ST, Muhammad Hadi ST, Ridwan Saleh, Nurfadilla, Jeprianto, serta rekan-rekan Mahasiswa Teknik Sipil Angkatan 2014 Universitas Islam Riau dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Terima Kasih atas segala bantuannya. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi kita semua dan semoga amal baik kita mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT. Amin...

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Pekanbaru, Februari 2020

Penulis

Siti Kurniasyih

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
UCAPAN TERIMA KASIH	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR NOTASI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
ABSTRAK	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Penelitian Terdahulu	5
2.3 Keaslian Penelitian.....	8
BAB III LANDASAN TEORI	9
3.1 Umum	9
3.2 Material Penyusun Beton Porous	10
3.2.1 Semen Portland	10
3.2.2 Agregat.....	13
3.2.3 Air.	20

3.2.4	Admixture (Bahan Tambahan).....	23
3.3	Pengujian Material.	24
3.3.1	Analisa Saringan Agregat Kasar	24
3.3.2	Berat Isi Agregat Kasar	25
3.3.3	Berat Jenis Penyerapan Air Agregat Kasar.....	26
3.3.4	Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar.	27
3.3.5	Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar	28
3.4	Perancangan Beton.....	28
3.5	<i>Slump Test</i>	33
3.6	Perawatan Beton.....	35
3.6.1	Tujuan Perawatan Beton	35
3.6.2	Metode Perawatan Beton	36
3.7	Kuat Tekan Beton	37
3.8	Porositas	40
3.9	Permeabilitas	41
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		43
4.1	Lokasi Penelitian.....	43
4.2	Bahan Penelitian.....	43
4.3	Peralatan Penelitian	44
4.4	Teknik Penelitian... ..	50
4.5	Tahap Pelaksanaan Penelitian	50
4.6	Tahap Analisa Data	54
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		56
5.1	Umum.....	56
5.2	Hasil Pemeriksaan Material Benda Uji	56
5.3	Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar.....	57
5.4	Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Serta Penyerapan Material.....	57
5.5	Hasil Pemeriksaan Kadar Air.....	58

5.6 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur	58
5.7 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Material.....	59
5.8 Hasil Pemeriksaan Campuran Beton Porous.....	59
5.9 Hasil dan Analisa Nilai <i>Slump</i> Beton.....	60
5.10 Hasil Analisa Kuat Tekan Beton Porous.....	62
5.11 Hasil Analisa Porositas	65
5.12 Hasil Analisa Permeabilitas	66
5.13 Hubungan Antara Kuat Tekan, Porositas, dan Permeabilitas ..	68
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
6.1 Kesimpulan.....	69
6.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN A.....	A-1
LAMPIRAN B.....	B-1
LAMPIRAN C.....	C-1
LAMPIRAN D.....	D-1
LAMPIRAN KUMPULAN SURAT-SURAT	

DAFTAR NOTASI

- A* = Jumlah air yang dibutuhkan (litr/m³)
- ACI* = *American Concrete Institute*
- Ah* = Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halus (liter/m³)
- Ak* = Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasar (liter/m³)
- ASTM* = *American Standard For Testing Material*
- B* = Jumlah air (Kg/m³)
- BA* = Berat benda uji kering oven (gram)
- BJ* = Berat benda uji kering permukaan jenuh SSD (gram)
- BK* = Berat benda uji didalam air (gram)
- BNP* = Beton Non – Pasir
- BS* = *British Standard*
- D* = Jumlah agregat kasar (Kg/cm³)
- Da* = Penyerapan air pada agregat kasar (%)
- Dk* = Kandungan air dalam agregat kasar (%)
- F.A.S* = Faktor air seman
- fc'* = Kuat tekan beton (Mpa)
- fc'r* = Kuat tekan beton rata – rata beton dari jumlah benda uji (Mpa)
- fc'k* = Kuat Tekan Karakteristik (Mpa)
- K* = Ketetapan Konstanta
- M* = Nilai Tambah Margin (1 N/mm² = 1 Mpa)
- Mpa* = Mega pascal (1 Mpa = 10 Kg/cm³)
- n-1* = Jumlah Benda Uji
- N/mm²* = Newton/mm² (1 N/mm² = 1 Mpa)

P = Beban aksial yang bekerja (Kg)

S = Standar deviasi (Mpa)

SSD = Koreksi kadar air (Saturated surface dry)

SNI = Standar nasional indonesia

W_h = Perkiraan air untuk agregat halus

W_k = Perkiraan air untuk agregat kasar



DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
Tabel 3.1	Jenis – jenis Beton Berdasarkan Berat Jenis dan Pemakaian.....	9
Tabel 3.2	Jenis – jenis Semen Portland (ASTM dalam Antoni,2007).....	12
Tabel 3.3	Senyawa Semen Portland (Mulyono,2003).....	13
Tabel 3.4	Perkiraan Kebutuhan Air Permeter Kubik Beton.....	22
Tabel 3.5	Nilai Slump untuk pekerjaa beton.....	33
Tabel 3.6	Nilai Rongga Beton Non – Pasir (Trisnoyuwono).....	39
Tabel 3.7	Permeabilitas Beton Porous (NRMCA, 2011 dan ACI 522R – 10)	40
Tabel 4.1	Jumlah Benda Uji Penelitian.....	50
Tabel 5.1	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Persentase Lolos Agregat Kasar 1/2.....	54
Tabel 5.2	Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Serta Penyerapan Material.....	55
Tabel 5.3	Pemeriksaan Kadar Air Agregat 1/2.....	55
Tabel 5.4	Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat.....	56
Tabel 5.5	Berat Isi Agregat.....	56
Tabel 5.6	Proporsi Campuran Beton (<i>Mix Design</i>) Untuk 3 Benda Uji Silinder Ukuran 150 cm x 30 cm Sesudah Koreksi Kadar Air SSD (<i>Saturated Surface Dry</i>).....	57
Tabel 5.7	Hasil Slump Test Beton.....	58
Tabel 5.8	Hasil Uji Kuat Tekan Beton Porous Penambahan Abu Arang Kayu Karet Terhadap Berat Semen.....	60
Tabel 5.9	Hasil Uji Porositas.....	62
Tabel 5.10	Hasil Uji Permeabilitas.....	64
Tabel 5.11	Hubungan Antara Kuat Tekan, Porositas dan Permeabilitas.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1	Cawan.....	43
Gambar 4.2	Oven.....	43
Gambar 4.3	Batang Penusuk.....	44
Gambar 4.4	Penggaris.....	44
Gambar 4.5	Saringan.....	45
Gambar 4.6	Wadah.....	45
Gambar 4.7	Timbangan Manual dan Digital.....	46
Gambar 4.8	Alat Uji Slump.....	46
Gambar 4.9	Cetakan Silinder.....	47
Gambar 4.10	Mesin Uji Tekan.....	48
Gambar 4.11	Mesin Pengaduk (Molen).....	48
Gambar 4.13	Palu.....	49
Gambar 4.14	Alat Pengujian Permeabilitas (Galon Air).....	49
Gambar 4.15	Bagan Alir Penelitian.....	54
Gambar 5.1	Grafik Pengaruh Penambahan Persentase Abu Arang Kayu Karet Terhadap Berat Semen Kepada Nilai Slump.....	60
Gambar 5.2	Grafik Pengaruh Penambahan Persentase Abu Arang Kayu Karet Terhadap Berat Semen Kepada Kuat Tekan Beton Porous Pada Umur 28 Hari.....	62
Gambar 5.3	Grafik Pengaruh Penambahan Persentase Abu Arang Kayu Karet Terhadap Berat Semen Kepada Porositas Beton Porous.....	64
Gambar 5.4	Grafik Pengaruh Penambahan Persentase Abu Arang Kayu Karet Terhadap Berat Semen Kepada Permeabilitas Beton Porous.....	66
Gambar 5.5	Hubungan Kuat Tekan, Porositas dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Penambahan Abu Arang Kayu Karet Terhadap Berat Semen.....	68

STUDI KUAT TEKAN, POROSITAS, DAN PERMEABILITAS DENGAN PENAMBAHAN ABU ARANG KAYU KARET TERHADAP BETON POROUS

SITI KURNIASYIH

NPM : 143110588

Abstrak

Beton merupakan material konstruksi pada saat ini sudah sangat umum digunakan. Salah satu inovasi yang dilakukan ialah, beton porous atau beton non-pasir merupakan bentuk sederhana dari beton ringan yang dibuat dengan cara menghilangkan penggunaan agregat halus. Pada penelitian beton porous ini dilakukan dengan menggunakan bahan tambah abu arang kayu karet, umumnya limbah arang kayu karet dari sisa pembakaran, jarang dimanfaatkan oleh masyarakat sehingga arang kayu karet tersebut terurai secara alamiah dan kembali ke alam tanpa memberikan manfaat. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh dan manfaat lain dari arang kayu karet sehingga dapat bermanfaat untuk bangunan dan juga masyarakat.

Pada pembuatan campuran (mix desain) beton porous, mengacu pada buku beton non – pasir dengan persentase penambahan abu arang kayu karet sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap berat semen. penelitian ini menggunakan 30 sampel dengan umur pengujian beton porous 28 hari dan dimensi benda uji silinder 15 cm x 30 cm.

Berdasarkan hasil penelitian didapat nilai kuat tekan persentase penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen 0% adalah 4,14 Mpa, persentase 5% adalah 4,23 Mpa, persentase 10% adalah 5,10 Mpa, persentase 15% adalah 4,52 Mpa, dan persentase 20 % adalah 4,43 Mpa. Nilai kuat tekan beton porous dapat memenuhi syarat menurut (NRMCA, 2011) dan (ACI 522R – 10). Porositas pada persentase penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% telah memenuhi persyaratan menurut (ACI 522R -10). Dan untuk permeabilitas beton porous dengan persentase penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen 0%, 5%, 10% dan 15% telah memenuhi syarat berdasarkan (NRMCA,2011) dan (ACI 522R -10), sedangkan persentase penambahan abu arang kayu karet 20% terhadap berat semen melewati persyarat permeabilitas. Sehingga penggunaan abu arang kayu karet efektif sampai dengan persentase 10% karena mengalami kenaikan dan kemudian mengalami penurunan hingga persentase 20%. Namun, untuk porositas dan permeabilitas mengalami penurunan.

Kata kunci : Beton Porous, *mix desain*, kuat tekan, porositas, permeabilitas.

**STUDY OF COMPRESSIVE STRENGTH, POROSITY, AND
PERMEABILITY WITH THE ADDITION OF CHARCOAL WOOD ASH
TO POROUS CONCRETE**

SITI KURNIASYIH

NPM : 143110588

Abstract

Concrete is a construction material that is currently very commonly used. One of the innovations made is that porous concrete or non-sand concrete is a simple form of lightweight concrete that is made by eliminating the use of fine aggregate. In this porous concrete research carried out by using rubber wood charcoal ash added material, generally waste wood charcoal waste from burning remains, rarely used by the community so that the rubber wood charcoal decomposes naturally and returns to nature without providing benefits. This research is intended to determine the effect and other benefits of rubber wood charcoal so that it can be useful for buildings and also the community.

In making porous concrete mixes, referring to non-sand concrete books with the percentage of rubber wood charcoal ash added by 0%, 5%, 10%, 15%, and 20% to the weight of cement. This study used 30 samples with 28 days porous concrete testing age and cylinder dimensions of 15 cm x 30 cm.

Based on the results of the research, the compressive strength value of the addition of rubber wood charcoal ash to cement weight of 0% was 4.14 MPa, the percentage of 5% was 4.23 MPa, the percentage of 10% was 5.10 MPa, the percentage of 15% was 4.52 MPa, and the percentage of 20% is 4.43 MPa. The compressive strength of porous concrete can meet the requirements according to (NRMCA, 2011) and (ACI 522R - 10). Porosity in the percentage of the addition of rubber wood charcoal ash to the weight of cement 0%, 5%, 10%, 15% and 20% has met the requirements according to (ACI 522R - 10). And for the permeability of porous concrete with the addition percentage of rubber wood charcoal ash to cement weight of 0%, 5%, 10% and 15% has met the requirements based on (NRMCA, 2011) and (ACI 522R -10), while the percentage of addition of rubber wood charcoal ash 20% by weight of cement passes the permeability requirement. So that the use of rubber wood charcoal ash is effective up to a percentage of 10% because it has increased and then has decreased to a percentage of 20%. However, porosity and permeability have decreased.

Keywords: Porous Concrete, mix design, compressive strength, porosity, permeability

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LatarBelakang

Beton adalah material kontruksi yang pada saat ini sudah sangat umum digunakan. Saat ini berbagai bangunan sudah menggunakan material dari beton. Pentingnya peran kontruksi beton menurut kualitas beton yang memadai. Untuk memperoleh suatu penemuan alternative penggunaan kontruksi beton dalam berbagai bidang secara tepat dan efisien, sehingga akan diperoleh mutu yang lebih baik maka para Peneliti telah banyak melakukan percobaan sehingga mendapatkan hasil yang baik. Beton merupakan unsur yang sangat penting, mengingat fungsinya sebagai salah satu bentuk struktur yang paling banyak digunakan oleh masyarakat. Keadaan ini dapat dimaklumi, Karena system kontruksi beton mempunyai banyak kelebihan bila dibandingkan dengan bahan lain. Keunggulan beton sebagai bahan kontruksi antara lain mempunyai kuat tekan yang paling tinggi, dapat mengikuti bentuk bangunan secara bebas, tahan terhadap api dan biaya perawatan yang *relative* lebih murah (Akbar, 2013).

Salah satu inovasi yang dilakukan ialah beton porous atau beton non-pasir merupakan bentuk sederhana dari beton ringan yang dibuat dengan cara menghilangkan penggunaan agregat halus. Selain dikenal dengan sebutan beton porous beton ini juga dikenal dengan sebutan lain yaitu *permeconcrete*, *no-fine concrete* serta beberapa nama lainnya. Akibat tidak digunakan pasir dalam beton porous maka terciptalah rongga yang diisi udara. Kadar rongga berkisar 12% sampai 25%. Rongga ini mengakibatkan berkurangnya kepadatan dari beton serta berkurangnya jumlah luasan yang perlu diselimuti pasta semen, sehingga dapat mengurangi porsi semen dalam campuran dan mampu menghemat biaya kontruksi. Adapun kebutuhan semen pada beton porous m³ berkisar antara 70-130 kg. Kelebihan utama dalam beton pasir ini adalah dapat meredam panas, proses pembuatannya yang cepat, kepadatan yang rendah, porositasnya yang tinggi dan sifat penyusutannya yang rendah (Trisnoyuwono, 2014).

Dalam hal ini penulis melakukan penelitian mengenai beton porous yang akan dicampur dengan bahan tambah abu arang kayu karet. Pencampuran ini dilakukan sebagai inovasi mengenai penggunaan arang kayu karet yang mana pada penggunaan arang kayu karet ini sangat minim pemanfaatannya. Untuk itu penulis melakukan inovasi baru dengan menggunakan abu arang kayu karet sebagai campuran untuk beton porous. Pada umumnya limbah arang kayu karet tersebut terurai secara alamiah dan kembali ke alam tanpa memberikan manfaat. Di daerah Riau, khususnya di Kabupaten Kampar Desa Pagaruyung banyak dijumpai limbah arang kayu yang tidak digunakan bahkan dibuang begitu saja, oleh karena itu penulis mencoba melakukan penelitian dengan cara memanfaatkan kembali limbah arang kayu karet yang berasal dari Desa Pagaruyung tersebut untuk keperluan penelitian. Sehingga dapat bermanfaat untuk masyarakat setempat khususnya dibidang pembangunan.

Berdasarkan latar belakang tersebut penulis melakukan penelitian yang berjudul **“Studi Kuat Tekan, Porositas, Dan Permeabilitas Dengan Penambahan Abu Arang Kayu Karet Terhadap Kuat Tekan Beton Porous”**.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan abu arang kayu karet dengan persentase 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen terhadap kuat tekan ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan abu arang kayu karet dengan persentase 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen terhadap permeabilitas?
3. Bagaimana pengaruh penambahan abu arang kayu karet dengan persentase 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen terhadap porositas?

4. Apakah abu arang kayu karet efektif dimanfaatkan sebagai penambahan abu arang kayu karet dengan persentase 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% terhadap berat semen?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Menentukan pengaruh penambahan abu arang kayu karet dengan persentase 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen terhadap kuat tekan.
2. Menentukan pengaruh penambahan abu arang kayu karet dengan persentase 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen terhadap permeabilitas.
3. Menentukan pengaruh penambahan abu arang kayu karet dengan persentase 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen terhadap porositas.
4. Menentukan keefektifan abu arang kayu karet terhadap penambahan abu arang kayu karet dengan persentase 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan ilmu pengetahuan khusus dalam teknologi beton berpori yang memenuhi syarat dan lebih ramah lingkungan.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan pelaku konstruksi untuk mengetahui kuat tekan beton porous pada umur uji 28 hari dengan menggunakan abu arang kayu karet.
3. Memberikan nilai tambah terhadap limbah arang kayu karet dimana selama ini, merupakan limbah arang kayu karet sangat minim pemanfaatannya.
4. Untuk penulis, merupakan suatu pemikiran baru yang perlu terus dikembangkan dan diupayakan untuk disosialisasikan kemasyarakat pemakai beton porous.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi lebih sederhana, tetapi memenuhi persyaratan teknis maka perlu diambil beberapa batasan masalah diantaranya:

1. Sifat fisik dan sifat kimia arang kayu karet tidak diteliti.
2. Setiap variasi pencampuran benda uji sebanyak 3 buah.
3. Persentase variasi abu arang kayu karet 0 %, 5%, 10%, 15% dan 20% (terhadap berat semen).
4. Dalam beton porous dilakukan penambahan abu arang kayu karet (tanpa mengurangi semen).
5. Umur pengujian beton porous 28 hari.
6. Semua benda uji dibuat dengan cetakan silinder(15 cm x 30 cm).
7. Perawatan benda uji dengan cara merendam didalam bak perendaman beton.
8. Campuran beton porous direncanakan menurut buku beton non-pasir (Trisnoyuwono,2014).
9. Faktor air semen (FAS) ditetapkan 0,35.
10. Perbandingan semen dan beton yang digunakan ialah 1 : 6 (Fransisca,2019).
11. Nilai porositas berdasarkan (ACI 522R-10 dalam Hanta, 2015).
12. Nilai kuat tekan berdasarkan Nasional Ready Mixed Concrete Association (NRMCA,2011) dan Americal Concrete Institute (ACI 522R – 10).
13. Nilai permeabilitas berdasarkan Nasional Ready Mixed Concrete Association (NRMCA,2011)sdan Americal Concrete Institute (ACI 522R – 10).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan pustaka dibuat sebagai tahapan awal sebelum dilakukannya penelitian. Hal ini dilakukan sebagai bahan perbandingan dalam menganalisis hasil penelitian. Ada beberapa hasil penelitian terdahulu yang dapat dijadikan sebagai perbandingan dalam penelitian, berikut hasil penelitian tersebut.

2.2 Penelitian Terdahulu

Beberapa hasil penelitian terdahulu yang pernah dilakukan mengenai beton dan penambahan abu sebagai berikut:

Ruswanto, (2017). melakukan penelitian berjudul "*Pengaruh Penambahan Abu Pembakaran Serbuk Kayu Jati Terhadap Kuat Tekan Beton Dan Serapan Air Pada Paving Block*". *Paving block* terdiri dari campuran semen, air dan agregat halus. Ketika semen dan air bercampur maka akan terjadi proses hidrasi semen menghasilkan *kalsium silikat hidrat (CSH)*, panas dan *kalsium hidroksida (Ca(OH)₂)*. Unsur *Ca (OH)₂* bersifat basa kuat sehingga menurunkan kuat tekan paving block. Unsur tersebut dapat direaksikan kembali dengan pozzoland untuk menghasilkan unsur *CSH* kembali. Namun dengan biaya yang relative mahal, timbul inovasi baru untuk mengolah limbah yang memiliki unsur yang sama dengan *pozzolan* yaitu *silica* seperti limbah serbuk kayu. Limbah serbuk kayu jati diolah dengan dibakar selama beberapa jam. Abu yang dihasilkan diayak dengan menggunakan saringan no 200. Benda uji dicetak menggunakan mesin *press vibrasi* dengan variasi penambahan 10%, 15%, 20%, dan 25% dan direndam selama 28 hari. Kuat tekan rata-rata yang dihasilkan per variasinya adalah 11,083 MPa, 9,917 MPa, 10,083 MPa dan 8,250 MPa. Dengan daya serap air 7,83 %, 7,79 %, 8,59 % dan 8,05 %. *Paving block* dengan penambahan abu serbuk kayu mengalami penurunan kuat

tekan dari *paving block* normal yaitu 15,167 MPa. *Paving block* tersebut termasuk katagori mutu D, bias digunakan untuk taman dan penggunaan lain sehingga perlu dilakukannya penelitian lanjutan untuk variasi penambahan dan jenis kayu lainnya untuk mendapatkan *paving block* dengan mutu yang lebih baik.

Chowdhury, (2015). Melakukan penelitian yang berjudul “*Pengembangan Kekuatan Beton Dengan Abu Kayu Campuran Semen Dan Penggunaan Model Komputasi Lunak Untuk Memprediksi Parameter Kekuatan*”. Dalam studi ini, abu kayu yang dibuat dari pembakaran debu gergaji yang tidak terkontrol dievaluasi kesesuaiannya sebagai pengganti semen parsial pada beton konvensional. Debu gergaji telah diperoleh dari unit pemoles kayu. Karakteristik fisik, kimia, dan mineralogi dari abu kayu disajikan dan dianalisis. Parameter kekuatan (kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur) beton dengan semen abu kayu dicampur dievaluasi dan dipelajari. Dua rasio air terhadap pengikat yang berbeda (0,4 dan 0,45) dan lima persentase penggantian abu kayu yang berbeda (5%, 10%, 15%, 18% dan 20%) termasuk spesimen kontrol untuk kedua rasio air-ke-semen dipertimbangkan. Hasil kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur menunjukkan bahwa sifat kuat campuran beton menurun sedikit dengan kenaikan kadar abu kayu, tetapi kekuatan meningkat seiring bertambahnya usia. Hasil tes XRD dan analisis kimia abu kayu menunjukkan bahwa mengandung silika amorf dan dengan demikian dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen. Melalui analisis hasil yang diperoleh dalam penelitian ini, disimpulkan bahwa abu kayu dapat dicampur dengan semen tanpa mempengaruhi sifat kekuatan beton. Juga menggunakan teori statistik baru dari Support Vector Machine (SVM), parameter kekuatan diprediksi dengan mengembangkan model yang sesuai dan sebagai hasilnya, penerapan komputasi lunak dalam rekayasa struktural telah berhasil disajikan dalam makalah penelitian ini.

Murti, (2009). melakukan penelitian berjudul “*Pengaruh Pemanfaatan Arang Kayu Sebagai Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Campuran Beton*” Penggunaan

beton sebagai bahan dasar konstruksi meningkat pesat seiring dengan pesatnya perkembangan pembangunan, terutama untuk pembangunan gedung-gedung bertingkat, jembatan, terowongan, bendungan, dam, ataupun untuk konstruksi pabrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh campuran beton dengan menggunakan arang kayu sebagai agregat kasar ditinjau terhadap karakteristik bahan beton yang dihasilkannya. Bahan untuk penelitian ini adalah semen PPC Type 1, pasir lumajang, dan agregat kasar arang kayu. Benda uji menggunakan Kubus 15 cm x 15 cm x 15 cm, dengan masing-masing perlakuan berjumlah 10 buah benda uji. Dari hasil pengujian didapat Kuat Tekan Hancur Rata-rata untuk perbandingan : 0,7:1:3:1 = 14,848 Mpa dengan Berat Volume = 2115,554 kg/m³, 0,7:1:2.5:1.5 = 11,633 Mpa dengan Berat Volume = 2007,704 kg/m³, 0,7:1:2:2 = 11,840 Mpa dengan Berat Volume = 1898,964 kg/m³, 0,7:1:1,5:2,5 = 10,608 Mpa dengan Berat Volume = 1780,740 kg/m³, 0,7:1:1:3 = 9.992 Mpa dengan Berat Volume = 1693,925 kg/m³. Kuat tekan hancur rata-rata tertinggi diperoleh dari perlakuan pertama (0,7:1:3:1) yaitu 14,848 MPa, dan terendah pada perlakuan kelima (0,7:1:1:3) sebesar 9,992 MPa. Berdasarkan kajian dan analisa mengenai pengaruh pemanfaatan arang kayu sebagai agregat kasar terhadap karakteristik campuran beton, maka disimpulkan bahwa: Pada peninjauan hubungan antara slump dengan proporsi campuran, ternyata tidak terlihat hubungan yang signifikan antara keduanya. Pada peninjauan hubungan berat volume dengan proporsi campuran, terlihat bahwa penambahan proporsi agregat arang kayu akan menurunkan pula berat volume dari benda uji beton. Semakin besar komposisi arang kayu yang digunakan pada campuran beton, akan memperlemah kuat tekan karakteristik benda uji beton secara keseluruhan. Penurunan kuat tekan benda uji beton juga sejalan dengan penurunan berat volume dari benda uji beton tersebut.

Yusnita, (2008). melakukan penelitian berjudul "*Pengaruh Penambahan Abu Pembakaran Serbuk Kayu Terhadap Sifat Mekanik Dan Sifat Fisika Beton*". Dalam penelitian ini memanfaatkan abu pembakaran serbuk kayu sebagai bahan tambahan dalam campuran beton. Pengujian dilakukan terhadap sifat mekanik dan sifat fisika

dari beton tersebut. Benda uji dibuat dengan komposisi campuran beton 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil, pada variasi penambahan abu pembakaran serbuk kayu terhadap semen sebesar 5%, 10%, dan 15%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu pembakaran serbuk kayu dapat meningkatkan kekuatan tekan beton sebesar 9,54% dari beton normal pada penambahan abu pembakaran serbuk kayu sebesar 15%. Sedangkan untuk sifat fisiknya penyerapan air dan porositas dengan menggunakan abu pembakaran serbuk kayu yaitu mulai dari 4,94%, hingga 14,53% dan mulai 4,16% hingga 14,89%, lebih tinggi dari beton normal.

2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian yang dilakukan terdapat perbedaan dengan peneliti sebelumnya. Perbedaan tersebut terletak pada jenis semen *Porland* (semen padang) dan material yang digunakan seperti : agregat kasar $\frac{1}{2}$ yang berasal dari Pangkalan, Kampar, air yang digunakan adalah air dari sumur bor Laboratorium Teknik dan bahan tambahan ialah abu arang kayu karet, serta persentase variasi penggunaan abu arang kayu karet 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. adapun jenis beton yang diteliti adalah beton porous..

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Beton porous (*Porous Concrete*) adalah material beton special dengan porositas tinggi yaitu antara 15-30% rongga udara sehingga mudah untuk dilalui air. Beton porous memiliki pori-pori yang cukup banyak dan berhubungan. Fungsi utama beton porous adalah sebagai perkerasan beton penutup permukaan tanah dengan tujuan agar dapat air dapat dengan mudah mengalir ke bawahnya, dan dengan demikian kelebihan air permukaan akan dapat kembali terserap kedalam tanah, dari pada hanya terbuang kelaut (Antoni, 2008).

Secara sederhana beton porous gabungan bahan yang terdiri dari agregat kasar yang dicampur dengan air dan semen sebagai pengikat dan pengisi antara agregat kasar. Umumnya 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 permeable 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).

Berdasarkan berat jenis dan pemakaiannya beton dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok seperti yang ditunjukkan dalam tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jenis-jenis Beton Berdasarkan Berat Jenis dan Pemakaiannya (Tjokrodinuljo, 2003).

Jenis Beton	Berat Jenis Beton (Kg/m ³)	Pemakaian
Beton sangat ringan	<1000	Non struktur
Beton ringan	1000 – 2000	Struktur ringan
Beton normal	2300 – 2500	Struktur
Beton berat	n>3000	Perisai Sinar X

3.2 Material Pembentuk Beton Porous

Berikut ini akan dijabarkan mengenai bahan-bahan pembentuk beton yang juga dipakai sebagai bahan beton porous yang akan diteliti pada penelitian ini. Adapun material-material dalam pembentuk beton porous adalah sebagai berikut.

3.2.1 Semen Portland

Menurut ASTM C-150, 1985, semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya (Mulyono, 2003).

Menurut SII 0031-81 (Tjokrodinuljo, 1996), semen (sering disebut dengan semen Portland) yang dipakai di Indonesia dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

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

Semen Portland yang digunakan untuk pembuatan beton porous, yaitu semen yang berbutir halus. Kehalusan butir semen ini dapat diraba/ dirasakan oleh tangan. Semen yang tercampur atau mengandung gumpalan – gumpalan (meskipun kecil), tidak baik untuk pembuatan beton porous.

Semen Portland memiliki sifat-sifat yang penting yaitu:

1. Kehalusan Butiran (*Fineness*)

Reaksi antara semen dan air dimulai dari permukaan butiran-butiran semen, sehingga semakin luas permukaan butiran semakin cepat proses hidrasi. Secara umum semen berbutir halus dapat meningkatkan *kohesi* pada beton segar dan dapat pula mengurangi pemisahan air (*bleeding*).

2. Waktu Ikatan

Waktu ikatan adalah waktu dimana sejak air dicampurkan dengan semen hingga semen mengeras. Waktu ikat dibagi menjadi dua, yaitu waktu ikatan awal (*initial time*) dan waktu ikatan akhir (*final setting time*). Waktu dari ikatan awal dan waktu sampai pastinya menjadi masa yang keras disebut waktu ikatan akhir (*final setting time*).

3. Panas Hidrasi

Panas hidrasi didefinisikan sebagai kuantitas panas dalam kalori/gram pada semen yang terhidrasi. Waktu berlangsungnya dihitung sampai proses hidrasi berlangsung secara sempurna pada temperatur tertentu. Panas hidrasi untuk semen dengan panas hidrasi rendah tidak lebih dari 60 kalori/gram sampai pada tujuh hari pertama dan 70 kalori/gram sampai 28 hari.

4. Perubahan Volume (Kekekalan)

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

5. 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 pada rasio antara semen dan air serta aspek-aspek bahan semen seperti kehalusan dan kecepatan hidrasi. Konsistensi mortar tergantung pada konsistensi semen dan agregat pencampurnya.

6. 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 berpengaruh pada proporsi campuran semen dalam campuran.

7. Kekuatan tekan

Kekuatan tekan semen diuji dengan cara membuat mortar yang kemudian ditekan sampai hancur. Contoh semen yang diuji dicampur dengan pasir silika dengan perbandingan tertentu, kemudian dibentuk dengan kubus berukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}$.

Beberapa jenis semen menurut Departemen Pekerjaan Umum dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Jenis-jenis Semen Portland (ASTM, 2007)

Tipe Semen	Sifat Pemakaian	Kadar Senyawa (%)				Kehalusan (m^2/kg)	Kuat 1 hari (kg/cm^2)	Panas Hidrasi (I/g)
		C ₃	C ₂	C ₃	C ₄			
		S	S	A	AF			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
I	Umum	50	24	11	8	350	1000	330
II	Modifikasi	42	33	5	13	350	900	250
III	Kekuatan awal tinggi	60	13	9	8	450	2000	500
IV	Panas hidrasi rendah	25	50	5	12	300	450	210
V	Tahan sulfat	40	40	9	9	350	900	250

Semen Portland memiliki beberapa kandungan senyawa utama. Kandungan senyawa tersebut dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Senyawa semen Portland (Mulyono, 2003).

Nama	Rumus kimia
<i>Trikalsium silikat</i>	$3 CaO - SiO_2$
<i>Dikalsium silikat</i>	$2 CaO - SiO_2$
<i>Trikalsium aluminat</i>	$3 CaO - AL_2O_3$
<i>Tetrakalsium aluminoforit</i>	$4 CaO - AL_2O_3 - fe_2O_3$

Dalam pembuatan beton porous jumlah kebutuhan semen per m³ tergantung pada rasio campuran antara semen dan agregat yang digunakan. Karena didalam beton porous tidak menggunakan agregat halus atau pasir, maka yang digunakan cukup agregat kasar dan semen saja. Berikut rumus untuk menghitung kebutuhan semen per m³ pada (3.1) :

$$W_{\text{semen}} = (1/fas) \times W_{\text{air}} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana,

W semen = kebutuhan semen per m³

FAS = faktor air semen

W air = kebutuhan air

3.2.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton porous. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% dari volume beton. Walau hanya bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton (Tjokrodinuljo, 2007).

Cara membedakan jenis agregat yang paling banyak dilakukan adalah dengan didasarkan pada ukuran butirannya. Agregat yang mempunyai ukuran berbutir besar disebut agregat kasar dan agregat yang berbutir halus disebut agregat halus. Dalam pelaksanaannya di lapangan umumnya agregat dikelompokkan menjadi 3 kelompok (Tjokrodinuljo, 2007), yaitu sebagai berikut:

1. Batu, untuk ukuran butiran lebih dari 40 mm.

2. Kerikil, untuk ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm.
3. Pasir, untuk ukuran butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

Agregat harus mempunyai bentuk yang baik, bersih, keras, kuat, dan bergradasi baik. Agregat harus pula mempunyai kestabilan kimiawi, dan dalam hal-hal tertentu harus tahan aus dan tahan cuaca. Agregat diperoleh dari sumber daya alam yang telah mengalami pengecilan ukuran secara alamiah (misalnya kerikil) atau dapat pula diperoleh dengan cara memecahkan batu alam. Agregat pecahan (kerikil maupun pasir) diperoleh dengan cara memecah batu menjadi berukuran butiran yang diinginkan dengan cara meledakkan, memecah, menyaring, dan seterusnya. Batu pecah mempunyai butir-butir yang berbentuk tajam, sehingga sedikit lebih memperkuat betonnya (Ginting, 2015).

Untuk mendapatkan beton yang baik, diperlukan agregat berkualitas baik pula. Menurut Tjokrodinuljo (2007), agregat yang baik harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Butir-butirnya tajam dan keras.
2. Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
3. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5% untuk agregat halus dan 1% untuk agregat kasar.
4. Tidak mengandung zat organik dan zat-zat reaktif terhadap alkali.

Agregat adalah material granular misalnya pasir, kerikil, batu pecah sebagai hasil disintegrasi alami yang dihasilkan dari industri pemecah batu yang mempunyai butir terbesar 0,5 mm untuk agregat halus. Sedangkan agregat kasar mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai dengan 40 mm.

Tujuan digunakannya agregat dalam campuran beton yaitu sebagai berikut:

1. Menghemat penggunaan semen *Portland*.
2. Menghasilkan kekuatan besar pada beton.
3. Mengurangi penyusutan pada perkerasan beton.
4. Dengan gradasi agregat yang baik dapat tercapai beton padat.

5. Sifat dapat dikerjakan (*workability*) dapat diperiksa pada adukan beton dengan gradasi yang baik.

Agregat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat alam dan agregat buatan (pecah). Agregat alam dan pecahan inipun 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 pula 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 granit, basalt, kuarsa, dan sebagainya. Berat jenis rata-ratanya adalah 2.5-2.7 atau tidak boleh kurang dari 1.2 kg/dm³. Beton yang dibuat dengan agregat normal adalah beton normal, yaitu beton yang mempunyai berat isi 2.200-2.500 kg/m³.
- b. Agregat ringan digunakan untuk menghasilkan beton ringan dalam sebuah bangunan yang memperhatikan berat dirinya. Agregat ringan digunakan dalam bermacam produk beton, misalnya 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/m^3 . 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/m^3 . Contohnya adalah *magnetik* (Fe_3O_4), *barytes* (BaSO_4) 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 belum terdefinisikan secara jelas, sehingga sifat-sifat tersebut sulit diukur dengan baik. Sejumlah peneliti telah banyak membicarakan masalah ini, salah satunya adalah Mather yang menyatakan bahwa bentuk butir agregat ditentukan oleh dua sifat yang tidak saling tergantung yaitu kebulatan/ketajaman sudut (sifat yang tergantung pada ketajaman relatif, secara numerik dinyatakan dengan rasio antara jari-jari rata-rata dari sudut lengkung ujung atau sudut butir dari jari-jari maksimum lengkung salah satu ujung/sudutnya) dan oleh sferikal yaitu rasio antara luas permukaan dengan volume butir.

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, 2009).

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 penggeseran 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 $\frac{3}{5}$ 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, berkristal, 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.

Ukuran susunan agregat tergantung dari kekerasan, ukuran molekul, tekstur batuan dan besarnya gaya yang bekerja pada permukaan butiran yang telah membuat licin atau kasar permukaan tersebut. Secara umum susunan permukaan ini sangat berpengaruh pada kemudahan pengerjaan. Semakin licin permukaan agregat akan semakin sulit beton untuk dikerjakan. 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 berkristal.

d. Berbentuk sarang labah.

Tampak dengan jelas pori-porinya dan rongga-rongganya.

4. Jenis agregat berdasarkan ukuran

Ukuran agregat dapat mempengaruhi kekuatan tekan beton. Untuk perbandingan bahan-bahan campuran tertentu, kekuatan tekan beton berkurang bila ukuran maksimum bertambah besar, dan juga akan menambah kesulitan dalam pengerjaannya. Ukuran dan bentuknya harus disesuaikan dengan syarat yang diberikan. Seperti yang diuraikan diatas ukuran agregat banyak berpengaruh pada kemudahan pengerjaan beton. Pemilihan agregat ini cenderung tergantung dari pada jenis cetakan dan tulangan. Untuk struktur beton bertulang memberikan batasan untuk butir agregat maksimum 40 mm. Sebagai dasar perancangan campuran beton besar butir maksimum agregat, (Mulyono, 2004) memberikan batasan sebagai berikut:

- a. Seperlima dari jarak terkecil antara bidang samping cetakan
- b. Sepertiga dari tebal plat
- c. Tiga perempat dari jarak bersih minimum diantara batang-batang tulangan atau berkas-berkas.

Jika ukuran maksimum agregat lebih besar dari 40 mm, agregat tersebut dapat saja digunakan, asal disetujui oleh ahlinya dengan mempertimbangkan

kemudahan dalam pengerjaannya dan pemadatan selama pengerjaan tidak menyebabkan terjadinya rongga-ronga udara atau sarang kerikil. 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 pengerjaannya. (Mulyono, 2004).

3.2.3. Air

Menurut Tjokrodinuljo (1996), Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang harganya paling penting. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen dan sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat, agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk reaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25% saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai lebih dari 25%. Kelebihan air ini dipakai sebagai pelumas. Tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan rendah. Air yang memenuhi persyaratan bahan bangunan, memenuhi syarat untuk bahan campuran beton. Air yang dapat dipakai untuk campuran beton adalah air yang bila dipakai akan menghasilkan beton dengan kekuatan lebih besar 90 % kekuatan beton yang memakai air suling.

Kekuatan beton dan daya tahannya berkurang jika air mengandung kotoran. Pengaruh pada beton diantaranya pada lamanya waktu ikatan awal adukan beton, serta kekuatan betonnya setelah mengeras. Air yang berlumpur terlalu banyak dapat diendapkan dulu sebelum dipakai, dalam kolam pengendap. Adanya garam-garam, timah, seng, tembaga dan timah hitam dengan jumlah cukup besar pada air adukan akan menyebabkan pengurangan kekuatan beton. *Seng klorida* misalnya, memperlambat ikatan awal beton sedemikian sehingga beton belum memiliki kekuatan dalam umur 2 - 3 hari.

Pengaruh timbale nitrat ($Pb NO_3$) yang tinggi akan sangat merusak beton. Beberapa garam seperti *sodium iadate*, *sodium iodate*, *sodium phosphate*, *sodium arsenat* dan *sodium borat* mengurangi kuat awal beton menjadi sangat rendah.

Sodium karbonat dan *potassium* dapat menyebabkan ikatan sangat cepat dan dalam konsentrasi yang besar akan mengurangi kekuatan beton (Tjokrodilumudjo, 1997).

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

1. 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 *karbondioksida*. Bahan-bahan padat serta garam yang larut dalam air hujan terbentuk akibat peristiwa kondensasi.
2. Air tanah. Biasanya mengandung unsur *kation* dan *anion*. Selain itu jugakadang-kadang terdapat unsur CO₂, H₂S dan NH₃.
3. Air permukaan, terdiri dari air sungai, air danau, air genangan dan *airreservoir*. Air sungai atau danau dapat digunakan sebagai air pencampurbeton asal tidak tercemar limbah industri. Sedangkan air rawa atau airgenangan yang mengandung zat-zat *alkali* tidak dapat digunakan.

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 yangmengandung garam di atas 3% tidak boleh digunakan untuk campuran beton.Untuk beton pratekan, air laut tidak diperbolehkan karena akan mempercepatkorosi pada tulangnya.Secara umum pemakaian air untuk beton harus memenuhi syarat sebagai berikut ini.

- 1 Air harus bersih
- 2 Tidak mengandung lumpur (endapan atau benda melayang lainnya) lebihdari 2 gram/liter.
- 3 Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
- 4 Tidak mengandung Chlorida (*Cl*) lebih dari 0,5 gram/liter.
- 5 Tidak mengandung senyawa sulfat (*SO₄*) lebih dari 1 gram/liter.

- 6 Air keruh harus diendapkan minimal 24 jam atau disaring sehingga memenuhi syarat yang digunakan.

Tabel 3.4Perkiraan kebutuhan air per^m³ beton(Heinz, 1999)

Besar Ukuran maks. Agregat (mm)	Jenis Agregat	Kebutuhan air per meter kubik beton (liter)			
		Slump (mm)			
		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu Pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu Pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu Pecah	155	175	190	205

Dalam pencampuran beton porous dibutuhkan air untuk menyatukan bahan-bahan yang lain dalam pembuatan beton. Air memiliki peranan yang penting dalam pembuatan beton porous, biasanya air yang digunakan untuk pembuatan beton porous tersebut memiliki ciri-ciri yaitu tidak berbau, tidak berwarna dan tidak berasa. Berikut rumus untuk menghitung kebutuhan air untuk campuran beton porous pada (3.2) :

$$A = 0,67 A_h + 0,33 A_k \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana,

A = jumlah air yang dibutuhkan (liter/m³)

A_k = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat batu pecah
(liter/m³)

A_h = Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halus (liter/m³)

Banyaknya air yang dipakai untuk membuat adukan beton dapat ditentukan dengan ukuran isi atau ukuran berat dan harus dilakukan setepat-tepatnya. Banyaknya air itu tergantung dari keadaan bahan tambahan, perbandingan campuran pasir : kerikil dan penggunaan beton (Heinz, 1999).

3.2.4. Admixture (Bahan Tambahan)

Bahan tambahan merupakan bahan-bahan yang ditambahkan kedalam beton pada saat atau selama pencampuran berlangsung. Fungsi dari bahan tambahan ini untuk mengubah sifat-sifat beton agar menjadi lebih kuat dan cocok untuk pekerjaan tertentu, atau agar lebih ekonomis dalam biaya (Mulyono, 2004).

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

Adapun beberapa bahan tambahan (*admixture*) yang dapat digunakan selama proses pencampuran berlangsung ialah salah satunya adalah Abu Arang kayu karet. Pohon karet pada umumnya merupakan salah satu penopang perekonomian bagi masyarakat di Indonesia, khususnya di Riau. Pohon karet ditanam hingga batas minimal umur 5 tahun yang kemudian disadap untuk diambil getahnya. Apabila penyadapan dilakukan dengan benar pada usia 5-20 tahun pohon karet dapat menghasilkan getah secara produktif. Namun, pohon karet setelah berumur 25 - 30 tahun tidak lagi menghasilkan getah secara produktif sehingga harus diremajakan. Pohon karet tua yang sudah ditebang selama ini kayunya hanya dimanfaatkan sebagai kayu bakar dan sebagai bahan baku di dunia furniture maupun peralatan rumah tangga lainnya yang berbahan kayu saja.

Dibandingkan dengan kayu biasa, arang kayu karet memiliki nilai kalori 3.890 kal/kg, kadar karbon terikat 79% dan kadar zat menguap 19%. Setelah dilakukannya proses pembakaran arang kayu karet didapatlah abu arang kayu karet tersebut. Abu adalah persentasi residu yang terjadi pada pembakaran

sempurna dari arang tersebut. Kadar abu dan silika yang terdapat pada abu arang kayu karet berkisar 0,64% - 0,71%. Abuarang kayu karet termasuk kelas sedang. Abu arang kayu karet ini merupakan hasil pembakaran arang kayu karet yang terdiri dari senyawa seperti SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 dan CaO (Komariyati,1995).

3.3. Pengujian Materi

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

3.3.1 Analisa Saringan

Analisa saringan adalah suatu usaha untuk mendapatkan distribusi ukuran butir agregat. Analisa saringan agregat ialah penentuan persentase berat butir agregat yang lolos dari saringan agregat yang satu dengan saringan agregat yang lain, kemudian data yang dapat digambarkan pada grafik pembagian butir.

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, Timbang persentase benda uji yang tertahan diatas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji setelah dilakukan penyaringan

3.3.2 Pemeriksaan Berat Isi

Pengujian berat isi dimaksud untuk menentukan berat isi agregat kasar atau campuran dari kedua agregat.

1. Berat bersih benda uji

Berat bersih benda uji adalah berat agregat tanpa cawan. Berikut rumus untuk menghitung berat bersih benda uji pada (3.3) :

$$W3 = W2 - W1 \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana :

$W1$ = Berat tempat (gr)

$W2$ = Berat tempat + benda uji (gr)

$W3$ = Berat benda uji (gr)

2. Berat isi tempat ($W4$)

Berat isi tempat adalah berat dari volume wadah atau tempat tersebut. Berikut rumus untuk menghitung berat isi tempat pada (3.4) :

$$W4 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot T \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana :

D = Diameter tempat (gr)

T = Tinggi tempat (gr)

$W4$ = Berat isi tempat (gr)

3. Berat isi lepas ($W5$)

Berat isi lepas adalah berat dari jumlah keseluruhan benda uji dan wadah. Berikut rumus untuk menghitung berat isi lepas pada (3.5) :

$$W5 = W3 + W4 \dots\dots\dots(3.5)$$

Dimana :

$W5$ = Berat isi lepas (gr)

3.3.3 Pemeriksaan Berat Jenis

Pengujian berat jenis ini dimaksud sebagai pegangan dalam pengujian yang bertujuan untuk mencari angka berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh dan berat jenis semu serta besarnya angka penyerapan dengan standar spesifikasi berat jenis yaitu 2,58 s/d 2,83 gr/cm³.

Menurut Tjokrodinuljo (1996), berat jenis agregat dapat dibedakan menjadi 3, yaitu sebagai berikut:

1. Agregat Normal.

Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antar 2,5-2,7 gram/cm³. Agregat ini biasanya berasal dari granit, basal, kuarsa dan lain sebagainya. Beton yang dihasilkan mempunyai berat 2,3 gram/cm³ dan biasa disebut beton normal.

2. Agregat Berat.

Agregat berat adalah agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8 gram/cm³, misalnya magnetit (Fe₃O₄), barites (BaSO₄) atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis yang tinggi yaitu sampai dengan 5 gram/cm³ yang digunakan sebagai dinding pelindung atau radiasinar X.

3. Agregat Ringan.

Agregat ringan adalah agregat yang berat jenisnya kurang dari 2 gram/cm³ misalnya tanah bakar (*bloated clay*), abu terbang (*fly ash*) dan busa terak tanur tinggi (*foamed blast furnace slag*). Agregat ini biasanya digunakan untuk beton ringan yang biasanya dipakai untuk elemen nonstruktural.

Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat sebagai berikut :

- a. Berat jenis (*bulk*) adalah perbandingan antara berat volume agregat dan volume air. Berikut rumus untuk menghitung berat jenis (*bulk*) dapat dilihat pada (3.6) :

$$\text{Berat jenis (bulk)} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(3.6)$$

- b. Berat jenis kering permukaan jenuh adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada 25⁰C. Berikut rumus untuk menghitung

berat jenis permukaan jenuh dapat dilihat pada (3.7) : Berat jenis

$$\text{berat jenis permukaan jenuh} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(3.7)$$

- c. Berat jenis semu (*apparent*) adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25⁰C. Berikut rumus untuk menghitung berat jenis semu dapat dilihat pada (3.8) :

$$\text{Berat jenis Semu (apparent)} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(3.8)$$

- d. Penyerapan (*absorption*) adalah perbandingan berat air yang dapat diserap oleh berat agregat kering dan dinyatakan dalam persen. Berikut rumus untuk menghitung penyerapan dapat dilihat pada (3.9) :

$$\text{Penyerapan (absorption)} = \frac{B_j - B_k \times 100}{B_k} \dots\dots\dots(3.9)$$

Dimana :

B_j = Berat benda uji kering oven (gr)

B_k = Berat benda uji kering permukaan (gr)

B_a = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gr)

3.3.4 Pemeriksaan Kadar Lumpur

Pemeriksaan kadar lumpur ini bertujuan untuk memperoleh persentase jumlah bahan dalam agregat melalui saringan 200 (0,075 mm). jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan 200 adalah bahan yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) sesudah agregat dicuci sampai bersih dan air cucian tidak keruh lagi

1. Persentase kadar lumpur adalah proses yang dilakukan untuk mengetahui kadar lumpur yang berada pada agregat. Berikut rumus untuk menghitung kadar lumpur dapat dilihat pada (3.10) :

$$\text{Persentase kadar lumpur} = \frac{B_k \text{ sebelum} - B_k \text{ sesudah}}{B_k \text{ sebelum}} \times 100 \% \dots\dots\dots(3.10)$$

Dimana :

$B_k \text{ sebelum}$ = Berat benda uji kering sebelum dicuci (gr)

$B_k \text{ sesudah}$ = Berat benda uji kering sesudah dicuci (gr)

3.3.5 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 (W_1).
 - g. Berat benda uji setelah dioven, dikurangi berat cawan, didapatkan berat benda ujin tanpa cawan (W_2).
 - h. Hitung persentase kadar air dengan rumus:

$$\frac{W_1}{W_2} \times 100\% \dots \dots \dots (3.11)$$

3.4 Perancangan Beton Porous (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton porous merupakan perbedaan sifat dan karakteristik bahan penyusunnya. Bahan penyusun akan menyebabkan variasi dari produk beton porous yang dihasilkan. Perencanaan campuran dimaksudkan untuk menghasilkan suatu campuran bahan yang optimal dengan kekuatan optimum. Perancangan campuran beton porous dimaksudkan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan - bahan penyusun beton porous. Proporsi campuran dari bahan - bahan penyusun beton porous ini ditentukan melalui sebuah perancangan beton porous (*Mix design*). Biasanya beton porous dirancang untuk mencapai :

1. Mudahnya pengerjaan (*workability*) adukan beton yang dalam praktek

ditentukan dengan tingginya *Slump*.

2. Kekuatan tekan (*Compressive Strength*) pada umur tertentu bagi beton yang sudah mengeras.
3. Kekentalan yang memungkinkan pengerjaan beton (penuangan, pemadatan, dan perataan) dengan mudah dapat mengisi acuan dan menutup permukaan secara serba sama (homogen), Keawetan (*Durability*) bagi beton yang sudah mengeras.

Ada beberapa faktor lainnya yang mempengaruhi pekerjaan pembuatan rancangan campuran beton, diantaranya adalah kondisi dimana bangunan akan dikerjakan, kekuatan beton yang akan direncanakan, keterampilan pekerja, pengawasan yang dapat diberikan, peralatan yang akan digunakan dan tujuan penggunaan bangunan serta faktor – faktor lainnya. Sebagai pedoman awal untuk perkiraan proporsi takaran campuran.

Adapun beberapa persyaratan metode perencanaan adalah sebagai berikut:

1. Merencanakan kuat tekan (f_c') yang diisyaratkan pada umur 28 hari. Beton yang direncanakan harus memenuhi persyaratan kuat tekan rata-rata ($f_c'r$).
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 dapat dilihat pada (3.12):

$$S = \frac{\sqrt{\sum f_c'r - f_c'^2}}{n-1} \dots \dots \dots (3.12)$$

Dimana:

S= Deviasi standar

$f_c'r$ = Kekuatan tekan beton yang dipakai dari masing-masing benda uji

f_c' = Kekuatan beton rata-rata

n = Jumlah benda uji hasil pemeriksaan

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 7 MPa 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:

$$M = K \times S \dots\dots\dots(3.13)$$

Dimana:

M = Nilai tambah margin (N/mm²).

K = 1,64 adalah ketetapan statistik yang nilainya tergantung padapersentase yang lebih rendah dari f_c' . Dalam hal ini maka 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:

$$f_c'r = f_c' + M \dots\dots\dots(3.14)$$

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. Baik agregat halus maupun 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 didapat dari grafik hubungan antara kuat tekan dengan faktor air semen dengan benda uji silinder. Dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Tentukan kuat tekan beton pada umur 28 hari berdasarkan tipe semendan agregat rencana pengujian kuat tekan dengan grafik hubungan kuat tekan dan faktor air semen sesuai dengan benda uji yang direncanakan.
- b. Lalu tarik garis tegak lurus pada FAS sampai memotong kurva kuat tekan beton yang ditentukan.
- c. Tarik garis mendatar kuat tekan yang dipakai sampai memotong garis tegak lurus.

8. Penetapan Faktor Air Semen (FAS) maksimum

Penetapan ini berdasarkan jumlah semen minimum dengan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam rancangan campuran beton.

9. Penetapan nilai *slump*.
10. Penetapan ukuran agregat maksimum.
11. 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 antara 160-190 kg/m³ (kalau slump 30-60 mm dan baris ukuran maksimum 30mm, memakai rumus:

$$D\frac{2}{3}Wh + \frac{1}{3} Wk \dots \dots \dots (3.15)$$

Dimana :

Wh = perkiraan air untuk agregat halus

Wk = perkiraan air untuk agregat kasar

12. Menghitung jumlah semen langkah 11, dan langkah 8. Jumlah air/fas
13. Jumlah semen maksimum diabaikan jika tidak ditetapkan.
14. Tentukan jumlah semen minimum. Berat semen yang diperoleh dari langkah 11 harus lebih besar dari kebutuhan minimum.
15. Tentukan faktor air semen yang disesuaikan.
16. Menentukan jumlah susunan butiran agregat halus, sesuai dengan syarat.
17. Menentukan persentase agregat halus terhadap campuran berdasarkan nilai *slump*, faktor air semen dan besar nominal agregat maksimum.
18. Menghitung berat jenis relative agregat:

$$BJ. Campurann = \left(\frac{P}{100} \times BJ \text{ agregat halus}\right) + \left(\frac{K}{100} \times BJ \text{ agregat kasar}\right) \dots \dots (3.16)$$

Dimana:

P= Persentase agregat halus terhadap agregat campuran (%)

K=Persentase agregat kasar terhadap agregat campuran (%)

BJ= Berat Jenis

19. Tentukan berat jenis beton, berdasarkan jenis agregat gabungan dan nilai kadar air bebas, langkah 11.
20. Hitung kadar air gabungan, yaitu berat jenis beton dikurangi dengan kadar semen dan kadar air, langkah 19-15-11.

21. Hitung agregat halus yang besarnya adalah kadar agregat gabungan dikalikan persentase agregat halus dalam campuran, langkah 20-16.
22. Hitung kadar agregat kasar, agregat gabungan dikurangi kadar agregat kasar, langkah 20 dan 21.

3.5 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.

Ada tiga jenis *slump* yaitu: *slump* sejati, *slump* geser dan *slump* runtuh antara lain : (Antoni, 2007).

1. *Slump*sejati merupakan penurunan umum dan seragam tanpa adukan beton yang dipecahkan, pengukuran *slump* ini dengan dengan mengukur penurunan minimum dari puncak kerucut.
2. *Slump* geser terjadi bila separuh puncak kerucut adukan beton tergeser dan tergelincir kebawah pada bidang miring, pengambilan nilai *slump* geser ada dua cara, yaitu penurunan minimum dan penurunan rata-rata dari puncak tersebut.
3. *Slump* runtuh terjadi pada kerucut adukan beton yang runtuh seluruhnya akibat adukan beton yang terlalu cair, pengambilam nilai *slump* ini dengan cara mengukur penurunan minimum dari puncak tersebut.

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:

- a. Siapkan alat-alat *slump*, termasuk centong untuk memasukkan semen.
- b. Bagi volume masing-masing menjadi 1/3 volume.

- c. Jika dihitung tinggi lapisan 1/3 pertama ± 7 cm, tinggi lapisan kedua 9 cm, dan sisanya lapisan ketiga.
- d. Masukkan beton segar dengan centong secara hati-hati setinggi 1/3 volume.
- e. Padatkan lapisan tersebut dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali.
- f. Lakukan hal serupa untuk lapisan kedua dan ketiga.
- g. Diamkan selama 60 detik setelah lapisan terakhir dikerjakan.
- h. Angkat alat *slump* secara hati-hati jangan sampai miring hingga mengenai isi beton.
- i. Letakan alat *slump* disisi beton segar dan ukur rata-rata tinggi *slump*, diukur dari tinggi permukaan alat sampai tinggi permukaan beton yang jatuh.

Didalam pengecoran beton ada batas-batas maksimum nilai *slump*. Untuk mengetahui batas-batas maksimum *slump* dan kegunaan pekerjaan betonnya. Sedangkan menurut (Tjokrodimulyo, 2007) nilai *slump* untuk pekerjaan beton dapat dilihat berdasarkan pada tabel 3.5 :

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 missal	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.

3.6 Perawatan Beton

Perawatan beton adalah proses mengatur laju dan tingkat kehilangan kelembaban dari beton selama hidrasi semen berlangsung. Reaksi kimia yang terjadi pada pengikatan dan pengerasan beton tergantung pada pengadaan airnya. Air harus tersedia dalam jumlah yang memadai untuk hidrasi penuh selama pencampuran, perlu ada jaminan masih ada air yang tertahan atau jenuh untuk melanjutkan reaksi kimia didalam beton tersebut.

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).

Perawatan benda uji dengan melakukan perendaman terhadap beton yang baru dikeluarkan dari cetakan dalam jangka waktu sesuai dengan umur beton yang direncanakan. Perendaman ini dilakukan untuk menghindari pengaruh cuaca terhadap proses pengerasan beton yang dapat mempengaruhi kekuatan beton.

3.6.1 Tujuan Perawatan Beton

Tujuan dari perawatan beton yaitu menahan kelembaban didalam beton pada waktu berhidrasi, karena hal tersebut akan tercapainya kekuatan struktur yang diinginkan dan tingkat kedap (impermeabilitas) yang disyaratkan untuk ketahanan, stabilitas volume dan pencairan serta abrasi terhadap 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 (*ducility*). Keawetan beton yang baik didapatkan jika perencanaan, pelaksanaan dan terutama pada perawatan dilakukan dengan baik.

3.6.2 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 dalam Setiawan 2015).

1. Perawatan dengan air

Cara ini yang paling banyak digunakan. Namun demikian, penggunaan cara ini perlu didukung oleh pertimbangan ekonomi sehubungan dengan kondisi lapangan dan tersedianya air. Dengan 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 menghambat 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.

3.7 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin. 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 dan Setiawan, 2015) 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 *PC* tipe I mempunyai nilai – nilai perkembangan berdasarkan umur beton seperti pada tabel 3.6 :

Tabel 3.6Perkembangan kuat tekan untuk semen *PC* 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 :

Tabel 3.7Kuat 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 bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain faktor air semen, dan suhu perawatan. Makin tinggi faktor air semen makin lambat kenaikan kekuatannya, dan makin tinggi suhu perawatan makin cepat kenaikan kekuatannya (Tjokrodimuljo, 1992).

Kuat tekan beton didapat 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 sebagai berikut :

1. Kuat tekan (f_c')

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (3.17)$$

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 (f_{cr})

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:

$$f'c_r = \frac{\sum_1^n f'_c}{n} \dots\dots\dots(3.18)$$

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. Kuat tekan karakteristik (f_{ck})

Kuat tekan karakteristik atau kuat tekan rata-rata perlu digunakan sebagai dasar pemilihan campuran beton, lihat persamaan 3.19.

$$f_{ck} = f'c_r - (1,64 \cdot S) \dots\dots\dots(3.19)$$

Dimana:

f_{ck} = Kuat tekan karakteristik beton

$f'c_r$ = Kuat tekan beton rata-rata estimasi 28 hari.

S = Standar deviasi.

Kuat tekan karakteristik yang diperoleh harus lebih atau sama dengan kuat tekan karakteristik yang direncanakan atau ($f_c \geq f'c_r$) (Dipohusodo, 1992).

3.8. Porositas

Menurut (Nugroho,2010) tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai persentase pori – pori beton terhadap volume beton. Rumus perhitungan porositas beton dapat dilihat pada (3.20) :

$$\text{Porositas} = \frac{B-C}{B-A} \times 100\% \dots\dots\dots(3.20)$$

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 :

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

Nilai Rongga	Persentase (%)
Minimum	12
Maksimum	25

Berdasarkan tabel 3.5 dapat dilihat nilai rongga minimum beton non – pasir sebesar 12% dan nilai maksimum rongga beton non – pasir sebesar 25%.

3.9. 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). 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 rumus pada (3.21) :

$$K = \frac{A}{t} \dots\dots\dots(3.21)$$

Dimana,

K = Koefisien permeabilitas (m/dt)

A = Koefisien luar permukaan (m²)

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 :

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 3.6 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 METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

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

4.2 Bahan Penelitian

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

1. Agregat Kasar

Agregat kasar yang peneliti gunakan berasal dari Pangkalan, Kampar.

2. Air

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

3. Semen

Semen yang digunakan adalah semen *Portland*, yaitu Semen Padang.

4. Bahan Tambahan

Bahan yang digunakan adalah arang kayu karet yang berasal dari Desa Pagaruyung, Kampar. Sebelum digunakan, arang kayu karet tersebut dibakar terlebih dahulu kemudian menghasilkan abu arang kayu karet yang digunakan sebagai penelitian.

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. Ukuran cawan yang digunakan berbeda-beda.



Gambar 4.1 Cawan

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

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. Yang digunakan pada jenis pemeriksaan berat isi dan *slump*.



Gambar 4.3 Batang Penusuk

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 untuk mengukur diameter, penurunan *slump* terbuat dari baja.



Gambar 4.4 Pengaris

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

Ukuran saringan yang digunakan yaitu $1\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{8}$, 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. Digunakan untuk pemeriksaan berat isi agregat kasar.



Gambar 4.6 Wadah

Dalam penelitian ini wadah digunakan untuk pemeriksaan berat isi agregat kasar 1/2 .

7. Timbangan

Timbangan yang digunakan ada 2 jenis, yaitu:

- a. Timbangan manual dengan kapasitas 20 kg.
- b. Timbangan yg digunakan adalah Eleotroaic Scale digital dengan kapasitas 2 kg.



Gambar 4.7 Timbangan Manual Dan Digital

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 Terpancung

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 yang berfungsi untuk mencetak beton setelah pengadukan beton porous segar selesai.



Gambar 4.9 Cetakan Silinder

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

10. Mesin Kuat Tekan Beton.

Mesin yang digunakan adalah BT Testing dengan dial manual dengan kapasitas 2000 KN. Mesin kuat tekan beton berfungsi menguji kuat tekan beton. Alat ini terbuat dari baja dan mempunyai pengaturan dan pengontrol beban.



Gambar 4.10 Mesin Uji Tekan

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

11. Mesin Pengaduk Beton

Mesin pengaduk beton yang digunakan adalah Tiger dengan kapasitas 125 Liter. Mesin ini berfungsi untuk mengaduk bahan-bahan pembuat beton.



Gambar 4.11 Mesin Pengaduk (Molen)

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

12. Bak Perendam

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

13. Palu

Palu terbuat dari besi dan tangkai kayu.



Gambar 4.13 Palu

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

14. Alat pengujian permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan dengan cara pengujian sederhana dengan memanfaatkan prinsip tinggi energi jatuh (*Falling Head Meter*). Pengujian permeabilitas pada penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan galon air.



Gambar 4.14 Alat uji permeabilitas.

Pengujian permeabilitas pada penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan galon air.

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 dan teliti.

4.5 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan suatu proses untuk memperoleh atau mendapatkan suatu pengetahuan atau memecahkan permasalahan yang dihadapi, yang dilakukan secara ilmiah, sistematis dan logis. Dalam penelitian ini ada tahapan-tahapan yang harus dilakukan yaitu :

1. Persiapan

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

2. Pemeriksaan Material

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

3. Perencanaan Campuran Beton

Metode yang digunakan dalam perhitungan campuran beton (*mix design*) berdasarkan buku beton non-pasir(Trisnoyuwono,2014).

4. Pembuatan Beton Segar

Dalam pembuatan beton segar ini menggunakan mesin pengaduk beton.

5. Pengujian Nilai *Slump Test*

Pengujian *slump test* 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, dengan benda uji 3 sampel tiap- tiap umur dan merk semen yang berbeda.

Tabel 4.1 Jumlah BendaUji Penelitian

No	Umur perawatan (hari)	Persentase Abu Arang Kayu Karet Terhadap Jumlah Semen Pada Beton Porous					Jumlah benda uji
		0%	5%	10%	15%	20%	
		1	28	6	6	6	

7. Perawatan (*curing*)

Dalam penelitian ini perawatan yang digunakan adalah perendaman dalam air, yang dilakukan di bak perendaman Laboratorium Universitas Islam Riau 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 umur rencana 28 hari dari masing-masing persentase penambahan abu arang kayu karet

9. Pengujian Porositas Beton

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

10. Pengujian Permeabilitas Beton

Pengujian dilakukan untuk mengetahui jumlah air yang melewati beton.

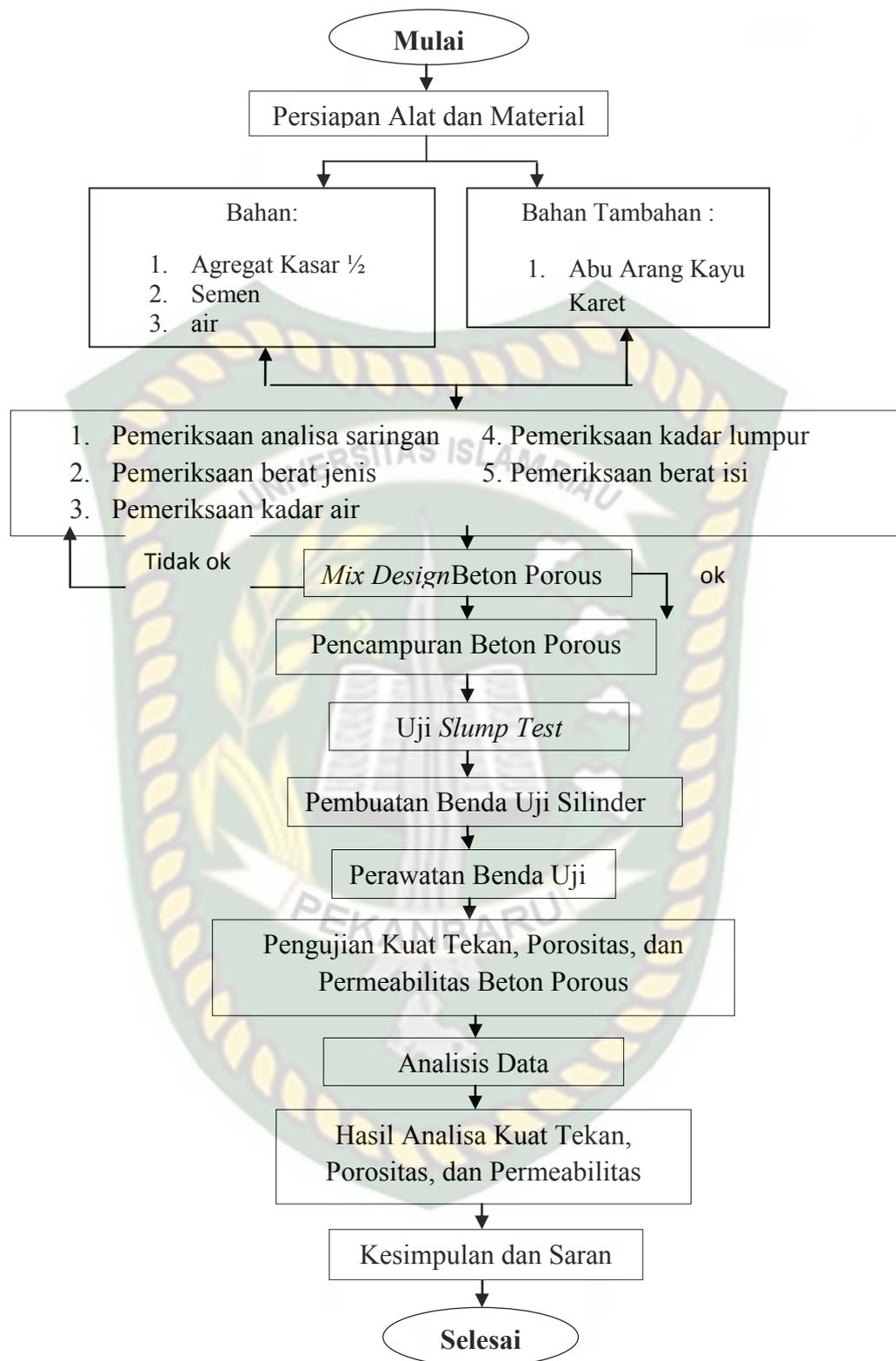
11. Hasil dan Pembahasan

Analisa dan pembahasan didapat setelah pengujian benda uji beton, lalu dilakukan ananalisa kuat tekan benda uji beton terhadap umur benda uji dari masing-masing persentase penambahan abu arang kayu karet.

12. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran bertujuan menyimpulkan apa yang telah didapat dari hasil penelitian dan saran kepada peneliti selanjutnya.

Bagian alir penelitian seperti yang terlihat pada Gambar 4.15 disajikan untuk mempermudah dalam proses pelaksanaan penelitian.



Gambar 4.15 Bagan Alir Penelitian

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 4.14
 - c. Ukur ketinggian air jatuh terhadap beton menggunakan penggaris
 - d. Masukkan 1 liter air kedalam 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.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Kayu karet atau (*Hevea Bransiliensis*) merupakan salah satu jenis kayu yang banyak dimanfaatkan sebagai bahan furniture. Selain itu, pohon karet ini juga dapat diambil getahnya. Sehingga kebanyakan masyarakat menganggap pohon karet sangat ramah lingkungan karena semua bagian kayu karet yang dapat dikelompokkan sebagai kayu limbah. Limbah kayu karet dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan dan memiliki nilai ekonomis. Kayu limbah karet dapat dijadikan sebagai bahan baku papan partikel, papan serat, papan semen, arang dan kayu bakar.

Dan biasanya juga limbah kayu karet banyak digunakan oleh masyarakat sebagai bahan bakar untuk memasak, khususnya bagi masyarakat yang masih menggunakan tungku tradisional. Untuk meningkatkan pemanfaatan kayu karet yang telah menjadi arang tersebut, maka dilakukanlah sebuah penelitian sebagai pemanfaatan arang kayu karet itu sendiri. Arang kayu karet yang sudah menjadi limbah pembakaran tersebut, dibakar kembali hingga menjadi abu kayu karet. Kemudian, abu kayu karet tersebut dimanfaatkan untuk penelitian.

Abu kayu karet memiliki kandungan silika yang termasuk kelas sedang. Abu arang kayu karet ini merupakan hasil pembakaran arang kayu karet yang terdiri dari senyawa seperti SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 dan CaO . Dengan adanya senyawa ini abu arang kayu karet dapat dijadikan sebagai bahan tambah dalam penelitian tersebut.

5.2 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.

5.3. 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	19,365	4,980	0,647	0,616	0,574	0,532	0,512	0,449

Sumber : Hasil analisa penelitian

Dari Tabel 5.1 dapat dilihat bahwa persentase lolos agregat kasar dengan saringan ukuran 0,075 persentase lolos sebesar 0,449 %, ukuran saringan 0,15 mm memiliki persentase lolos sebesar 0,512%. Saringan ukuran 0,3 mm persentase lolos sebesar 0,523%. Saringan ukuran 0,6 mm persentase lolos sebesar 0,574%. Saringan ukuran 1,2 mm persentase lolos sebesar 0,616%. Saringan ukuran 2,4 mm persentase lolos sebesar 0,647%. Saringan ukuran 4,8 mm persentase lolos sebesar 4,980%. Dan untuk saringan ukuran 9,6 mm persentase lolos sebesar 19,365%. Saringan ukuran 19 mm persentase lolos sebesar 100% dan saringan ukuran 38 mm persentase lolos sebesar 100%.

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 5.2.

Tabel 5.2 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	2,781	2,765	2,756	0,515	Memenuhi syarat 2,58 s/d 2,83 gr/cm ³

Sumber: Hasil analisa penelitian

Dapat dilihat dari tabel 5.3 diatas, bahwa agregat kasar ½ didapat berat jenis permukaan jenuh sebesar 2,765 dan memenuhi standar spesifikasi berat jenis yaitu 2,58 s/d 2,83 gr/cm³ (Tjokrodinuljo,1995). yang ditentukan. Hal ini merupakan sebagai pegangan untuk digunakan dalam perencanaan beton porous.

5.5. 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 5.3.

Tabel.5.3 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat 1/2

Uraian	Kadar Air (%)	Keterangan
Persentase Kadar Air	0,177	Memenuhi Syarat

Sumber: Hasil analisa penelitian

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa kadar air agregat adalah 0,177%.

5.6 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.

Tabel 5.4 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat.

Material	Kadar Lumpur %	Keterangan
Agregat Kasar ½	0,04	Memenuhi Syarat Agregat Kasar < 1%

Sumber: Hasil analisa penelitian

Berdasarkan tabel 5.4 hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar ½ ialah 0,04% memenuhi syarat yang ditentukan menurut SNI 03-6821-2002 untuk agregat kasar < 1%, sehingga agregat yang digunakan pada penelitian ini tidak perlu dilakukan pencucian agregat.

5.7 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.

Tabel 5.5 Berat Isi Agregat.

Material	Berat Isi (gr/cm ³)
Agregat Kasar ½	1,502
Semen	0,97
Abu Arang Kayu Karet	0,9

Sumber: Hasil analisa penelitian

Berdasarkan tabel 5.5, dapat dilihat bahwa setelah melakukan pemeriksaan material, berat isi agregat kasar sebesar 1,502%, berat isi semen sebesar 0,97%, dan berat isi abu arang kayu karet sebesar 0,9%.

5.8 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.

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 1x Adukan Untuk 3 Benda Uji (0,02066532)	
1	Semen	214,285	4,428 kg
2	Air	84,346	1,743 liter
3	Agregat Kasar ½	2762,819	57,094 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*) ialah nilai proporsi 1 kali adukan ialah 57,094 dimana untuk jumlah yang dibutuhkan dalam 1 kali pencampuran pembuatan beton porous ialah 28,547 kg.

5.9 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 pematatan atau pekerjaan beton akan mengalami kesulitan dan butuh waktu cukup lama. dalam proses pengerjaan atau pematatan lebih mudah dilaksanakan dan tidak memerlukan waktu yang lama dalam proses pematatannya.

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

Tabel 5.7 Nilai *slump*

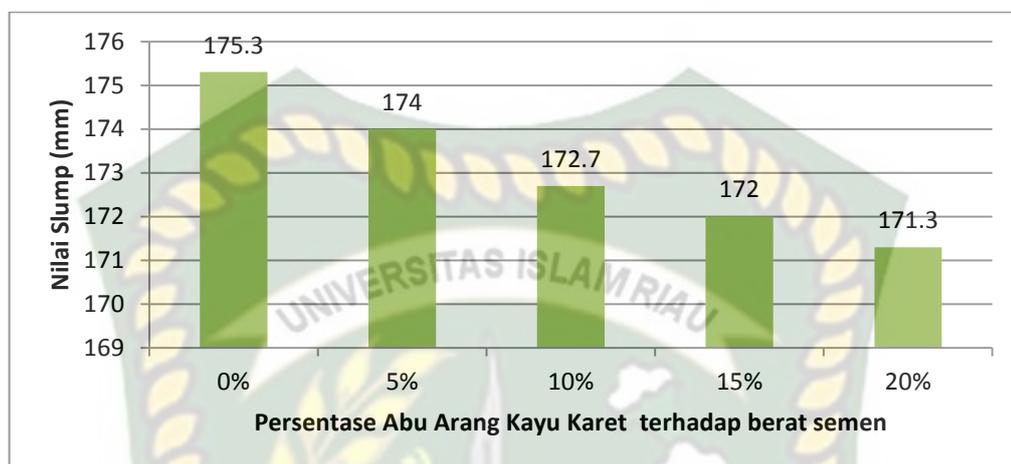
No	Persentase Abu	Perawatan (Hari)	Slump (mm)	Slump Rata-rata
1	0	28	176	175,3
			175	
			175	
2	5	28	174	174
			173	
			175	
3	10	28	172	172,7
			174	
			172	
4	15	28	173	172
			172	
			171	
5	20	28	171	171,3
			171	
			172	

Sumber : Hasil analisa penelitian

Dapat dilihat hasil data penelitian pada tabel 5.7, bahwa nilai slump yang didapatkan melewati nilai *slump* untuk pekerjaan beton porous dalam tabel 3.4 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 176 mm, pada benda uji 2 memiliki nilai slump sebesar 175 mm, pada benda uji 3 memiliki nilai slump 175 mm dengan nilai slump rata – rata 175,3 mm, persentase 5% dengan umur perawatan 28 hari pada benda uji 1 memiliki nilai slump sebesar 174 mm, pada benda uji 2 memiliki nilai slump sebesar 173 mm, pada benda uji 3 memiliki nilai slump 175 mm dengan nilai slump rata – rata 174 mm, persentase 10% dengan umur perawatan 28 hari pada benda uji 1 memiliki nilai slump sebesar 172 mm, pada benda uji 2 memiliki nilai slump sebesar 174 mm, pada benda uji 3 memiliki nilai slump 172 mm dengan nilai slump rata – rata 172,7 mm, persentase 15% dengan umur perawatan 28 hari pada benda uji 1 memiliki nilai slump sebesar 173 mm, pada benda uji 2 memiliki nilai slump sebesar 172 mm, pada benda uji 3 memiliki nilai slump 171 mm dengan nilai slump rata – rata 172 mm, persentase 20% dengan umur perawatan 28 hari pada benda uji 1 memiliki nilai slump sebesar 171 mm, pada

benda uji 2 memiliki nilai slump sebesar 171 mm, pada benda uji 3 memiliki nilai slump 172 mm dengan nilai slump rata – rata 171,3 mm

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



Gambar 5.1 Grafik Pengaruh Penambahan Persentase Abu Arang Kayu Karet Terhadap Berat Semen Kepada Nilai Slump

Berdasarkan gambar 5.1 dapat dilihat bahwa pada beton porous dengan penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen mengalami penurunan dari persentase 0% dengan nilai slump 175,3 mm, persentase 5% dengan nilai slump 174 mm, persentase 10% dengan nilai slump 172,7 mm, persentase 15% dengan nilai slump 172 mm, dan persentase 20% dengan nilai slump sebesar 171,3 mm. Penurunan yang dialami oleh nilai slump tersebut dikarenakan adanya penambahan abu arang kayu karet, semakin besar persentase penambahan abu arang kayu karet maka akan semakin mempengaruhi faktor air semen pada beton porous tersebut.

5.10 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 kayu karet.

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.

Tabel 5.8 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Porous Penambahan Abu Arang Kayu Karet Terhadap Berat Semen.

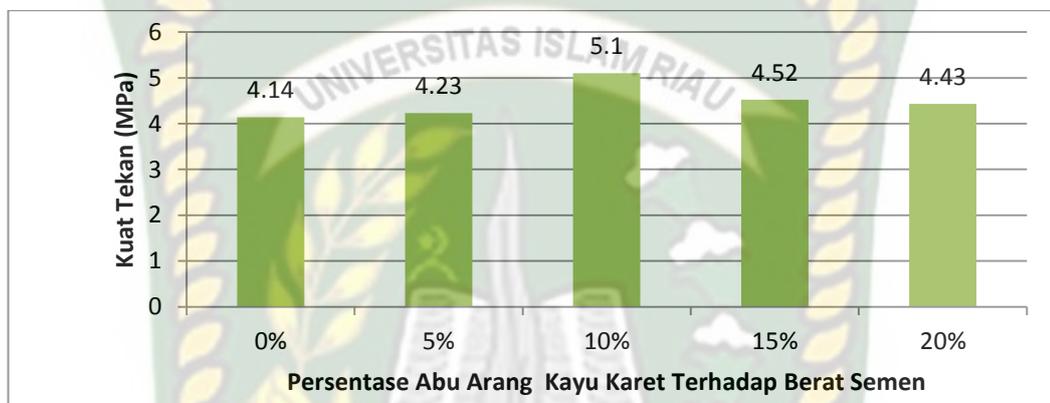
Persentase Abu (%)	Kuat Tekan (Mpa)	fc'r (MPa)	fc'k (MPa)	NRMCA, 2011	ACI 522R – 10
0	4,33 4,04 4,04	4,14	4,24	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat
5	4,04 4,33 4,62	4,23	3,68	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat
10	5,19 5,19 4,91	5,10	5,09	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat
15	4,04 4,62 4,90	4,52	3,96	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat
20	4,62 4,04 4,62	4,43	4,53	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat

Sumber: Hasil analisa penelitian

Berdasarkan 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 penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen 0% dengan kuat tekan rata – rata 4,14 MPa dan kuat tekan karakteristik 2,67 MPa memenuhi syarat yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan ACI 522R-10, untuk persentase penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen 5% dengan kuat tekan rata – rata 4,23 MPa dan kuat tekan karakteristik 3,50 MPa memenuhi syarat yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan ACI 522R-10, untuk persentase penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen 10% dengan kuat tekan rata – rata 5,10 MPa dan kuat tekan karakteristik 4,82 MPa memenuhi syarat yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan ACI 522R-10, untuk persentase penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen 15% dengan kuat tekan rata – rata 4,52 MPa dan kuat tekan karakteristik 3,95 MPa memenuhi syarat yang

ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan ACI 522R-10, sedangkan untuk persentase penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen 20% dengan kuat tekan rata – rata 4,43 MPa dan kuat tekan karakteristik 4,53 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 penambahan abu arang kayu karet 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% terhadap berat semen, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik Pengaruh Penambahan Persentase Abu Arang Kayu Karet Terhadap Berat Semen Kepada Kuat Tekan Beton Porous Pada Umur 28 Hari

Dapat dilihat pada gambar 5.2 bahwa penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen mengakibatkan terjadinya kenaikan kuat tekan hingga persentase 10%, akan tetapi dipersentase 15% dan 20% terjadi penurunan kuat tekan. Pada penggunaan penambahan abu arang kayu karet 0% terhadap berat semen diperoleh kuat tekan 4,14 MPa, penggunaan penambahan abu arang kayu karet 5% terhadap berat semen diperoleh kuat tekan 4,23 MPa, penggunaan penambahan abu arang kayu karet 10% terhadap berat semen diperoleh kuat tekan 5,10 MPa, penggunaan penambahan abu arang kayu karet 15% terhadap berat semen diperoleh kuat tekan 4,52 MPa, serta penggunaan penambahan abu arang kayu karet 20% terhadap berat semen diperoleh kuat tekan 4,43 MPa.

5.11 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 dai 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.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Porositas

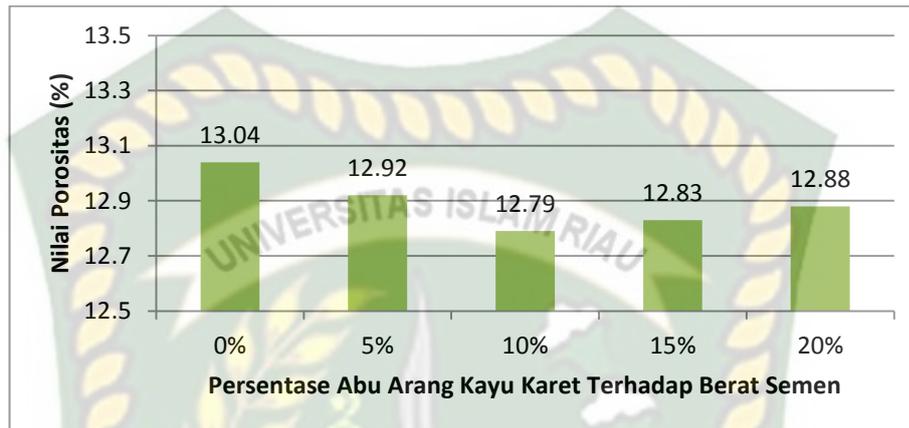
No	Persentase (%)	Porositas (%)	Beton Non – Pasir. Trisnoyuwono, 2014
1	0	13,04	Memenuhi Syarat
2	5	12,92	Memenuhi Syarat
3	10	12,79	Memenuhi Syarat
4	15	12,83	Memenuhi Syarat
5	20	12,88	Memenuhi Syarat

Sumber: Hasil analisa penelitian

Berdasarkan tabel 5.9 dapat dilihat bahwa penambahan abu arang kayu karet menyebabkan terjadinya penurunan persentase porositas terhadap semua benda uji dan memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam tabel 3.8. Dimana didapatkan nilai porositas sebesar 13,04% untuk persentase 0% penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen dan memenuhi persyaratan yang diitetapkan, 12,92% untuk persentase 5% penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen dan memenuhi persyaratan yang diitetapkan, 12,79% untuk persentase 10% penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen dan memenuhi persyaratan yang diitetapkan, 12,83% untuk persentase 15% penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semendan memenuhi

persyaratan yang ditetapkan, 12,88% untuk persentase 20% penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen juga memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

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



Gambar 5.3 Grafik Pengaruh Penambahan Persentase Abu Arang Kayu Karet Terhadap Berat Semen Kepada Porositas Beton Porous

Berdasarkan gambar 5.3 terlihat nilai porositas beton mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena penambahan abu arang kayu karet disetiap persentase, semakin banyak penambahan abu arang kayu maka ruang-ruang kosong atau besarnya kadar pori yang terdapat pada beton porous semakin sedikit (rendah), sehingga mempengaruhi kuat tekan beton porous tersebut. Pada penambahan persentase abu arang kayu karet terhadap berat semen dengan persentase 0% mempunyai nilai porositas sebesar 13,04%, pada persentase 5% mempunyai nilai porositas sebesar 12,92%, pada persentase 10% mempunyai nilai porositas sebesar 12,79%, pada persentase 15% mempunyai nilai porositas sebesar 12,83%, pada persentase 20% mempunyai nilai porositas sebesar 12,88%.

5.12 Hasil Analisa Permeabilitas

Faktor yang mempengaruhi permeabilitas ialah faktor air semen (FAS) dari campuran beton porous, kondisi lingkungan dan sifat dari semen. Pengujian permeabilitas dapat dilakukan dengan menggunakan pengujian prinsip tinggi energi turun (Falling Head Meter), diawali dengan meletakkan sampel ditengah

kemudian mengisi galondengan air, setelah itu membuka kran air dan hitung waktu air mengalir menggunakan stopwatch.

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.

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Permeabilitas Beton Porous

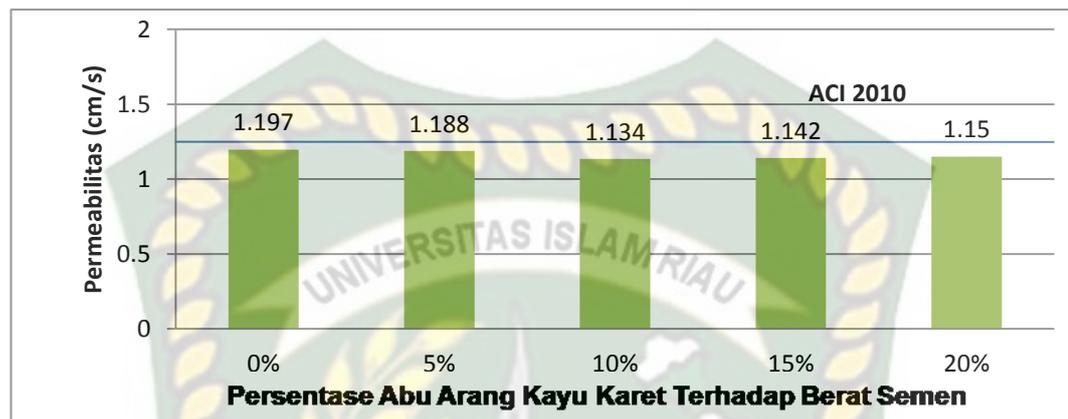
Persentase (%)	Permeabilitas Rata – Rata (k = cm/s)	NRMCA, 2011	ACI 522R – 10
0	1,197	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat
5	1,188	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat
10	1,134	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat
15	1,142	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat
20	1,150	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat

Sumber : Hasil analisa penelitian

Berdasarkan tabel 5.10 didapatkan penggunaan penambahan abu arang kayu karet 0% terhadap berat semen diperoleh nilai permeabilitas 1,197cm/s memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan (ACI 522R - 10) dalam tabel 3.9, penggunaan penambahan abu arang kayu karet 5% terhadap berat semen diperoleh nilai permeabilitas 1,188 cm/s memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan (ACI 522R - 10) dalam tabel 3.9, penggunaan abu arang kayu karet 10% terhadap berat semen diperoleh nilai permeabilitas 1,134 cm/s memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan (ACI 522R - 10) dalam tabel 3.9, penggunaan penambahan abu arang kayu karet 15% terhadap berat semen diperoleh nilai permeabilitas 1,142 cm/s memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh (NRMCA, 2011) dan (ACI 522R - 10) dalam tabel 3.9, serta pada penggunaan penambahan abu arang kayu karet 20% terhadap berat semen diperoleh nilai permeabilitas 1,150 cm/s 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 Penambahan Persentase Abu Arang Kayu Karet Terhadap Berat Semen Kepada Permeabilitas Beton Porous

Dapat dilihat dari gambar 5.4 hasil persentase beton porous dengan penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen mengalami penurunan pada persentase 0% memiliki nilai permeabilitas sebesar 1,197 cm/s, persentase 5% dengan nilai permeabilitas sebesar 1,188 cm/s, 10% dengan nilai permeabilitas sebesar 1,134 cm/s, kemudian pada persentase 15% mengalami kenaikan dengan nilai permeabilitas sebesar 1,142 cm/s, hingga persentase 20% dengan nilai permeabilitas sebesar 1,150 cm/s. Hal ini disebabkan karena penambahan abu arang kayu karet pada setiap persentase, sehingga kemudahan beton porous untuk dapat dilalui air semakin sulit karena rongga –rongga didalam beton porous berkurang.

5.13 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 sampai dengan lampiran C7 dan tabel 5.11.

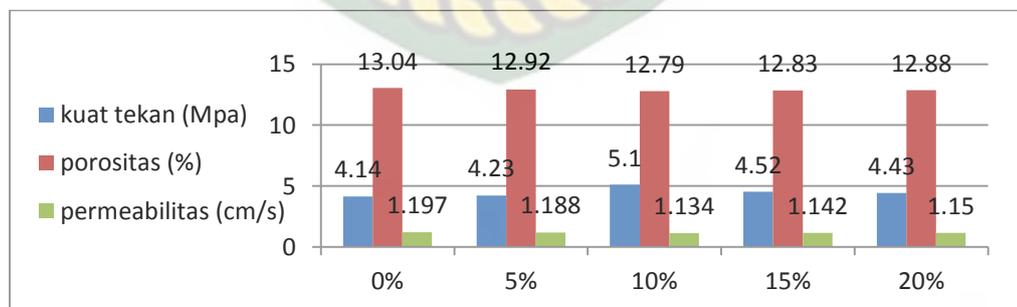
Tabel 5.11 Hubungan Antara Kuat Tekan, Porositas dan Permeabilitas

No	Persentase (%)	Permeabilitas (cm/s)	Porositas (%)	Kuat Tekan (MPa)
1	0	1,197	13,04	4,14
2	5	1,188	12,92	4,23
3	10	1,134	12,79	5,10
4	15	1,142	12,83	4,52
5	20	1,150	12,88	4,43

Sumber :Hasil analisa penelitian

Berdasarkan tabel 5.11 dengan nilai permeabilitas 1,197 cm/s didapatkan nilai porositas sebesar 13,04% dan nilai kuat tekan sebesar 4,14 MPa, nilai permeabilitas 1,188 cm/s didapatkan nilai porositas sebesar 12,92% dan nilai kuat tekan sebesar 4,23 MPa, nilai permeabilitas 1,134 cm/s didapatkan nilai porositas sebesar 12,79% dan nilai kuat tekan sebesar 5,10 MPa, nilai permeabilitas 1,142 cm/s didapatkan nilai porositas 12,83% dan nilai kuat tekan sebesar 4,52 MPa, sedangkan nilai permeabilitas 1,150 cm/s didapatkan nilai porositas 12,88% dan nilai kuat tekannya sebesar 4,43 MPa.

Berdasarkan tabel 5.11 maka nilai kuat tekan, porositas dan permeabilitas masing – masing beton porous dengan persentase penambahan abu arang kayu karet 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% terhadap berat semen, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 5.5.



Gambar 5.5 Hubungan Kuat Tekan, Porositas, dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Penambahan Abu Arang Kayu Karet Terhadap Berat Semen

Berdasarkan gambar 5.5 dapat diketahui bahwa beton porous dengan penambahan abu kayu karet terhadap berat semen terjadi kenaikan terhadap kuat tekan hingga persentase 10%, namun terjadi penurunan di porositas dan permeabilita. Dimana nilai kuat tekan tertinggi pada persentase 10% dengan nilai kuat tekan sebesar 5,10 MPa dan nilai kuat tekan terendah pada persentase 0% dengan nilai kuat tekan sebesar 4,14 MPa. Sedangkan untuk porositas, nilai persentase porositas terendahnya pada persentase 10% penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen dengan nilai persentase porositas sebesar 12,79% dan nilai porositas tertingginya pada persentase 0% penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen dengan nilai persentase porositas sebesar 13,04%. Kemudian untuk nilai permeabilitas terendahnya pada persentase 10% penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen dengan nilai permeabilitas sebesar 1,134 cm/s dan untuk nilai permeabilitas tertingginya pada persentase 20% penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen dengan nilai permeabilitas sebesar 1,150 cm/s.

Sehingga dapat diketahui bahwa penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen efektif pada persentase 10% dengan nilai 5,10 Mpa, karena nilai maksimum kuat tekan beton porous berada pada 10% maka dianggap efektif, namun pororsitas dan permeabilitas berbanding terbalik dengan kuat tekan, pada porositas dipersentase 10% dengan nilai 12,79% dan permeabilitas di persentase 10% dengan nilai 1,134 cm/s adalah nilai yang paling rendah dari persentase yang lainnya.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan data penelitian analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kuat tekan beton porous untuk penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen meningkat mulai dari persentase 0% dengan nilai 4,14 MPa, persentase 5% dengan nilai 4,23 Mpa sampai dengan persentase 10% dengan nilai 5,10 Mpa. Dan dipersentase 15% dengan nilai 4,52 MPa sampai dengan persentase 20% dengan nilai 4,43 MPa mengalami penurunan. Masing – masing persentase abu arang kayu karet memenuhi persyaratan kuat tekan beton porous menurut (NRMCA,2011) dan (ACI522R – 10).
2. Permeabilitas beton porous untuk penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen mengalami penurunan mulai dari persentase 0% dengan nilai 1,197 cm/s, persentase 5% dengan nilai 1,188 cm/s sampai dengan persentase 10% dengan nilai 1,134 cm/s. Namun dipersentase 15% dengan nilai 1,142 cm/s dan 20% dengan nilai 1,269 cm/s mengalami kenaikan. permeabilitas beton porous dengan penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen ini memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh (NRMCA,2011) dan (ACI 522R – 10), akan tetapi permeabilitas beton porous dipersentase 20% tidak memenuhi syarat yang ditetapkan.
3. Porositas beton porous mengalami penurunan mulai dari persentase 0% dengan nilai 13,04%, persentase 5% dengan nilai 12,92% sampai dengan persentase 10 % dengan nilai 12,79. Namun dipersentase 15% dengan nilai 12,83% dan persentase 20% dengan nilai 12,88% mengalami kenaikan.

Porositas beton porous dengan persentase penambahan abu arang kayu karet memenuhi standar porositas yang ditetapkan.

4. Abu arang kayu karet tidak efektif digunakan karena nilai maksimum yang terjadi pada persentase 10% untuk penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen belum memenuhi syarat nilai maksimum dari standar NRMCA dan ACI 552R -10. kemudian untuk porositas dan permeabilitas mengalami penurunan, sehingga penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen tidak efektif untuk porositas dan permeabilitas dari beton porous itu sendiri.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terhadap perbandingan kuat tekan, porositas dan permeabilitas beton porous dengan penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen. Maka penulis menyampaikan saran yang terkait pada penelitian ini, antara lain sebagai berikut:

1. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa rata-rata nilai kuat tekan dari persentase penambahan abu arang kayu karet terhadap berat semen mengalami penurunan (rendah). Sehingga, penelitian ini dapat diaplikasikan untuk perkerasan jalan dengan beban lalu lintas ringan. seperti jalur pejalan kaki/sepeda, jalan lingkungan, trotoar, bahu jalan, lapangan parkir dan halaman rumah dengan kapasitas kuat tekan mulat5elitian lanjut untuk beton porous dengan menggunakan perbandingan dan faktor air semen (FAS) yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjut untuk beton porous dengan penambahan dan campuran yang berbeda agar kuat tekan, porositas dan permeabilitas dari beton porous meningkat.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjut untuk beton porous dengan melakukan perawatan dan perendaman beton porous yang berbedalkkk,

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committe, 2010. ACI 522R – 10, *Report On Pervious Concrete*. American Concrete Institute, USA.
- Antoni, 2008. *Green Concrete Porous Concrete* Pelajaran. Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Chowdhury, 2015. Pengembangan Kekuatan Beton Dengan Abu Kayu Campuran Semen Dan Penggunaan Model Komputasi Lunak Untuk Memprediksi Parameter Kekuatan, UGM, Yogyakarta.
- Ginting, 2007. Kuat Tekan Dan Porositas Beton Porous Dengan Bahan Pengisi *Styrofoam*. Universitas Janabadra, Yogyakarta.
- Hidayat, 2015. Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur Dengan Menggunakan Beberapa Merk Semen Berdasarkan SNI. Universitas Islam Riau, Pekanbaru.
- Supriadi, 2016. Perbandingan Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan 4 Cara Perawatan. Universitas Islam Riau, Pekanbaru.
- Murti, 2009. Pengaruh Pemanfaatan Arang Kayu Sebagai Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Campuran Beton, Universitas Jember, Jawa Timur.
- NRMCA, 2004. “*What Why, and How? Pervious Concrete*” *Concrete in Practice Series*, CIP 38. NRMCA (National Ready Mixed Concrete Association), USA.
- NRMCA, 2010. *Pervious Concrete and Construction (Internasional Concrete Sustainability Conference Dubai)*, USA.
- Ruswanto, 2017. Pengaruh Penambahan Abu Pembakaran Serbuk Kayu Jati Terhadap Kuat Tekan Beton Dan Serapan Air Pada *Paving Block*, Jakarta.
- Tjokrodinuljo, 2007. serba-serbi Beton non – pasir (Hasil Penelitian Di Laboratorium dan Uji Coba Lapangan), JTSL-FT, UGM, Yogyakarta.
- Yusnita, 2008. Pengaruh Penambahan Abu Pembakaran Serbuk Kayu Terhadap Sifat Mekanik Dan Sifat Fisika Beton. Universitas Janabadra, Yogyakarta.

Hanta, 2015. Studi Eksperimental Pengaruh Bentuk Agregat Terhadap Nilai Porositas Dalam Campuran Beton Berpori Pada Aplikasi Jalur Perjalan Kaki. Universitas Kristen Krida Wacana. Bandar Lampung.

Tjokrodimuljo, K., 1996. Teknologi Beton, Buku Ajaran Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

SK SNI 03-1973-2008, 2008, Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara Beton, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

SK SNI 03-1968-1990, 1990. Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar, Jakarta: Badan Standar Nasional.

SNI 03-1974-1990, 1990. Metode Pengujian Kuat Tekan Beton, Jakarta: Badan Departemen Pekerjaan Umum.

Khonando, 2019. Kuat Tekan Dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Variasi Ukuran Agregat, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Prabowo, 2013. Desain Beton Berpori Untuk Perkerasan Jalan Yang Ramah Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta.