

**PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH BATU ONYX SEBAGAI  
PENGGANTI AGREGAT KASAR PADA CAMPURAN BETON  
TERHADAP POROSITAS BETON**

**SKRIPSI  
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AISAH NURANDILAH K  
NIM. 115060100111014**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2016**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH BATU ONYX SEBAGAI PENGGANTI**  
**AGREGAT KASAR PADA CAMPURAN BETON TERHADAP POROSITAS**  
**BETON**

**SKRIPSI**  
**TEKNIK SIPIL KONSENTRASI STRUKTUR**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AISAH NURANDILAH K**  
**NIM. 115060100111014**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 28 Januari 2016

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Edhi Wahjuni Setyowati, MT.  
NIP. 19570616 198601 2 001

Dr. Ir. Wisnumurti, MT.  
NIP. 19640709 199002 1 001

Mengetahui  
Ketua Program Studi

Dr. Eng. Indradi W., ST., M.Eng (Prac.)  
NIP. 19810220 200604 1 002

**LEMBAR IDENTITAS PENGUJI**

JUDUL SKRIPSI :

PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH BATU *ONYX* SEBAGAI PENGGANTI  
AGREGAT KASAR PADA CAMPURAN BETON TERHADAP POROSITAS BETON

Nama Mahasiswa : Aisah Nurandilah Khosemde

NIM : 115060100111014

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji I : Dr. Ir. Edhi Wahjuni Setyowati, MT.

Dosen Penguji II : Dr. Ir. Wisnumurti, MT.

Dosen Penguji III : Retno Anggraini, ST, MT.

Tanggal Ujian : 21 Januari 2015

SK Penguji : 025/UN10.6/AK/2016



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 29 Januari 2016

Mahasiswa,

Aisah Nurandilah Khosemde

NIM. 115060100111014



## PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul “**Pengaruh Penggunaan Limbah Batu *Onyx* sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Campuran Beton terhadap Porositas Beton**” dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan atas bantuan, motivasi, bimbingan, dan petunjuk dari berbagai pihak. Sehingga pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. **Ibu, Ayah, dan Adik tercinta serta keluarga besar** yang selalu memberikan dukungan baik moral maupun material
2. **Ir. Sugeng P. Budio, MS** selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya
3. **Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.)** selaku Ketua Prodi S1 Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya
4. **Dr. Ir. Wisnumurti, MT.** selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya
5. **Dr. Ir. Edhi Wahyuni, MT.** selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama proses penulisan skripsi.
6. **Dr. Ir. Wisnumurti, MT.** selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama proses penulisan skripsi.
7. **Retno Anggraini, ST, MT.** selaku Ketua Majelis Seminar Proposal dan Dosen Penguji skripsi.
8. **Dhita, Aulia, Ghyats, Beta dan Karisa** selaku Tim Onix Ceria yang telah bekerja sama dengan baik dalam suka maupun duka mulai dari proses pencarian judul hingga skripsi ini selesai.
9. **Bapak Amik** selaku pihak yang telah menyediakan limbah batu *onyx* sebagai bahan utama penyusun beton normal bagi penelitian dalam skripsi ini.
10. **Bapak Ferdi dan Ibu Putri** selaku pihak pemilik mesin *crusher* yang telah membantu menyiapkan dan membentuk limbah batu *onyx* sesuai dengan kebutuhan.

11. **Ahmad Fahmi dan Atika Nikmatul U.** selaku partner tugas studio perancangan dan teman seperjuangan yang selama ini terus memberikan dukungan agar skripsi ini cepat selesai.
12. **Teman - teman yang telah membantu dan ikut bekerja keras di lab. Struktur** (Pak ketan, Mamen, Raenal, Agung, Ida Adit) dan segenap **Keluarga Besar Mahasiswa Sipil 2011** yang telah membantu dalam pelaksanaan skripsi ini.
13. **Kakak - kakak Senior** yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyelesaian skripsi.
14. Seluruh pihak yang telah membantu dalam proses pembuatan skripsi.

Penulis menyadari sepenuhnya dalam penulisan skripsi ini, masih banyak terdapat kekurangan dan kelemahan. Maka penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca dan penulis.

Malang, 06 Januari 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>viii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	2
1.3 Rumusan Masalah .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Tujuan Penelitian .....	3
1.6 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Batu Alam .....	4
2.1.1 Pengertian Umum .....	4
2.1.2 Klasifikasi Batu Alam .....	4
2.2 Batu <i>Onyx</i> .....	5
2.2.1 Pengertian Umum .....	5
2.2.2 Sifat Batu <i>Onyx</i> .....	5
2.2.3 Struktur Batu <i>Onyx</i> .....	6
2.3 Beton .....	6
2.4 Bahan Penyusun Beton .....	7
2.4.1 Semen .....	7
2.4.2 Agregat .....	8
2.4.3 Air .....	14
2.5 Metode Perawatan ( <i>Curing</i> )Faktor Air Semen (FAS).....	15
2.6 Faktor Air Semen (FAS) .....	15
2.7 Porositas .....	16
2.8 Penelitian Terdahulu .....	17
2.9 Hipotesis .....	18
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
3.1 Prosedur Penelitian .....	19
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	20
3.3 Variabel Penelitian .....	20
3.4 Identifikasi Benda Uji .....	20
3.5 Analisa Bahan yang Digunakan .....	20
3.6 Pengujian Bahan Dasar .....	22



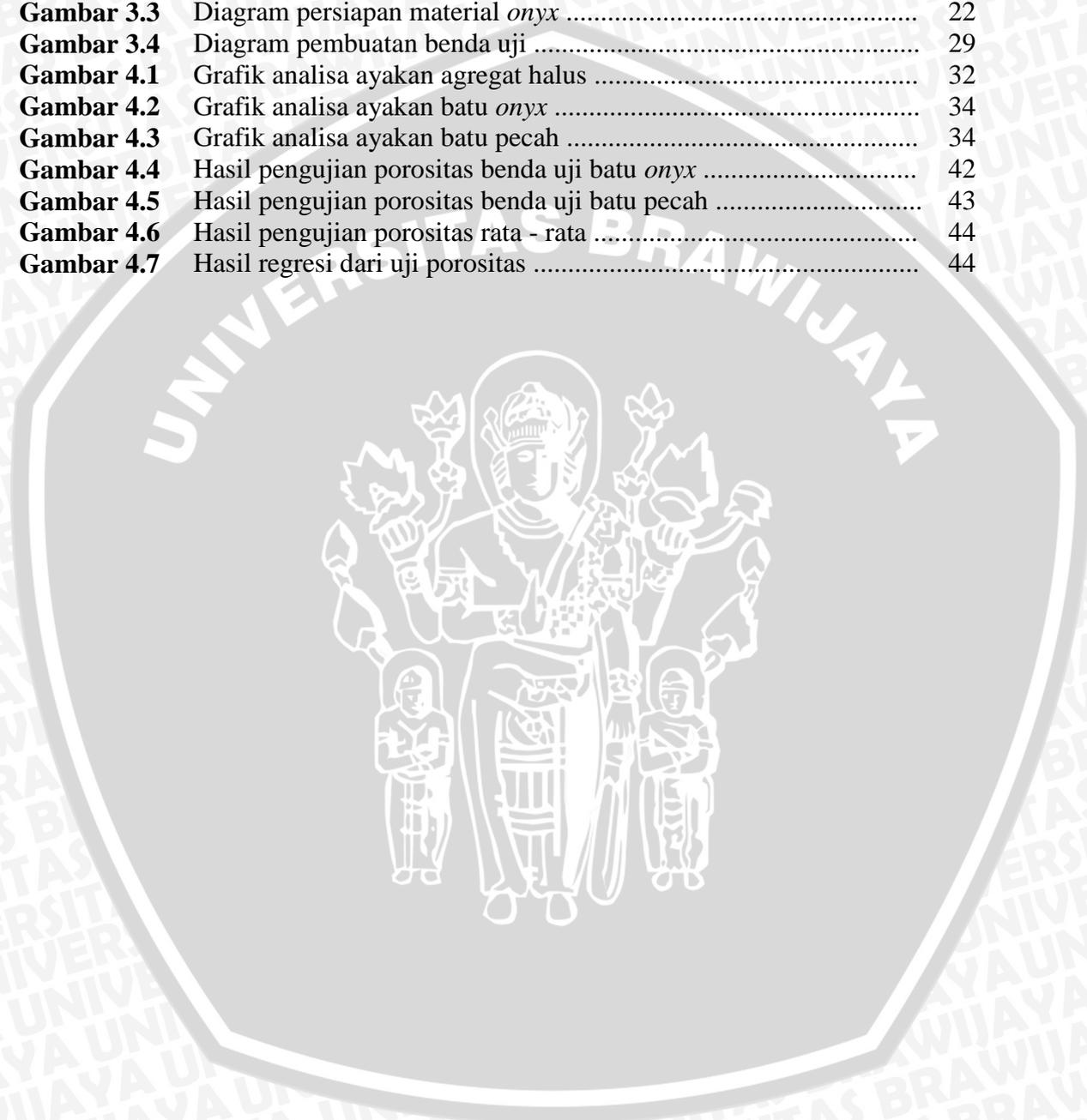
3.6.1 Pengujian Agregat Kasar .....	22
3.6.2 Pengujian Agregat Halus .....	25
3.7 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji .....	28
3.8 Pengujian Porositas .....	29
3.9 Metode Analisis .....	30
3.9.1 Uji ANOVA.....	30
3.9.2 Uji-T .....	31
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>32</b>
4.1 Analisa Bahan yang Digunakan .....	32
4.1.1 Air .....	32
4.1.2 Semen .....	32
4.1.3 Pengujian Agregat Halus .....	32
4.1.4 Pengujian Agregat Kasar .....	34
4.2 <i>Mix Design</i> .....	36
4.3 Komposisi Bahan .....	38
4.4 Pengujian <i>Slump</i> .....	38
4.5 Perawatan Beton ( <i>Curing</i> ) .....	39
4.6 Pengujian Porositas .....	39
4.7 Pembahasan .....	44
4.7.1 Analisis ANOVA .....	44
4.7.2 Analisis <i>T-Test</i> .....	49
4.7.3 Pembahasan Hasil .....	52
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>54</b>
5.1 Kesimpulan .....	54
5.2 Saran .....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Hal.
<b>Tabel 2.1</b>	Kandungan Unsur Kimia Batu <i>Onyx</i> .....	6
<b>Tabel 2.2</b>	Syarat Gradasi Batu Alam Berdasarkan SNI 03-3834-2000 .....	11
<b>Tabel 2.3</b>	Syarat Gradasi Batu Alam Berdasarkan ASTM C-33 .....	12
<b>Tabel 2.4</b>	Syarat Gradasi Agregat Halus Berdasarkan SNI 03-3834-2000 .....	13
<b>Tabel 2.5</b>	Syarat Gradasi Agregat Halus Berdasarkan ASTM C-33 .....	14
<b>Tabel 2.6</b>	Proporsi Agregat dengan Semen .....	16
<b>Tabel 3.1</b>	Jumlah Benda Uji .....	20
<b>Tabel 4.1</b>	Data Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus....	33
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.....	33
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil Pengujian Kadar Air dan Berat Isi Agregat Halus .....	33
<b>Tabel 4.4</b>	Data Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar....	35
<b>Tabel 4.5</b>	Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar .....	35
<b>Tabel 4.6</b>	Hasil Pengujian Kadar Air dan Berat Isi Agregat Kasar .....	36
<b>Tabel 4.7</b>	Komposisi Bahan Menggunakan Batu <i>Onyx</i> .....	38
<b>Tabel 4.8</b>	Komposisi Bahan Menggunakan Batu Pecah .....	38
<b>Tabel 4.9</b>	Nilai <i>Slump</i> dan Proporsi Bahan Penyusun Beton dengan Material Batu <i>Onyx</i> .....	39
<b>Tabel 4.10</b>	Nilai <i>Slump</i> dan Proporsi Bahan Penyusun Beton dengan Material Batu Pecah .....	39
<b>Tabel 4.11</b>	Hasil Perhitungan Porositas Beton Normal dengan Agregat Batu <i>Onyx</i> .....	40
<b>Tabel 4.12</b>	Hasil Perhitungan Porositas Beton Normal dengan Agregat Batu Pecah .....	41
<b>Tabel 4.13</b>	Rekap Hasil Pengujian Porositas Rata - Rata Beton.....	41
<b>Tabel 4.14</b>	Perhitungan Pengujian ANOVA Hipotesis Porositas beton <i>onyx</i> terhadap Fator Air Semen (FAS) .....	46
<b>Tabel 4.15</b>	Perhitungan Pengujian ANOVA Hipotesis Porositas beton normal terhadap Fator Air Semen (FAS) .....	45
<b>Tabel 4.16</b>	Perhitungan Uji-T Hipotesa Porositas Beton dengan FAS 0,4 .....	50
<b>Tabel 4.17</b>	Perhitungan Uji-T Hipotesa Porositas Beton dengan FAS 0,5 .....	50
<b>Tabel 4.18</b>	Perhitungan Uji-T Hipotesa Porositas Beton dengan FAS 0,6 .....	51

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Hal.
<b>Gambar 2.1</b>	Batas gradasi agregat kasar .....	13
<b>Gambar 2.2</b>	Batas gradasi agregat halus .....	14
<b>Gambar 3.1</b>	Prosedur penelitian .....	19
<b>Gambar 3.2</b>	Diagram persiapan material pasir .....	21
<b>Gambar 3.3</b>	Diagram persiapan material <i>onyx</i> .....	22
<b>Gambar 3.4</b>	Diagram pembuatan benda uji .....	29
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik analisa ayakan agregat halus .....	32
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik analisa ayakan batu <i>onyx</i> .....	34
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik analisa ayakan batu pecah .....	34
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil pengujian porositas benda uji batu <i>onyx</i> .....	42
<b>Gambar 4.5</b>	Hasil pengujian porositas benda uji batu pecah .....	43
<b>Gambar 4.6</b>	Hasil pengujian porositas rata - rata .....	44
<b>Gambar 4.7</b>	Hasil regresi dari uji porositas .....	44



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Hal.
<b>Lampiran 1</b>	Analisa <i>Mix Design</i> .....	57
<b>Lampiran 2</b>	Pengujian Gradasi Agregat Halus .....	63
<b>Lampiran 3</b>	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus .....	66
<b>Lampiran 4</b>	Pengujian Kadar Air dan Berat Isi Agregat Halus .....	67
<b>Lampiran 5</b>	Pengujian Gradasi Agregat Kasar Batu <i>Onyx</i> .....	68
	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Batu	
<b>Lampiran 6</b>	<i>Onyx</i> .....	71
<b>Lampiran 7</b>	Pengujian Kadar Air dan Berat Isi Agregat Kasar Batu <i>Onyx</i> ....	72
<b>Lampiran 8</b>	Pengujian Gradasi Agregat Kasar Batu Pecah .....	73
	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Batu	
<b>Lampiran 9</b>	Pecah .....	76
<b>Lampiran 10</b>	Pengujian Kadar Air dan Berat Isi Agregat Kasar Batu Pecah ...	77
<b>Lampiran 11</b>	Hasil Pengujian Porositas .....	78
<b>Lampiran 12</b>	Dokumentasi .....	84



## RINGKASAN

**Aisah Nurandilah K.**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2016, *Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Onyx sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Campuran Beton terhadap Porositas Beton*, Dosen Pembimbing: Edhi Wahyuni Setyowati dan Wisnumurti.

Limbah merupakan sisa material yang tidak digunakan pada proses pengolahan suatu industri. Salah satu industri penghasil limbah adalah industri pembuatan kerajinan yang terbuat dari batu onyx dan marmer. Sisa - sisa dari kerajinan tersebut biasanya dibiarkan menumpuk pada saat proses pemotongan dan penghalusan kerajinan dan terkumpul dalam jumlah yang sangat banyak, sehingga perlu diadakan usaha - usaha untuk memanfaatkan limbah tersebut. Hingga saat ini limbah batu onyx hanya dimanfaatkan sebatas untuk bahan campuran dalam pembuatan plesteran untuk halaman dan yang digunakan hanya limbah yang berupa serbuk - serbuk hasil pemotongan dan penghalusan batuan, sedangkan untuk limbah yang berupa bongkahan belum menemukan penggunaan yang tepat, sedangkan produksi limbah ini terus bertambah tiap tahunnya.

Batu *onyx* adalah kristal padat yang terbentuk dari metamorfosis batu kapur, umumnya mengandung kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomit [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ]. Batu *onyx* memiliki bentuk yang hampir mirip dengan batu marmer dan memiliki warna putih kekuningan dan agak bening, sehingga tembus pandang. Material ini memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan bangunan dikarenakan batu *onyx* memiliki pori - pori batuan yang relatif kecil sehingga diharapkan memiliki penyerapan terhadap air yang lebih kecil.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian porositas beton normal dengan batu *onyx* sebagai substitusi agregat kasar yang akan dibandingkan hasilnya dengan beton normal yang menggunakan batu pecah. Di dalam penelitian ini dilakukan pembuatan benda uji dengan nilai Faktor air semen (FAS) yang berbeda yaitu 0,4; 0,5 dan 0,6. Jumlah air dari setiap campuran dibuat sama namun dengan jumlah agregat dan semen yang berbeda pada tiap faktor air semen.

Nilai porositas benda uji dengan variasi Faktor Air Semen (FAS) yaitu 0,4; 0,5; dan 0,6 memberikan nilai porositas rata - rata sebagai berikut 14,872%, 15,878% dan 13,846% untuk benda uji yang menggunakan agregat kasar limbah batu *onyx* dan 17,064%, 16,372% dan 18,257% untuk benda uji yang menggunakan agregat batu pecah.

Kata kunci: limbah *onyx*, Faktor Air Semen, porositas beton dengan agregat kasar *onyx*

## SUMMARY

**Aisah Nurandilah K.**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, January 2016, *Effect of Using Onyx Stone Waste as Coarse Aggregate Replacement in Concrete Mix based on Concrete's Porosity*, Academic Supervisor: Edhi Wahyuni Setyowati and Wisnumurti

Waste is material that is not used in the processing industry. One of the industries that produce a lot of waste is industrial manufacturing handicrafts made of onyx and marble stone. The waste of the craft usually accumulate during the cutting process and refining the craft, so there should be any kind of effort to utilize the waste. Up till now onyx stones' waste utilized limited only to the mixed material in the manufacture of plastering the yard and only using waste in the form of powder as a result of cutting and smoothing of rocks, whereas for waste in the form of chunks have not found the proper use, while the waste production continues increase every year.

Onyx stones are solid crystals that formed from the metamorphism of limestone, generally contains calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomite [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ]. Onyx stone has a shape that is almost similar to marble and has a yellowish white color and slightly translucent, so that it see-through. This material has the potential to be used as a building material because of onyx' pores is relatively small so expected to have to water absorption smaller.

In this research, porosity testing of normal concrete with onyx stone as coarse aggregate substitution which will be compared the results with normal concrete using crushed stone. In this study conducted by making the specimen with water-cement ratio value (w/c) is different, namely 0.4; 0.5 and 0.6. The amount of water from each mixture made the same but the number of aggregate and cement are different on each water-cement ratio.

Porosity value of the specimen with variations water-cement ratio is 0.4; 0.5; and 0.6 give average porosity value as follows 14.872%, 15.878% and 13.846% for the specimens using waste onyx as coarse aggregate and 17.064%, 16.372% and 18.257% for the specimens using crushed stone aggregate.

**Keywords:** waste *onyx*, water-cement ratio, concrete's porosity with *onyx* stone as coarse aggregate



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Limbah merupakan sisa yang tidak digunakan pada proses pengolahan suatu industri. Salah satu industri penghasil limbah batuan *onyx* adalah industri pembuatan kerajinan atau hiasan dari batu *onyx* dan marmer, dimana batu *onyx* dan marmer dipakai sebagai bahan utama pada proses pembuatan kerajinan tersebut. Sisa - sisa dari kerajinan tersebut biasanya dibiarkan menumpuk pada saat proses pemotongan dan penghalusan kerajinan dan tanpa disadari sisa - sisa batu marmer dan *onyx* tersebut terkumpul dalam jumlah yang sangat banyak. Dengan bertambahnya sisa - sisa kerajinan tersebut maka perlu diadakan usaha - usaha untuk memanfaatkan limbah. Hingga saat ini limbah batu *onyx* tersebut hanya dimanfaatkan sebatas untuk bahan campuran dalam pembuatan plesteran untuk halaman dan yang digunakan hanya limbah yang berupa serbuk - serbuk hasil pemotongan dan penghalusan batuan, sedangkan untuk limbah yang berupa bongkahan belum banyak dimanfaatkan dalam perkembangan pada pembuatan beton.

Limbah material *onyx* yang berupa bongkahan hasil dari sisa pembuatan kerajinan dan merupakan limbah industri ini, belum menemukan penggunaan yang tepat, sedangkan produksi limbah ini terus bertambah tiap tahunnya. Harga jual dari material limbah ini relatif murah, oleh karena itu penelitian tentang penggunaan material ini seharusnya dapat terus dilakukan dan dikembangkan. Material ini memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan bangunan dengan mutu yang baik namun biaya produksinya bisa sedikit lebih murah.

Limbah batu *onyx* adalah salah satu material yang sekiranya cukup tepat apabila akan digunakan sebagai bahan pengganti pada beton dikarenakan memiliki pori - pori batuan yang tidak dapat dilihat secara kasat mata, sehingga diharapkan memiliki permeabilitas terhadap air yang lebih kecil atau lebih mendekati batu yang *impermeable* terhadap air.

Pada daerah Jawa Timur sendiri memiliki ketersediaan material *onyx* yang relatif banyak, tepatnya di kecamatan Campur Darat, kabupaten Tulungagung. Melihat potensi

dari peluang di atas dapat dilakukan penggunaan limbah batu *onyx* lebih lanjut dalam material penyusun beton.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggantian agregat kasar (*gravel*) dengan limbah batu *onyx*. Pengaruh dari substitusi limbah batu *onyx* akan dilihat dengan parameter porositas. Penelitian akan dilakukan dengan membuat benda uji yang mempunyai Faktor Air Semen (FAS) yang berbeda. Setelah beton mengalami proses pengerasan alami selama 28 hari kemudian dilakukan pengujian porositas sehingga dapat dianalisis apakah limbah batu *onyx* tersebut dapat digunakan sebagai pengganti agregat kasar.

### 1.2 Identifikasi Masalah

1. Meningkatnya penumpukan limbah industri kerajinan batu *onyx* yang tidak dimanfaatkan lebih lanjut.
2. Pemanfaatan sumber daya limbah batu *onyx* yang belum maksimal sebagai bahan pengganti kerikil dalam beton.

### 1.3 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah pengaruh variasi Faktor Air Semen (FAS) terhadap porositas beton.
2. Berapakah nilai porositas beton yang menggunakan limbah batu *onyx* sebagai substitusi agregat kasar jika dibandingkan dengan nilai porositas beton normal.
3. Apakah limbah batu *onyx* dapat digunakan sebagai bahan substitusi agregat kasar dalam pembuatan beton.

### 1.4 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian ini menyangkut beberapa aspek, yaitu:

1. Limbah batu *onyx* yang digunakan berasal dari Desa Gamping, Kecamatan Campur Darat, Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur dan berbentuk bongkahan.
2. Ukuran benda uji yang akan diuji tes porositas adalah  $10 \times 10 \times 10$  cm.
3. Jenis beton merupakan beton normal yang mengalami proses pengerasan alami dan metode *curing* yang normal.
4. Proses perubahan kimia beton tidak akan dibahas.

5. Tidak akan dilakukan analisa ekonomi akibat substitusi agregat kasar pada umumnya dengan agregat kasar dari limbah batu *onyx*.
6. Pengaruh kelembaban, suhu, dan lingkungan diabaikan.
7. Campuran beton dibuat dengan mengacu pada Faktor Air Semen yang berbeda, yaitu: 0.4; 0.5; dan 0.6.
8. Semen yang digunakan merupakan Semen PPC.
9. Pasir yang digunakan merupakan pasir hitam Lumajang.
10. Air yang digunakan merupakan air PDAM kota Malang.
11. Pengujian porositas dilakukan pada hari ke-28 setelah pembuatan benda uji.

### 1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan - tujuan yang diharapkan dalam kegiatan penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui pengaruh Faktor Air Semen terhadap porositas beton.
2. Dapat mengetahui perbandingan nilai porositas beton normal dengan beton yang menggunakan limbah batu *onyx* sebagai substitusi agregat kasar.
3. Dapat mengetahui apakah limbah batu *onyx* dapat digunakan sebagai bahan substitusi agregat kasar untuk beton.

### 1.6 Manfaat Penelitian

Diharapkan dari penelitian ini didapatkan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat diketahui bahwa limbah batu *onyx* dapat digunakan sebagai substitusi agregat kasar dalam pembuatan beton.
2. Pemakaian limbah batu *onyx* sebagai bahan penyusun beton dapat membantu mengurangi penumpukan limbah kerajinan yang ada saat ini.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Batu Alam

#### 2.1.1. Pengertian Umum

Batu alam merupakan suatu bahan bangunan yang diperoleh dari hasil penggalian batuan - batuan yang merupakan pembentuk lapisan kerak bumi (Suseno, 2010:62).

#### 2.1.2. Klasifikasi Batu Alam

Batu alam berdasarkan cara pembentukan dan komposisi mineralnya diklasifikasikan menjadi:

##### 1. Batuan Beku

Batuan beku merupakan batuan yang terbentuk dari proses pemadatan dan pembekuan magma. Jenis batuan ini mengalami pembekuan saat terjadinya erupsi gunung berapi, yaitu pada saat magma yang mengalami kontak dengan udara dan pembentukan lainnya terjadi saat magma mengalami proses pendinginan di dalam perut bumi (Suseno, 2010:63).

Batuan beku merupakan jenis batuan yang paling banyak digunakan sebagai bahan penyusun beton dikarenakan batuan jenis ini banyak sekali dan mudah ditemukan di sekitar lokasi gunung berapi.

##### 2. Batuan Sedimen

Batuan sedimen merupakan batuan yang terbentuk dari pecahan batu - batu yang mengalami pemadatan yang diakibatkan oleh cuaca, temperatur, angin, air, dan sebagainya di atas permukaan bumi (Mulyono, 2004:66).

Ada 3 macam pembentukan batuan sedimen, yang pertama batuan ini dibentuk dari batuan yang telah ada dan disebut batuan sedimen klastik. Selanjutnya adalah batuan sedimen kimiawi yang terbentuk dari proses penguapan air laut atau air danau. Dan yang terakhir adalah batuan sedimen organik yang terbentuk dari pengendapan bahan - bahan organik seperti sisa - sisa cangkang binatang laut dan sisa - sisa dari penguraian makhluk hidup lainnya (Suseno, 2010:64).

### 3. Batuan Malihan

Batuan malihan atau yang lebih dikenal sebagai batuan metamorf merupakan batuan yang terbentuk dari batuan yang telah ada yang mengalami perubahan pada suhu dan tekanan yang sangat tinggi sehingga batuan jenis ini mengalami perubahan bentuk, struktur, serta komposisi mineralnya. Hal inilah yang menyebabkan batuan jenis ini disebut sebagai batuan malihan atau batuan metamorf (Amri, 2005:6).

## 2.2. Batu Onyx

### 2.2.1. Pengertian umum

Batu *onyx* adalah kristal padat yang terbentuk dari metamorfosis batu kapur, umumnya mengandung kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomit [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ] atau kombinasi kedua mineral tersebut. Limbah *onyx* ini merupakan limbah dari kerajinan batu *onyx* yaitu limbah yang diukir dan dibentuk dengan tangan maupun mesin sehingga pecahannya ada yang berupa kerikil, ada juga yang berupa pasir (Aditya, 2012).

Batu *onyx* memiliki bentuk yang hampir mirip dengan batu marmer. Namun kedua batu ini bisa dibedakan secara fisik dari warnanya, jika warna batu marmer cenderung lebih keruh, maka batu *onyx* merupakan kebalikannya. Batu *onyx* memiliki warna putih kekuningan dan agak bening, sehingga tembus pandang. Selain itu, jika dilihat dari batuan asalnya, *onyx* terbentuk dari batuan kuarsa sedangkan batu marmer dari batuan gamping. Batu *onyx* terjadi pada rongga atau tekanan batu gamping yang terjadi pada temperatur panas maupun dingin.

### 2.2.2. Sifat Batu Onyx

Limbah *onyx* ini mempunyai ciri - ciri sebagai berikut (Candra, 2012) :

1. Berwarna putih kecoklatan.
2. Mempunyai permukaan yang tajam dan keras, sehingga memberikan ikatan yang kuat pada pasta semen.
3. Limbah *onyx* ini lebih bersih dari lempung dan lumpur, yang dapat menghalangi ikatan dengan pasta semen.
4. Pasir *onyx* mempunyai karakteristik yang sama dengan pasir sungai, tetapi dalam pasir *onyx* ini berwarna putih kecoklatan dan mempunyai butir - butir halus dengan ukuran butiran antara 0,5 mm dan 5 mm. Dimana butiran ini hampir mendekati karakteristik pasir yang berasal dari kikisan bebatuan yang berasal dari sungai.
5. Kerikil *onyx* mempunyai karakteristik bentuk yang tajam, keras, dengan ukuran  $\geq 5$  mm sampai dengan 30 mm.

6. Tidak mengandung bahan organis, sehingga proses pengerasan semen tidak terhambat, karena bahan organik dapat menghambat pengerasan semen.
7. Memiliki pori - pori batuan yang sangat kecil dan kasat mata, sehingga diperkirakan memiliki permeabilitas terhadap air yang sangat kecil.

### 2.2.3. Struktur Batu *Onyx*

Berikut adalah beberapa unsur kimia yang terkandung pada batu *onyx* berdasarkan hasil uji XRF yang dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang (UM):

**Tabel 2.1** Kandungan unsur kimia batu *onyx*

Jenis Unsur Kimia	Prosentase Kandungan
Kalsium	98.39 %
Besi	0.1 %
Kobal	0.11 %
Tembaga	0.045 %
Molibden	0.32 %
Samarium	0.32 %
Erbium	0.10 %
Iterbium	0.76 %
Jumlah	100 %

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa unsur kimia terbanyak yang terkandung pada batu *onyx* ini adalah Kalsium sebesar 98.39 %.

### 2.3. Beton

Beton merupakan kumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material betonnya (Nawy, 1985). Bahan penyusun beton yang paling utama terdiri dari agregat halus, agregat kasar, semen, dan air. Kualitas dari bahan penyusun beton sangat menentukan kualitas dbeton itu sendiri.

Beton dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan beratnya. Beton normal yang memiliki berat isi sekitar  $2400 \text{ kg/m}^3$  yang pada umumnya terbuat dari pasir dan kerikil dan merupakan jenis beton yang umum digunakan pada struktur. Beton ringan memiliki berat jenis kurang dari  $1900 \text{ kg/m}^3$  dan digunakan pada struktur yang dirancang memiliki kekuatan yang tinggi namun tetap ringan sehingga bahan penyusunnya menggunakan bahan dengan berat jenis yang lebih rendah. Beton *heavyweight* yang sering digunakan pada struktur yang harus menerima dan menahan radiasi secara langsung memiliki berat jenis lebih dari  $3200 \text{ kg/m}^3$  (Mehta & Monteiro, 1993:10).

## 2.4. Bahan penyusun beton

### 2.4.1 Semen

Semen (*cement*) adalah hasil industri dari perpaduan bahan baku batu kapur sebagai bahan utama dan lempung atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk (*bulk*). Batu kapur adalah bahan alam yang mengandung senyawa Kalsium Oksida (CaO), sedangkan lempung adalah bahan alam yang mengandung senyawa: Silika Oksida (SiO), Aluminium Oksida (AlO), Besi Oksida (FeO) dan Magnesium Oksida (MgO). Untuk menghasilkan semen, bahan baku tersebut dibakar sampai meleleh, sebagian untuk membentuk klinkernya yang kemudian dihancurkan dan ditambah dengan gips (*gypsum*) dalam jumlah yang sesuai (Mulyono, 2004:22).

Semen terdiri atas 2 macam yaitu :

1. Semen non-hidrolik, tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air akan tetapi dapat mengikat dan mengeras di udara.

Contoh : kapur

2. Semen hidrolik, mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air.

Contoh : semen *Portland*, semen Terak.

Fungsi semen adalah mengikat butir-butir agregat sehingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat.

#### 1. Semen portland pozzolan

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen tipe PPC (*Portland Pozzoland Cement*) yang memenuhi standar:

- *Indonesian Standard* : SNI 15-0302-2004
- *American Standard* : ASTM C 595-08

Semen Portland Pozzolan adalah semen hidrolis yang terdiri dari campuran homogen antara semen portland dan pozzolan halus, yang diproduksi dengan menggiling klinker semen Portland dan pozzolan bersama-sama atau mencampur secara rata bubuk semen Portland dan pozzolan atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozzolan 15 hingga 40% massa semen Portland Pozzolan. Semen Portland Pozzolan memenuhi persyaratan SNI 15-0302-2004 type IP-U.

Kegunaan dari PPC adalah ([www.semenpadang.co.id](http://www.semenpadang.co.id)):

- Bangunan bertingkat (2 - 3 lantai)
- Konstruksi beton umum

- Konstruksi beton massa seperti pondasi plat penuh dan bendungan/dam
- Konstruksi bangunan di daerah pantai, tanah berair (rawa)
- Bangunan di lingkungan garam sulfat yang agresif
- Konstruksi bangunan yang memerlukan kededapan tinggi seperti bangunan sanitasi, bangunan perairan, dan penampungan air.

#### 2.4.2 Agregat

Agregat memiliki peran yang penting dalam penyusunan beton karena agregat mengisi 60% hingga 80% volume beton. Sehingga karakteristik kimia, fisik dan mekanik agregat sangat berpengaruh terhadap sifat - sifat beton yang akan dihasilkan (Wibowo & Wahjuni, 2003:38).

Berdasarkan distribusi kumpulan ukuran butirnya, agregat dapat dibedakan menjadi agregat halus dan agregat kasar. Agregat berfungsi sebagai bahan pengisi dan walaupun fungsinya hanya sebagai bahan pengisi ini tidak berarti peranannya dalam menentukan kekuatan beton lebih kecil dari semen (Amri, 2005:10).

##### 1. Agregat Kasar (Kerikil)

Menurut SNI 03-2834-2000, agregat kasar adalah kerikil hasil desintegrasi alami batu alam atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri batu dan memiliki diameter antara 4,8 mm - 40 mm.

Menurut Standart Nasional Indonesia (SNI 03-2461-1991/2002), persyaratan batu alam atau agregat kasar yang baik sebagai bahan penyusun beton mutu sedang adalah sebagai berikut :

- Sifat kekal apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat ( $\text{SO}_4$ ) mendapatkan hasil sebagai berikut:
  - Apabila menggunakan Magnesium Sulfat ( $\text{MgSO}_4$ ) bagian yang hancur maksimal 18%.
  - Apabila menggunakan Natrium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) bagian yang hancur maksimal 12%.
- Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%.
- Penyerapan air maksimum 3%
- Tidak boleh mengandung zat - zat yang reaktif terhadap alkali. Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, reaksi pasir alkali harus negatif.

- Kekerasan yang diuji dengan bejana *Rudeloff* yang memiliki beban 20 ton mendapatkan hasil sebagai berikut:
  - Bagian yang hancur kurang dari 2 mm untuk fraksi 9,5 mm - 19 mm maksimum 24%
  - Bagian yang hancur kurang dari 2 mm untuk fraksi 19 mm - 30 mm maksimum 40%
- Keausan yang diuji dengan alat *Los Angeles* dengan 500 putaran dan bagian yang hancur kurang dari 1,7 mm maksimum 40%.
- Pasir tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan pengujian Metoda *Abrams - Harder* dengan larutan jenuh NaOH 3 % dan hasilnya dibandingkan dengan warna palet pembanding.
- Butiran agregat yang halus panjang dan pipih tidak boleh lebih dari 20%.
- Modulus halus butiran antara 6 - 7,1 dan dengan variasi butiran sesuai standar gradasi.
- Ukuran butiran maksimum tidak boleh melebihi:
  - 0,2 jarak terkecil antara bidang - bidang samping cetakan
  - 1/3 tebal pelat beton
  - 0,75 jarak bersih antar tulangan

## 2. Agregat Halus (Pasir)

Pasir (*sand*) adalah suatu bahan bangunan yang diperoleh dari hasil penggalian lapisan tanah pembentuk kerak bumi (*soil*) yang berbentuk butiran, bersifat lepas tidak tersementasi, bersifat tidak kohesif (tidak saling berikatan) dan merupakan hasil letusan gunung berapi atau pelapukan dari batuan yang telah ada akibat pengaruh cuaca. (Suseno, 2010:73).

Menurut Standart Nasional Indonesia (SNI 03-2461-1991/2002), persyaratan pasir atau agregat halus yang baik sebagai bahan penyusun beton mutu sedang adalah sebagai berikut:

- Agregat halus terdiri dari butiran yang tajam dan keras dengan indeks kekerasan  $\leq 2,2$
- Sifat kekal apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat ( $SO_4$ ) mendapatkan hasil sebagai berikut :

- Apabila menggunakan Magnesium Sulfat ( $MgSO_4$ ) bagian yang hancur maksimal 15%.
- Apabila menggunakan Natrium Sulfat ( $Na_2SO_4$ ) bagian yang hancur maksimal 10%.
- Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dan apabila pasir mengandung lumpur lebih dari 5% maka pasir harus dicuci agar bebas dari lumpur.
- Pasir tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan pengujian Metoda *Abrams - Harder* dengan larutan jenuh NaOH 3 % dan hasilnya dibandingkan dengan warna palet pembanding.
- Penyerapan air maksimum 2%
- Tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali. Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, reaksi pasir alkali harus negatif.
- Susunan besar butir agregat halus memiliki modulus kehalusan antara 1,5 - 3,8 dan harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu daerah butir memenuhi zona 1, 2, 3, atau 4 dan harus memenuhi syarat-syarat batas sebagai berikut :
  - Sisa di atas ayakan 4,8 mm harus maksimum 2 % dari berat
  - Sisa di atas ayakan 1,2 mm harus maksimum 10 % dari berat
  - Sisa di atas ayakan 0,3 mm harus maksimum 15 % dari berat

### 3. Gradasi agregat

Gradasi agregat adalah distribusi dari variasi ukuran butir agregat. Gradasi agregat berpengaruh pada besarnya rongga dalam campuran dan menentukan workabilitas (kemudahan dalam pekerjaan) serta stabilitas campuran. Gradasi agregat ditentukan dengan cara analisa saringan, dimana sampel agregat harus melalui satu set saringan. Ukuran saringan menyatakan ukuran bukaan jaringan kawat dan nomor saringan menyatakan banyaknya bukaan jaringan kawat per inchi pesegi dari saringan tersebut.

Agregat yang mempunyai ukuran seragam akan menghasilkan volume pori antar butiran menjadi besar. Sebaliknya agregat yg mempunyai ukuran bervariasi mempunyai volume pori yang lebih kecil, dimana butiran yang berukuran kecil akan mengisi pori di antara butiran - butiran besar sehingga pori - porinya sedikit berkurang (kemampuannya tinggi). Pada beton dibutuhkan agregat dengan kemampuan tinggi sehingga volume porinya kecil.

Gradasi agregat akan mempengaruhi sifat - sifat beton, baik beton segar maupun beton kaku, yaitu:

- Pada beton segar, gradasi agregat akan mempengaruhi kelecakan (*workability*), jumlah air pencampur, sifat kohesif, jumlah semen yang diperlukan, *segregasi* dan *bleeding*.
- Pada beton kaku (beton keras), akan mempengaruhi kekuatan beton dan keawetannya (durabilitas).
- Untuk mengetahui gradasi agregat dilakukan dengan cara menggunakan hasil analisis pemeriksaan dengan menggunakan satu set ayakan. Ayakan dengan ukuran bukaan paling besar diletakkan paling atas dan yang paling halus diletakkan paling bawah tepat di atas pan.

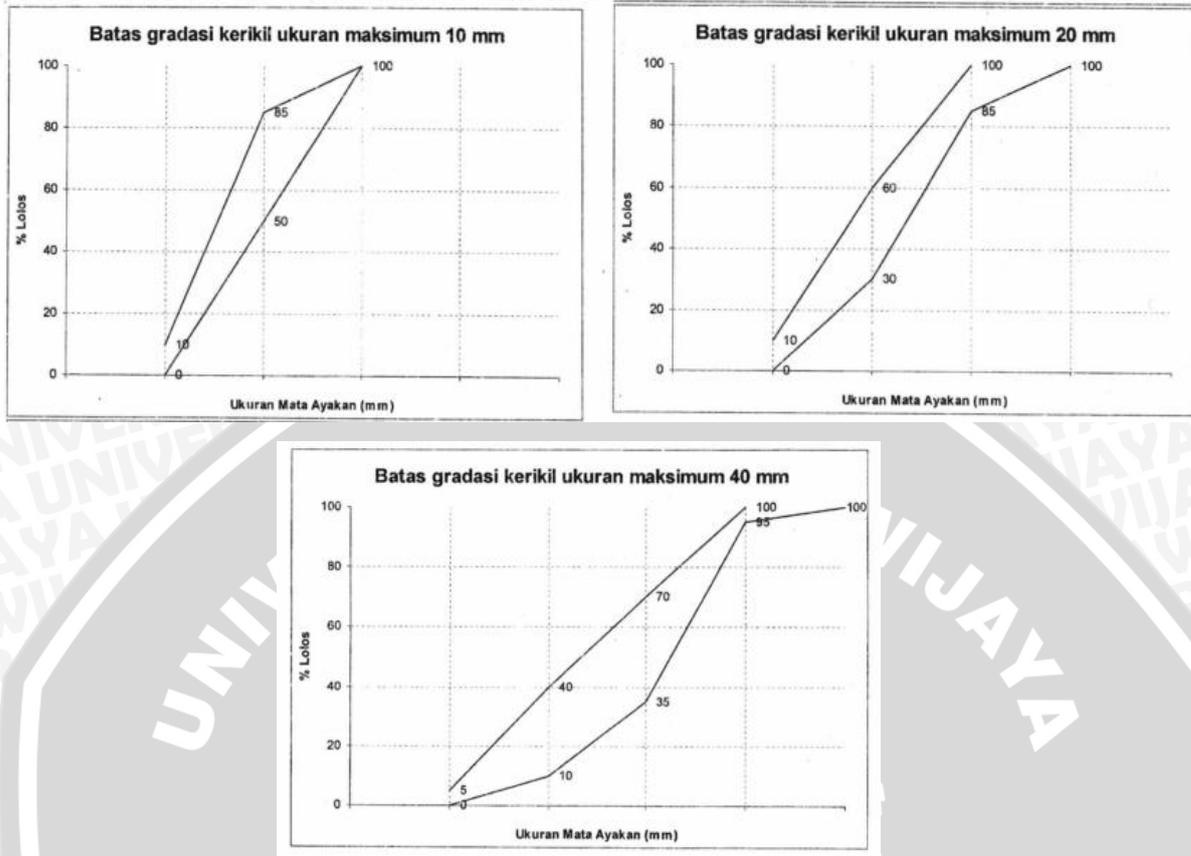
SNI-03-2834-2000 memberikan syarat - syarat untuk agregat kasar yang diadopsi dari *British Standard* di Inggris. Agregat kasar dikelompokkan dalam 3 zona seperti pada tabel 2.2 dan 2.3.

**Tabel 2.2** Syarat Gradasi Batu Alam berdasarkan SNI 03-3834-2000

Ukuran Ayakan		% Lolos Ayakan		
SNI	mm	Ukuran Maks. 10 mm	Ukuran Maks. 20 mm	Ukuran Maks. 40 mm
76,0	75,0			100 - 100
38,0	37,5		100 - 100	95 - 100
19,0	19,0	100 - 100	95 - 100	35 - 70
9,6	9,5	50 - 85	30 - 60	10 - 40
4,8	4,75	0 - 10	0 - 10	0 - 10

**Tabel 2.3** Syarat Gradasi Batu Alam berdasarkan ASTM C-33

Ukuran Ayakan		% Lolos Ayakan							
ASTM	mm	1,5" - 3,5"	1,5" - 2,5"	1" - 2"	0,75" - 1,5"	0,5" - 1"	0,375" - 0,75"	no. 4 - 0,5"	no. 8 - 0,375"
		Gradasi no. 1	Gradasi no. 2	Gradasi no. 3	Gradasi no. 4	Gradasi no. 5	Gradasi no. 6	Gradasi no. 7	Gradasi no. 8
4"	100	100 - 100							
3,5"	90	90 - 100							
3"	75		100 - 100						
2,5"	63	25 - 60	90 - 100	100 - 100					
2"	50		35 - 70	90 - 100	100 - 100				
1,5"	37,5	0 - 15	0 - 15	35 - 70	90 - 100	100 - 100			
1"	25			0 - 15	20 - 55	90 - 100	100 - 100		
0,75"	19	0 - 5	0 - 5		0 - 15	20 - 55	90 - 100	100 - 100	
0,5"	12,5			0 - 5		0 - 10	20 - 55	90 - 100	100 - 100
0,375"	9,6				0 - 5	0 - 5	0 - 15	40 - 70	85 - 100
no. 4	4,8						0 - 5	0 - 15	10 - 30
no. 8	2,4							0 - 5	0 - 10
no. 16	1,2								0 - 5



**Gambar 2.1** Batas gradasi agregat kasar

SK-SNI-03-6861.1-2002 memberikan syarat-syarat untuk agregat halus yang diadopsi dari *British Standard* di Inggris. Agregat halus dikelompokkan dalam 4 zona seperti pada tabel 2.4 dan 2.5

**Tabel 2.4** Syarat Gradasi Agregat Halus berdasarkan SNI 03-2834-2000 dan ASTM C-33

Ukuran Ayakan		% Lolos Ayakan			
SNI	mm	Pasir Kasar Gradasi 1	Pasir Sedang Gradasi 2	Pasir Agak Halus Gradasi 3	Pasir Halus Gradasi 4
9,6	9,5	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100
no. 4	4,75	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
no. 8	2,36	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
no. 16	1,18	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
no. 30	0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
no. 50	0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
no. 100	0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

**Tabel 2.5** Syarat Gradasi Agregat Halus untuk Beton

Ukuran Ayakan		% Lolos Ayakan				
ASTM	mm	Coarse Aggregate		Fine and Coarse Aggregate		Fine Aggregate
		0,5" - no. 4	0,375" - no. 8	0,5" - no. 100	0,375" - no. 100	no. 4 - no. 100
0,75"	19	100 - 100		100 - 100		
0,5"	12,5	90 - 100	100 - 100	95 - 100	100 - 100	
0,375"	9,5	40 - 80	80 - 100		90 - 100	100 - 100
no. 4	4,75	0 - 20	5 - 40	50 - 80	65 - 90	85 - 100
no. 8	2,36	0 - 10	0 - 20		35 - 65	
no. 16	1,18		0 - 10			40 - 80
no. 50	0,3			5 - 20	5 - 20	10 - 35
no. 100	0,15			2 - 15	2 - 15	5 - 25

**Gambar 2.2** Batas Gradasi Agregat Halus

### 2.4.3 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton dikarenakan berperan sebagai pemicu proses kimia semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pembuatan beton. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa - senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat - sifat beton yang dihasilkan.

Air mempunyai peranan penting dalam proses pencampuran beton, maka penambahan air harus disesuaikan dengan kebutuhan agar tercapai kemudahan pengerjaan serta tercapai mutu beton yang diinginkan.

Sesuai dengan SNI 03-6817-2002 mengenai air yang dapat digunakan dalam beton, maka air yang dapat digunakan dalam proses pencampuran beton adalah sebagai berikut:

- Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan - bahan yang merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan - bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan
- Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang di dalamnya tertanam logam alumunium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan
- Air yang tidak dapat diminum, tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi :
  - Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari campuran yang sama
  - Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang - kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum.

## 2.5. Metode Perawatan (*Curing*)

Perawatan beton dilakukan setelah beton mencapai *final setting*, artinya beton telah mengalami pengerasan secara alami. Perawatan ini dilakukan agar tersedia air dalam jumlah yang memadai untuk proses hidrasi penuh selama proses pengerasan. Jika terjadi penguapan yang menyebabkan kehilangan cadangan air yang tertahan akan berakibat pada terhentinya proses hidrasi, dan apabila hal ini terjadi beton akan mengalami keretakan sebagai akibat dari tegangan tarik yang terjadi karena kehilangan air (penyusutan kering) yang terlalu awal dan cepat. Perawatan dilakukan untuk menjaga beton dalam kondisi basah selama beberapa hari hingga beberapa minggu (Murdock & Brook, 1991:226).

## 2.6. FAS (Faktor Air Semen)

Faktor air semen (FAS) adalah perbandingan berat antara air dan semen di dalam campuran adukan beton. Dalam praktek pembuatan beton nilai FAS berkisar antara 0,4 sampai dengan 0,65. Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai FAS, maka akan semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun, nilai FAS yang rendah tidak akan selalu menghasilkan beton bermutu tinggi. Hal ini, diakibatkan oleh semakin sulitnya pelaksanaan pemadatan beton sehingga penurunan mutu beton akan terjadi akibat

pelaksanaan yang kemungkinan tidak sesuai dengan standar yang ada (Mulyono, 2004:140).

Nilai porositas akan bertambah sebanding dengan nilai FAS yang bertambah. Hal ini terkait pula dengan kekuatan beton. Semakin tinggi nilai kekuatan beton, maka akan semakin rendah nilai porositas beton tersebut.

Namun, porositas pada pasta semen maupun mortar yang terkandung di dalam beton merupakan hal yang tidak mudah untuk dipastikan. Adanya retak - retak rambut pada zona transisi di antara agregat kasar dan pasta semen menjadikan beton sebagai material yang kompleks dalam menentukan kekuatan beton hanya berdasarkan pada hubungan beton dan porositas. Namun, validitas dari hubungan tersebut harus dipertimbangkan karena porositas merupakan komponen dari beton (Mehta & Monteiro, 1993:45).

**Tabel 2.6** Proporsi Agregat dengan Semen

Jenis Agregat	Ukuran Maksimum Agregat (mm)	FAS	Aggregate/Cement (A/C)
Dipecah	40	0.40	3.2
		0.50	4.7
		0.60	6.1
Dipecah	20	0.40	2.9
		0.50	3.9
		0.60	4.9

(Mulyono, 2004)

## 2.7 Porositas

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

Beton mempunyai kecenderungan memiliki rongga udara yang terbentuk selama atau sesudah pencetakan. Rongga - rongga udara ini terbentuk akibat adanya air yang

menggunakan ruangan dan kemudian mengalami. Selain air yang mengawali pemakaian ruangan dan nantinya akan membentuk rongga kosong, terjadi juga rongga - rongga udara yang terbentuk secara langsung tanpa bantuan air pada prosentase yang kecil. Terjadinya pengurangan volume (susut) dari semen dan air setelah mencapai *setting time* sehingga pasta semen akan menempati volume yang lebih kecil dibandingkan dengan pasta yang masih basah (Murdock & Brook, 1991:17).

Selain itu porositas beton timbul karena pori atau rongga yang ada di dalam butiran agregat yang terbentuk oleh adanya udara yang terjebak dalam butiran ketika pembentukan atau dekomposisi mineral. Agregat yang menempati kurang lebih 70-75% dari volume beton akan sangat berpengaruh terhadap porositas beton akibat porositas yang dimiliki oleh agregat sendiri. Gradasi atau ukuran butiran yang dimiliki oleh agregat juga berpengaruh terhadap nilai porositas beton karena dengan ukuran yang seragam maka porositas akan semakin besar sedangkan dengan ukuran yang tidak seragam porositas beton justru berkurang. Hal ini dikarenakan butiran yang kecil dapat menempati ruangan/pori diantara butiran yang lebih besar sehingga porositas beton menjadi kecil. Nilai porositas dinyatakan dengan persamaan (2-1).

$$\text{Porositas} = \frac{B-C}{B-A} \times 100\% \quad (2-1)$$

Dengan :

A	= Berat sampel dalam air ( $W_{water}$ ) dalam gram
B	= Berat sampel kondisi SSD ( $W_{saturation}$ ) dalam gram
C	= Berat sampel kering ( $W_{dry}$ ) dalam gram

(ASTM C 642 – 06)

## 2.8 Penelitian Terdahulu

- Eko Hindaryanto Nugroho (2010). Analisis Porositas Dan Permeabilitas Beton Dengan Bahan Tambah Fly Ash Untuk Perekerasan Kaku (*Rigid Pavement*). Dari hasil penelitian didapat bahwa penambahan *fly ash* berpengaruh terhadap penurunan nilai porositas dan koefisien permeabilitas. Komposisi campuran beton dengan abu terbang *fly ash* yang optimum untuk perkerasan kaku (*rigid pavement*) diperoleh pada kadar penggantian semen dengan *fly ash* sebesar 16,89% yang menghasilkan koefisien permeabilitas beton yang minimum sebesar  $1,11454 \cdot 10^{-8}$  m/dt.
- Winny Firmaninda (2013). Pengaruh Variasi Penambahan Piropilit Terhadap Porositas dan Modulus Elastisitas Bata Beton Ringan. Dari hasil penelitian didapat bahwa penambahan piropilit dengan variasi 0%, 10%, 15%, 20% dan 25%

berpengaruh terhadap nilai porositas dan modulus elastisitas bata beton ringan. Porositas paling rendah pada kadar 25% dan porositas optimum pada kadar 10,301%.

## 2.9. Hipotesis

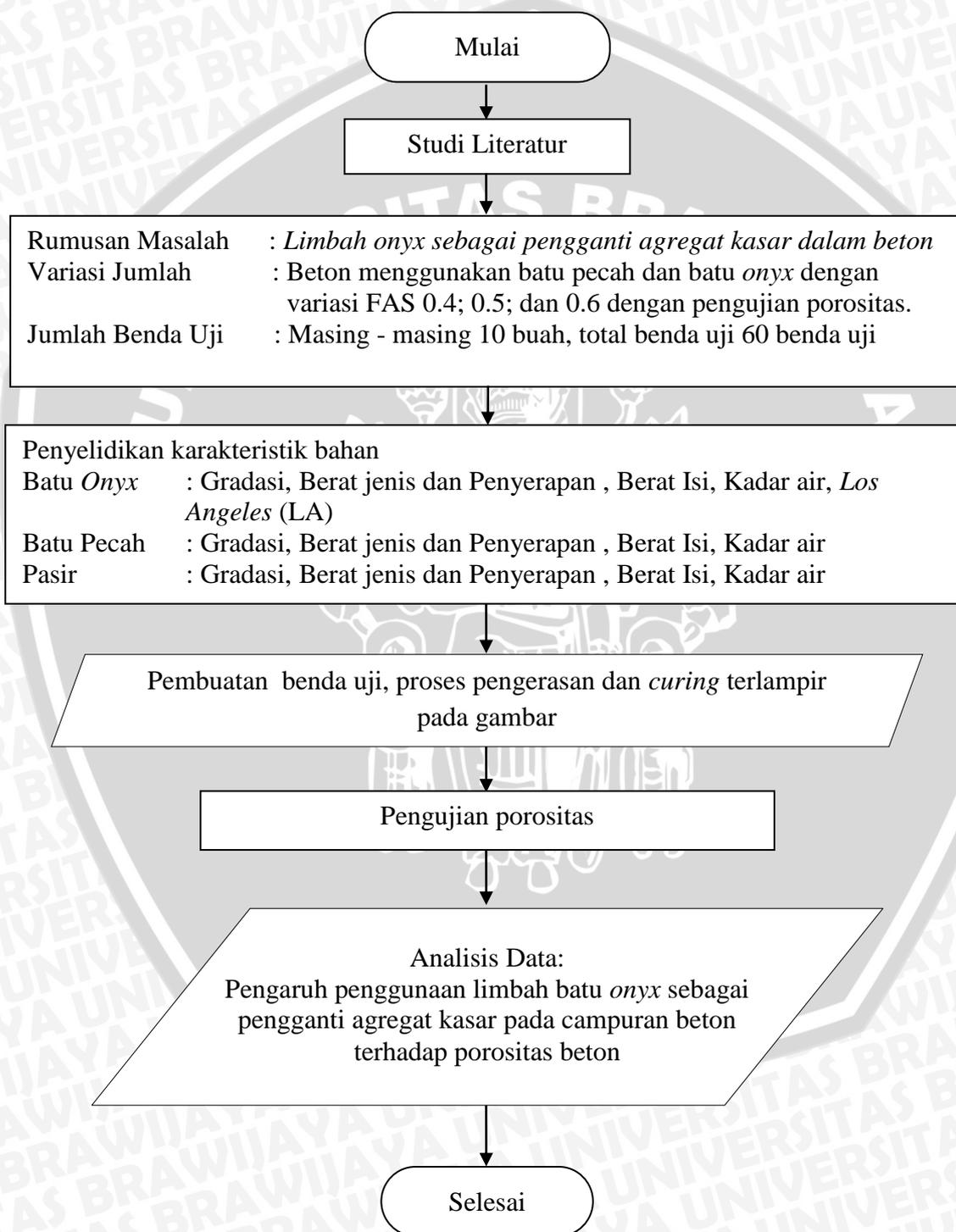
Beberapa hipotesis yang akan dibuktikan dalam penelitian ini adalah :

1. Variasi Faktor Air Semen (FAS) akan memberikan pengaruh pada nilai porositas beton.
2. Beton dengan pengganti agregat kasar berupa batu *onyx* memiliki prosentase porositas lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai porositas beton normal pada umumnya.
3. Apakah limbah batu *onyx* dapat digunakan sebagai pengganti agregat kasar penyusun beton.



### BAB III METODE PENELITIAN

#### 3.1. Prosedur Penelitian



Gambar 3.1 Prosedur penelitian



### 3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian

Waktu : Juni 2015 hingga Oktober 2015

Tempat : Penyelidikan karakteristik bahan limbah batu *onyx*, batu pecah dan pasir dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Malang dan di Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Pembuatan benda uji dan pengujian porositas dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

### 3.3. Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini yang merupakan variabel terukur adalah :

a. Variabel bebas :

- Perbedaan FAS pada campuran beton, yaitu: 0.4; 0.5; 0.6

b. Variabel terikat :

- Pengujian porositas pada umur 28 hari

### 3.4. Identifikasi Benda Uji

Dalam penelitian ini akan dilakukan penggantian agregat kasar dengan limbah batu *onyx* pada campuran beton dengan FAS yang berbeda, yaitu: 0.4; 0.5; dan 0.6.

Ukuran benda uji adalah 10×10×10 cm untuk pengujian porositas. Jumlah benda uji untuk tiap variasi adalah 10 buah, dengan 3 variasi FAS dan 1 variasi hari yang akan dibandingkan dengan beton normal tanpa penggantian agregat kasar (menggunakan batu pecah) dengan jumlah benda uji untuk tiap variasi adalah 10 buah, dengan 3 variasi FAS dan 1 variasi hari. Sehingga total dari benda uji adalah 60 buah.

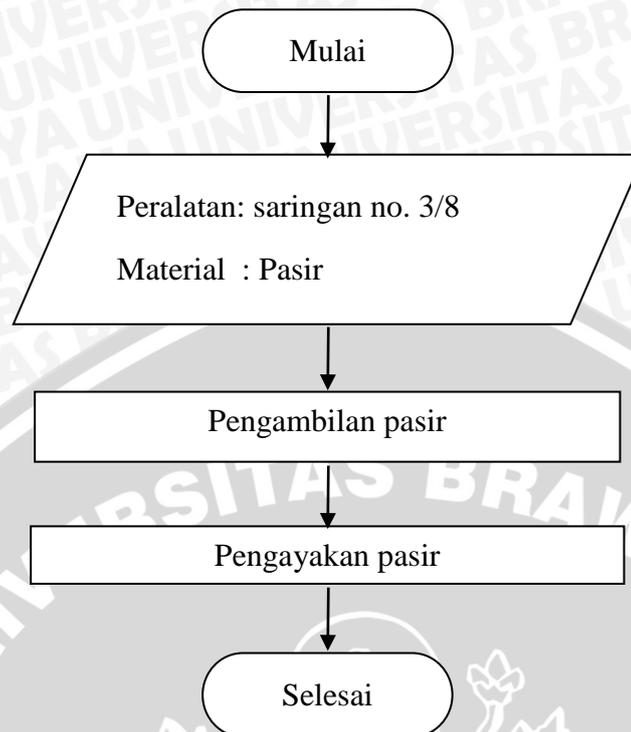
**Tabel 3.1** Jumlah Benda Uji

Pengujian Porositas (hari)	Agregat kasar yang digunakan	Jumlah Benda Uji untuk tiap Perubahan FAS pada beton normal		
		0.4	0.5	0.6
28	Batu pecah	10	10	10
28	Batu <i>Onyx</i>	10	10	10

### 3.5. Analisa Bahan yang Digunakan

1. Semen : Jenis semen yang digunakan adalah semen PPC
2. Pasir : Pasir yang digunakan adalah pasir hitam Lumajang

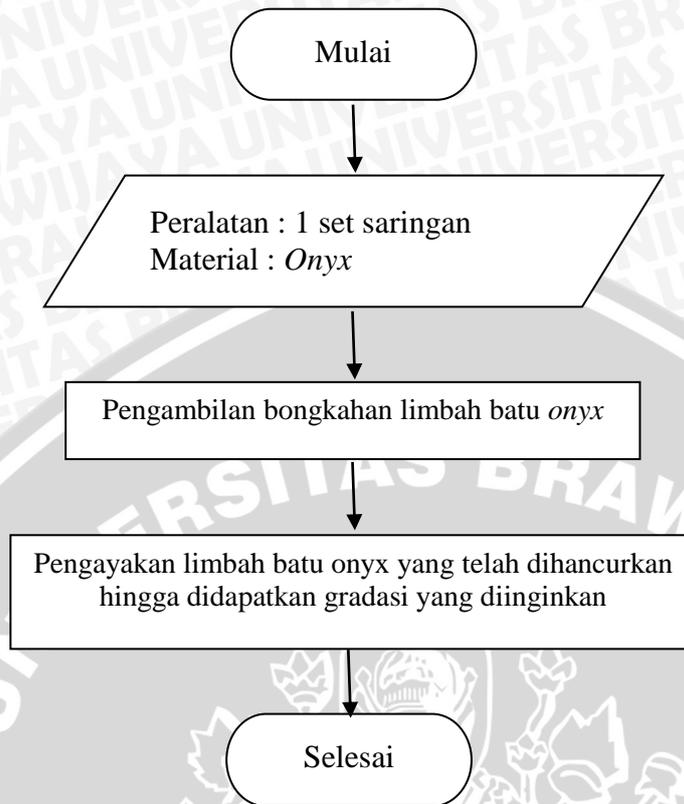
Diagram alir proses persiapan material pasir sebagai berikut :



**Gambar 3.2** Diagram persiapan material pasir

3. Air : Air yang digunakan merupakan air suling biasa yang memiliki PH normal, tidak terlalu asam dan tidak terlalu basa. Suhu air yang digunakan adalah suhu air normal yang digunakan oleh PDAM Malang.
4. *Onyx* : *Onyx* yang digunakan merupakan limbah batu *onyx* yang berasal dari Desa Gamping, Kecamatan Campur Darat, Kabupaten Tulungagung. Batuan *Onyx* ini akan digunakan sebagai bahan pengganti agregat kasar. *Onyx* yang didapatkan berbentuk bongkahan sehingga perlu dilakukan pemecahan terlebih dahulu agar mendapatkan gradasi agregat kasar yang diinginkan.

Diagram alir proses persiapan material *onyx* sebagai berikut :



**Gambar 3.3** Diagram persiapan material *onyx*

### 3.6. Pengujian Bahan Dasar

Pengujian bahan dasar yang akan digunakan telah disesuaikan dengan SNI 03-2847-2002 dan pengujian bahan dasar meliputi pengujian limbah batu *onyx* dan pasir.

#### 3.6.1 Pengujian Agregat Kasar

Pengujian karakteristik material dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang. Unsur - unsur pengujian meliputi: pengujian gradasi, kadar air, berat jenis dan penyerapan, berat isi, dan pengujian *Los Angeles* (khusus untuk material limbah batu *onyx*).

##### a. Pengujian Gradasi Agregat

Alat - alat yang digunakan adalah:

- Timbangan dengan ketelitian 2% dari berat contoh.
- Satu set saringan: 38,1 mm (1,5"); 25,4 mm (1"); 19,1 mm (3/4"); 12,7 mm (1/2"); 9,52 mm (3/8"); 4,75 mm (No. 4); Pan.
- Talam besi untuk wadah bahan.

Pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

- Bahan ditimbang seberat  $\pm 10$  kg.
- Bahan dioven dengan suhu  $110^{\circ}\text{C}$  hingga berat tetap.
- Benda uji disaring dengan satu set timbangan.

b. Pengujian kadar air

Alat - alat yang digunakan adalah:

- Talam besi untuk wadah bahan.
- Timbangan kapasitas  $\geq 1$  kg dengan ketelitian 0,1 % berat contoh.
- Oven pengatur suhu kapasitas  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ .

Pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

- Berat talam ditimbang lalu dicatat ( $W_1$ ).
- Berat talam yang berisi benda uji ditimbang lalu dicatat ( $W_2$ ).
- Berat benda uji ( $W_3$ ) =  $W_2 - W_1$ . (3-1)

- Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ .
- Berat kering talam yang berisi benda uji ditimbang lalu dicatat ( $W_4$ ).
- Berat benda uji kering ( $W_5$ ) =  $W_4 - W_1$ . (3-2)

- Kadar air agregat = (3-3)  
$$\frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100 \%$$

c. Pengujian berat jenis dan penyerapan

Alat - alat yang digunakan adalah:

- Keranjang kawat ukuran 3,35 mm atau 2,36 mm dengan kapasitas  $\pm 3$  kg.
- Timbangan dengan kapasitas  $\pm 3$  kg dan ketelitian 0,1% dari berat contoh yang ditimbang dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
- Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pengujian. Tempat ini harus dilengkapi dengan pipa sehingga permukaan air selalu tetap.
- Saringan no. 4 (4,75 mm).
- Oven pengatur suhu kapasitas  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ .

Pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

- Benda uji dicuci untuk menghilangkan lempung.
- Benda uji dikeringkan dalam oven  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  sampai berat tetap.

- Benda uji didinginkan pada suhu ruang selama (1 - 3) jam, lalu ditimbang dengan ketelitian 0,5 gr sehingga akan didapatkan nilai  $B_k$ .
- Benda uji direndam pada suhu kamar selama  $(24 \pm 4)$  jam.
- Benda uji dikeluarkan dari air dan dilap permukaannya dengan kain.
- Benda uji jenuh kering permukaan ditimbang lalu dicatat sehingga akan didapatkan nilai  $B_{ssd}$ .
- Benda uji dimasukkan ke dalam keranjang, lalu digoncangkan untuk mengeluarkan udara dan ditunggu hingga beratnya stabil di dalam air sehingga akan didapatkan nilai  $B_t$ .
- Nilai Berat Jenis dan Penyerapan agregat kasar dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)} \quad (3-4)$$

$$= B_k / (B_{ssd} - B_t)$$

$$\text{Berat Jenis SSD (Bulk Specific Gravity SSD)} \quad (3-5)$$

$$= B_{ssd} / (B_{ssd} - B_t)$$

$$\text{Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)} \quad (3-6)$$

$$= B_k / (B_k - B_t)$$

$$\text{Penyerapan (Absorption)} \quad (3-7)$$

$$= [(B_{ssd} - B_k) / B_k] \times 100\%$$

d. Pengujian berat isi

Alat - alat yang digunakan adalah:

- Timbangan kapasitas  $\geq 1$  kg dengan ketelitian 0,1 % berat contoh.
- Kotak Takar
- Tongkat penusuk baja dengan panjang  $\pm 600$  mm dan diameter  $\pm 16$  mm.

Pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

- Kotak takar yang kosong ditimbang lalu dicatat ( $B_1$ ).
- Kotak takar yang berisi air penuh ditimbang lalu dicatat ( $B_2$ ).
- Kotak takar diisi dengan benda uji dalam 3 lapisan yang sama tebal dan tiap lapisan ditusuk - tusuk sebanyak 25 kali. Prosedur ini disebut dengan *Rodding*.
- Permukaan kotak takar dan benda uji diratakan menggunakan mistar.
- Kotak takar yang sudah diratakan permukaannya ditimbang lalu dicatat ( $B_5$ ).

- Kotak takar dikosongkan dan diisi dengan benda uji yang dimasukkan secara langsung dengan tinggi tidak lebih dari 2 *inch* di atas permukaan kotak takar. Prosedur ini disebut dengan *Shovelling*.
- Permukaan kotak takar dan benda uji diratakan menggunakan mistar.
- Kotak takar yang sudah diratakan permukaannya ditimbang lalu dicatat ( $B_5$ ).

Perhitungan berat isi:

$$\text{Berat air } (B_3) = B_2 - B_1 \quad (3-8)$$

$$\text{Volume air } (B_4) = B_3 / B_1 \quad (3-9)$$

$$\text{Berat benda uji } (B_6) = B_5 - B_1 \quad (3-10)$$

$$\text{Berat isi agregat } (B_7) = B_6 / B_4 \quad (3-11)$$

### 3.6.2 Pengujian Agregat Halus

Pengujian karakteristik material pasir Lumajang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang. Unsur - unsur pengujian meliputi: pengujian gradasi, kadar air, berat jenis dan penyerapan, dan berat isi.

#### a. Pengujian Gradasi Agregat

Alat - alat yang digunakan adalah:

- Timbangan dengan ketelitian 2% dari berat contoh.
- Satu set saringan: 4,75 mm (No. 4); 2,36 mm (No. 8); 1,18 mm (No. 16); 0,6 mm (No. 30); 0,3 mm (No. 50); 0,15 mm (No. 100); 0,075 mm (No. 200); Pan.
- Talam besi untuk wadah bahan.
- Kuas.

Pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

- Bahan ditimbang seberat  $\pm 1$  kg.
- Bahan dioven dengan suhu  $110^\circ\text{C}$  hingga berat tetap.
- Benda uji disaring dengan satu set timbangan.

#### b. Pengujian kadar air

Alat - alat yang digunakan adalah:

- Talam besi untuk wadah bahan.
- Timbangan dengan ketelitian 0,1 % berat contoh.
- Oven pengatur suhu kapasitas  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$

Pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

- Timbang dan catat berat talam ( $W_1$ ).
- Timbang dan catat berat talam yang berisi benda uji ( $W_2$ ).
- Hitung berat benda uji ( $W_3$ ).
- Keringkan benda uji di oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ .
- Timbang dan catat berat kering talam yang berisi benda uji ( $W_4$ ).
- Hitung berat benda uji kering ( $W_5$ ).
- Hitung kadar air agregat.

c. Pengujian berat jenis dan penyerapan

Alat - alat yang digunakan adalah:

- Piknometer dengan kapasitas 500 ml.
- Timbangan dengan kapasitas  $\pm 3$  kg dan ketelitian 0,1 % dari berat contoh yang ditimbang.
- Kerucut terpancung dengan diameter atas  $(40 \pm 3)$  mm, diameter bawah  $(90 \pm 3)$  mm dan tinggi  $(75 \pm 3)$  mm yang terbuat dari logam dengan tebal  $\geq 0,8$  mm.
- Batang penumbuk dengan berat  $(340 \pm 15)$  gr dan diameter  $(25 \pm 3)$  mm yang diletakkan pada bidang penumbuk yang rata.
- Saringan no. 4 (4,75 mm)
- Oven pengatur suhu kapasitas  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$

Pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

- Keringkan benda uji dalam oven  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  sampai berat tetap. Dinginkan benda uji ada suhu ruang.
- Rendam benda uji pada suhu kamar selama  $(24 \pm 4)$  jam.
- Buang air perendam, lalu tebarkan agregat di atas talam, keringkan di udara panas dengan cara membalik - balikan benda uji. Lakukan pengeringan benda uji sampai tercapai keadaan kering permukaan jenuh (SSD).
- Periksa kondisi SSD dengan mengisikan benda uji ke dalam kerucut terpancung lalu dipadatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali. Angkat kerucut, jika benda uji runtuh namun masih tercetak sesuai bentuk kerucut maka kondisi SSD telah tercapai.
- Setelah kondisi SSD telah tercapai, benda uji dimasukkan ke dalam piknometer sebanyak 500 gr, lalu diisi dengan air suling hingga mencapai tanda batas.

- Piknometer diguncangkan hingga tidak terlihat lagi gelembung udara di antara benda uji.
- Piknometer diisi air hingga mencapai tanda batas, lalu timbang piknometer dengan ketelitian 0,1 gr sehingga didapatkan nilai  $B_t$ .
- Benda uji dikeluarkan lalu dikeringkan dalam oven dalam suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  hingga berat tetap.
- Benda uji didinginkan lalu ditimbang sehingga didapatkan nilai  $B_k$ .
- Piknometer diisi air hingga mencapai tanda batas lalu ditimbang dan didapatkan nilai  $B$ .
- Nilai Berat Jenis dan Penyerapan dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)} \quad (3-12)$$

$$= B_k / (B + 500 - B_t)$$

$$\text{Berat Jenis SSD (Bulk Specific Gravity SSD)} \quad (3-13)$$

$$= B_{\text{ssd}} / (B + 500 - B_t)$$

$$\text{Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)} \quad (3-14)$$

$$= B_k / (B + B_k - B_t)$$

$$\text{Penyerapan (Absorption)} \quad (3-15)$$

$$= [(500 - B_k) / B_k] \times 100\%$$

d. Pengujian berat isi

Alat - alat yang digunakan adalah:

- Timbangan kapasitas  $\geq 1$  kg dengan ketelitian 0,1 % berat contoh.
- Kotak Takar
- Tongkat penusuk baja dengan panjang  $\pm 600$  mm dan diameter  $\pm 10$  mm.

Pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

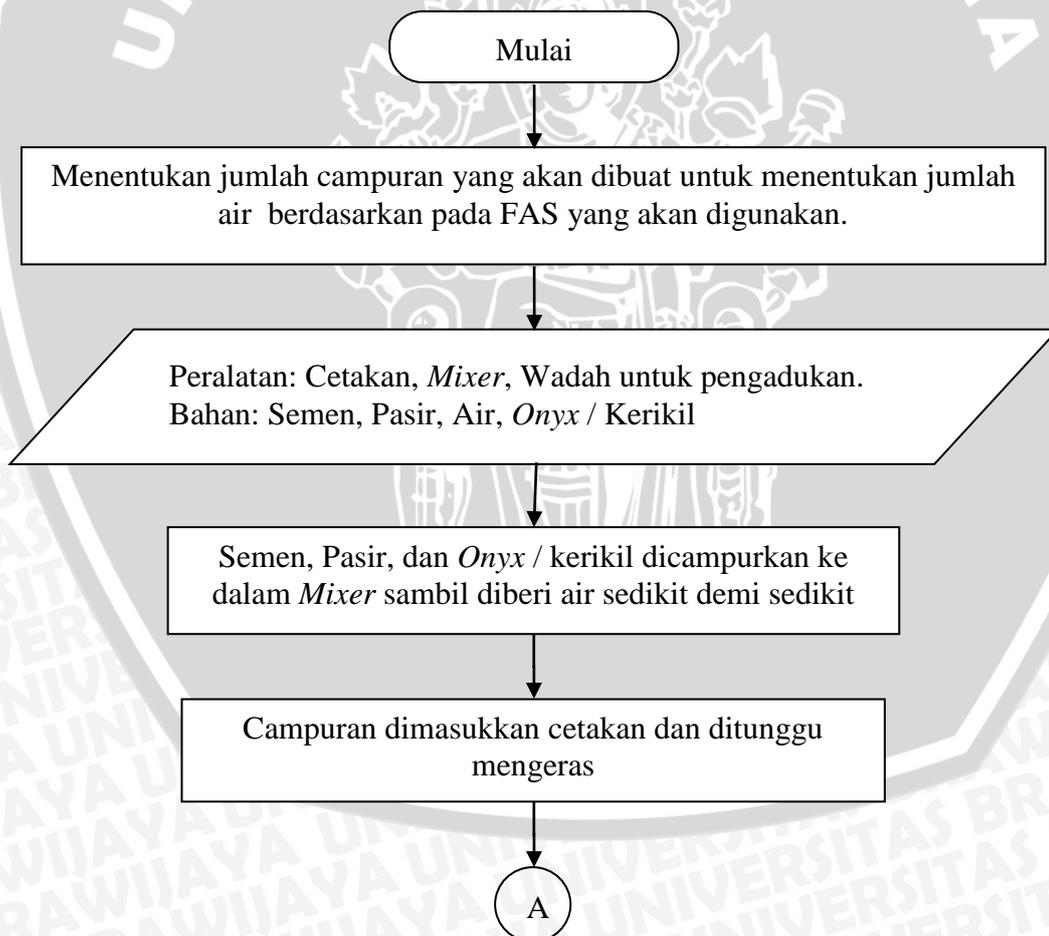
- Kotak takar yang kosong ditimbang lalu dicatat ( $B_1$ ).
- Kotak takar yang berisi air penuh ditimbang lalu dicatat ( $B_2$ ).
- Kotak takar diisi dengan benda uji dalam 3 lapisan yang sama tebal dan tiap lapisan ditusuk - tusuk sebanyak 25 kali. Prosedur ini disebut dengan *Rodding*.
- Permukaan kotak takar dan benda uji diratakan menggunakan mistar.
- Kotak takar yang sudah diratakan permukaannya ditimbang lalu dicatat ( $B_5$ ).

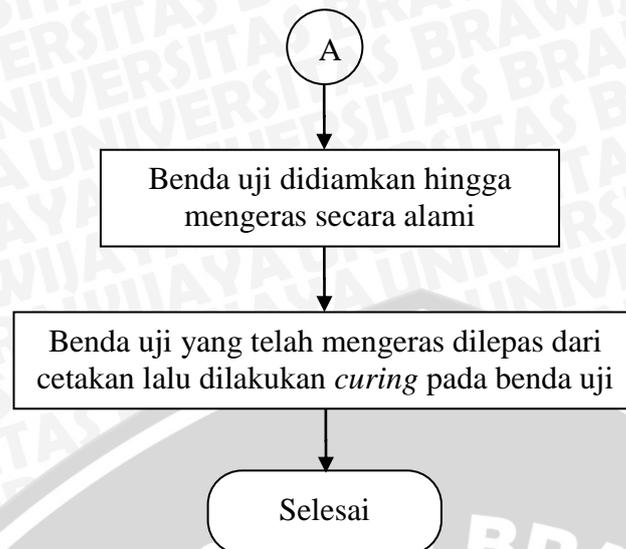
- Kotak takar dikosongkan dan diisi dengan benda uji yang dimasukkan secara langsung dengan tinggi tidak lebih dari 2 *inch* di atas permukaan kotak takar. Prosedur ini disebut dengan *Shovelling*.
- Permukaan kotak takar dan benda uji diratakan menggunakan mistar.
- Kotak takar yang sudah diratakan permukaannya ditimbang lalu dicatat ( $B_5$ ).
- Dilakukan perhitungan berat isi.

### 3.7. Pembuatan Benda Uji dan *Curing*

Pembuatan benda uji untuk penelitian ini merupakan proses pencampuran bahan - bahan tersebut menjadi suatu adonan bahan pembuat beton normal. Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.

Diagram alir pembuatan benda uji





**Gambar 3.4** Diagram pembuatan benda uji

### 3.8. Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan pada sampel berbentuk kubus dengan ukuran  $10 \times 10 \times 10$  cm. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui besarnya prosentase pori - pori beton terhadap volume beton padat. Adapun langkah - langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Melepas benda uji dari cetakan setelah berumur 1 hari kemudian dirawat di bak *curing*.
2. Sampel yang telah mencapai umur 28 hari diangkat dari bak *curing* dan diangin - anginkan.
3. Menyiapkan benda uji lalu dimasukkan ke dalam oven dengan suhu  $100^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam.
4. Benda uji dikeluarkan dari oven dan diangin - anginkan pada suhu kamar ( $25^{\circ}\text{C}$ ) kemudian ditimbang dan didapatkan berat beton kondisi kering oven (C).
5. Penimbangan dilakukan berulang - ulang hingga berat kondisi kering oven  $\leq 5\%$  berat benda uji paling minimum pada penimbangan sebelumnya.
6. Benda uji diletakan pada bak *curing* selama 24 jam.
7. Setelah perendaman selama 24 jam kemudian ditimbang dalam air dan didapatkan berat beton dalam air (A).
8. Benda uji dikeluarkan dari dalam air dan dilap permukaannya untuk mendapatkan kondisi SSD kemudian sampel ditimbang dan didapatkan berat beton kondisi SSD setelah perendaman (B).

9. Penimbangan dilakukan berulang - ulang hingga berat kondisi SSD  $\geq 5\%$  berat benda uji paling maksimum pada penimbangan sebelumnya.

Untuk mengetahui nilai porositas beton kita dapat menghitungnya dengan perbandingan antara berat air dan udara yang berada dalam sampel yang sudah jenuh air dengan berat sampel yang sudah kering. Secara matematis dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\text{Porositas} = \frac{B-C}{B-A} \times 100\% \quad (3-16)$$

dengan :

A = Berat sampel dalam air ( $W_{water}$ ) dalam gram

B = Berat sampel kondisi SSD ( $W_{saturation}$ ) dalam gram

C = Berat sampel kering ( $W_{dry}$ ) dalam gram

### 3.9. Metode Analisis

Setelah data - data tersebut diperoleh, maka dilanjutkan dengan analisa secara statistik yang bertujuan mengetahui bagaimana pengaruh penggantian agregat kasar menjadi batu *onyx* dengan variasi FAS yang berbeda pada porositas beton. Adapun proses analisisnya sebagai berikut:

#### 3.9.1 Uji ANOVA

Anova disebut juga dengan analisis ragam. Anova dapat juga dipahami sebagai perluasan dari uji - t karena dapat juga untuk menguji perbedaan tiga buah rata - rata populasi atau lebih sekaligus.

Uji ANOVA yang dipergunakan untuk menguji hipotesis nol lazim juga disebut dengan uji F. Harga F diperoleh dari rata - rata jumlah kuadrat antara kelompok yang dibagi dengan rata - rata jumlah kuadrat dalam kelompok.

Rumusan uji Anova secara statistik adalah sebagai berikut:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_n$$

Hipotesis statistik yang diuji adalah :

$H_0$ : Hipotesis nol yang menyatakan bahwa tidak terdapat pengaruh variasi FAS terhadap parameter porositas beton.

$H_1$ : Hipotesis alternatif, yang menyatakan bahwa terdapat pengaruh variasi FAS terhadap parameter porositas beton.

Indikator diterima atau tidaknya hipotesis yakni apabila  $F_{hitung} \geq F_{tabel}$ , maka  $H_0$  ditolak, begitu pula sebaliknya apabila  $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ , maka  $H_0$  diterima.

### 3.9.2 Uji-T

Uji-t digunakan untuk menilai apakah rata - rata dan keseragaman dari dua kelompok data berbeda secara statistik satu sama lain. Analisis ini cocok digunakan sebagai analisis dua kelompok rancangan percobaan acak.

Uji dua arah. pada hipotesis awal tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara rata - rata 1 dan rata - rata 2. Sedangkan pada hipotesis alternatif sebaliknya yaitu terdapat perbedaan rata - rata 1 dan rata - rata 2.

Rumusan uji T secara statistik adalah sebagai berikut:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

Hipotesis statistik yang diuji adalah :

$H_0$  : Hipotesis nol yang mengatakan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara beton yang menggunakan limbah batu onyx dengan beton yang menggunakan batu pecah terhadap porositas beton.

$H_1$  : Hipotesis alternatif yang mengatakan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara beton yang menggunakan limbah batu onyx dengan beton yang menggunakan batu pecah terhadap porositas beton.

Indikator diterima atau tidaknya hipotesis yakni apabila  $F_{hitung} \geq F_{tabel}$ , maka  $H_0$  ditolak, begitu pula sebaliknya apabila  $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ , maka  $H_0$  diterima.

## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Analisa Bahan Yang Digunakan

#### 4.1.1. Air

Air yang digunakan berasal dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM), Kota Malang. Tidak dilakukan pengujian khusus, dikarenakan air PDAM dianggap telah memenuhi syarat.

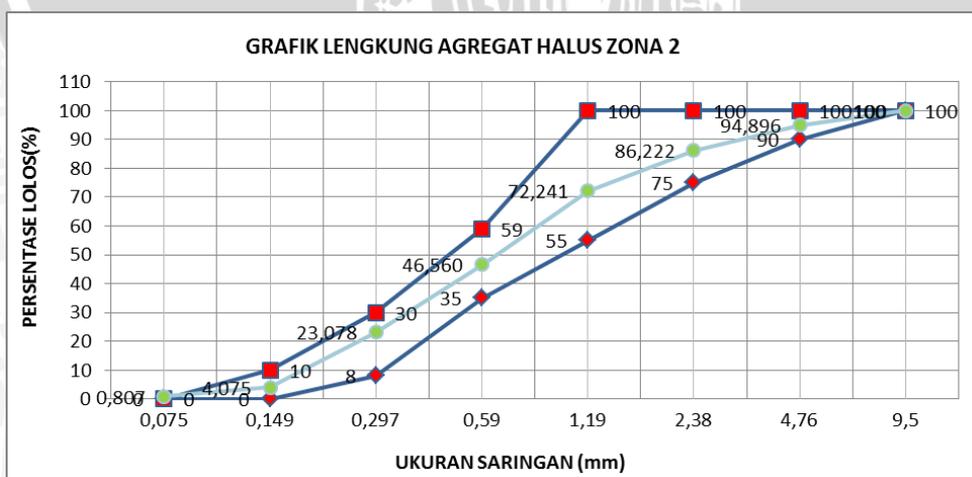
#### 4.1.2. Semen

Semen yang digunakan merupakan semen jenis PPC yang diproduksi oleh PT. Semen Gresik, Tbk. Tidak dilakukan pengujian khusus karena semen yang digunakan sudah memenuhi SNI.

#### 4.1.3. Pengujian Agregat Halus

##### 1. Pemeriksaan Gradasi

Gradasi pasir hitam Lumajang sebagai agregat halus digolongkan berdasarkan pembagian daerah pasir yang berdasarkan ukuran lolos saringan menurut standar ASTM C 33-90. Hasil dari pemeriksaan gradasi agregat halus (terlampir pada lampiran) didapatkan bahwa pasir yang digunakan termasuk dalam Zona 2 dan memiliki nilai modulus kehalusan sebesar 2,72927.



**Gambar 4.1.** Grafik analisa ayakan pemeriksaan gradasi agregat halus



## 2. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis curah, berat jenis SSD, berat jenis semu dan berapa persentase penyerapannya. Metode yang digunakan yaitu Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan.

Data didapatkan dari hasil pengujian agregat halus yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, hasil yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2.

**Tabel 4.1** Data Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

Berat benda uji kering permukaan jenuh	$B_{ssd}$ (gr)	500
Berat benda uji kering oven	$B_k$ (gr)	496,9
Berat piknometer + air	$B$ (gr)	665,9
Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (pd suhu kamar)	$B_t$ (gr)	977,1

**Tabel 4.2** Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan

Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	2,632
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	2,648
Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity)	2,676
Penyerapan (%) (Absorption)	0,62387

## 3. Pemeriksaan Kadar Air dan Berat Isi

Data didapatkan dari hasil pengujian agregat halus yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, hasil yang diperoleh diperlihatkan pada tabel 4.3 untuk pemeriksaan kadar air dan pemeriksaan berat isi, yaitu sebagai berikut:

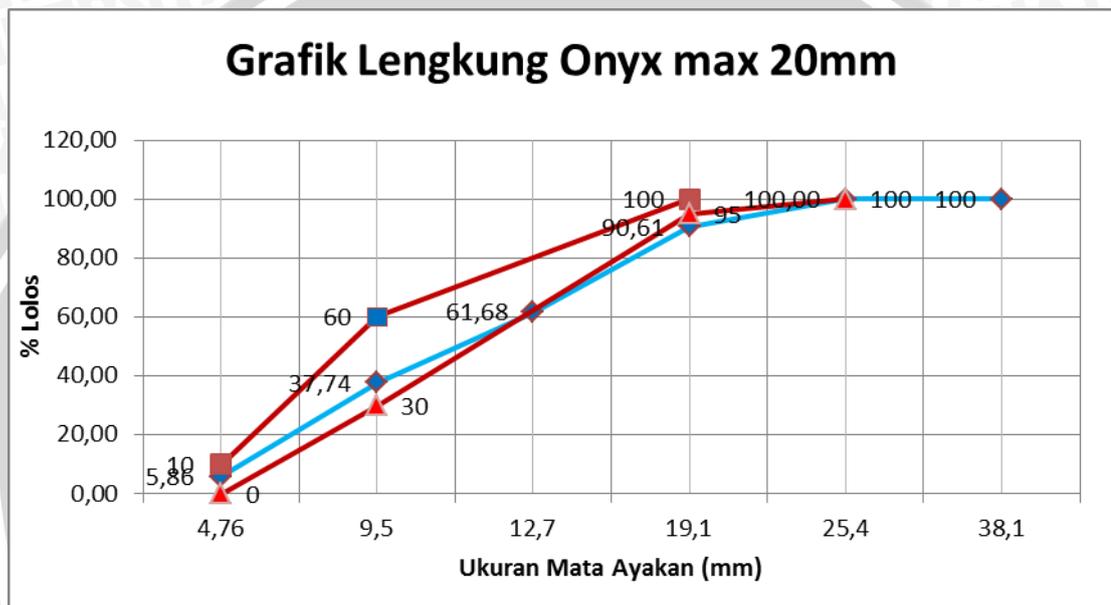
**Tabel 4.3** Pemeriksaan Kadar Air dan Berat Isi

Kadar air rata - rata	0,01877 %
Berat isi rata - rata	1,44586 gr/cc

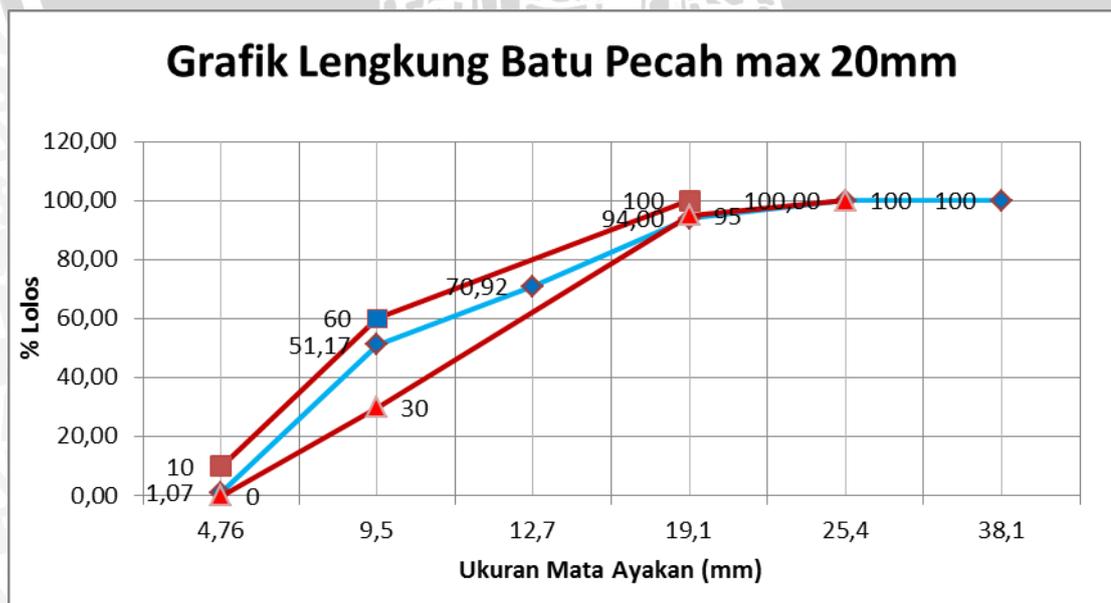
#### 4.1.4. Pengujian Agregat kasar

##### 1. Pemeriksaan Gradasi

Gradasi agregat kasar digolongkan berdasarkan ukuran lolos saringan yang berdasar pada standar ASTM C 33-90. Hasil dari pemeriksaan gradasi agregat kasar (terlampir pada lampiran) dibagi menjadi 2, yaitu hasil pemeriksaan gradasi batu *onyx* dan batu pecah. Hasil dari pemeriksaan didapatkan bahwa kedua agregat yang digunakan termasuk dalam agregat maksimum 20 mm dan memiliki nilai modulus kehalusan sebesar 6,65783 untuk batu *onyx* dan 6,53759 untuk batu pecah



**Gambar 4.2** Grafik analisa ayakan batu *onyx*



**Gambar 4.3** Grafik analisa ayakan batu pecah

## 2. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis curah, berat jenis SSD, berat jenis semu dan berapa persentase penyerapannya. Metode yang digunakan yaitu Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan.

Data didapatkan dari hasil pengujian agregat halus yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, hasil yang diperoleh kemudian dihitung dengan rumus yang digunakan dalam menghitung berat jenis dan penyerapan agregat halus. Data pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat dilihat pada tabel 4.4 dan hasil dari perhitungan berat jenis dan penyerapan batu pecah dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut:

**Tabel 4.4** Data Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

		<i>Onyx</i>	Batu Pecah
Berat benda uji kering permukaan jenuh	$B_{ssd}$ gr	1062,6	1254,6
Berat benda uji kering oven	$B_k$ gr	1053,5	1240,1
Berat benda uji dalam air	$B_t$ gr	658,8	770,4

**Tabel 4.5** Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

	<i>Onyx</i>	Batu Pecah
Berat Jenis Curah (Bulk Spesific Grafity)	2,60896	2,56113
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Spesific Grafity Saturated Surface Dry)	2,63150	2,59108
Berat Jenis Semu Apparent Spesific Gravity)	2,66912	2,64020
Penyerapan (%) (Absorption)	0,86379	1,16926

## 3. Pemeriksaan Kadar Air dan Berat Isi

Data didapatkan dari hasil pengujian agregat kasar yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Hasil dari pemeriksaan kadar air dan berat isi agregat kasar dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut:

**Tabel 4.6** Pemeriksaan Kadar Air dan Berat Isi Agregat Kasar

	<i>Onyx</i>	Batu Pecah
Kadar air rata - rata	0,01877 %	0,04401 %
Berat isi rata - rata	1,44586 gr/cc	1,36709 gr/cc

#### 4.2. Mix Design

Mix design yang dipakai sebagai contoh merupakan mix design yang menggunakan faktor air semen 0,4

1. Kuat tekan karakteristik sudah ditetapkan  $k - 275$  atau sama dengan 16,2846 Mpa untuk umur 28 hari.
2. Deviasi standar biasanya diketahui dari besarnya jumlah (volume) campuran beton yang akan dibuat. Sesuai dengan Tabel 4.5.1 PBI 1971, untuk tiap pembuatan 1000 m<sup>3</sup> beton deviasi standarnya sebesar 7 N/mm<sup>2</sup> atau sama dengan 7 Mpa. Atau tergantung dari kontrol yang ditetapkan tabel 8
3. Nilai tambah kuat tekan = 12 Mpa, hal ini dikarenakan tidak tersedianya data lapangan sebelumnya.
4. Kuat tekan target  $f_{cr} = 16,2846 \text{ Mpa} + 12 \text{ Mpa} = 28,2846 \text{ Mpa}$
5. Jenis tipe semen ditetapkan menggunakan semen PPC
6. Jenis agregat diketahui :
  - o Agregat halus berupa pasir hitam alami yang berasal lumajang
  - o Agregat kasar berupa batu *onyx*
7. Faktor air semen bebas telah ditentukan sebelumnya, yaitu 0,4.
8. Faktor air semen maksimum, dalam hal ini ditetapkan 0,6.
9. Slump ditetapkan setinggi 60 - 180 mm (sesuai tabel 7)
10. Ukuran agregat maksimum ditetapkan 20 mm (dilihat dari ukuran butiran pada analisa gradasi ayakan)
11. Kadar air bebas  
 Nilai kadar air bebas adalah 225 kg/m<sup>3</sup> (karena nilai slump 60 - 180 mm dan ukuran agregat maksimum 20 mm).
12. Kadar semen =  $\frac{\text{kadar air bebas}}{\text{faktor air semen}}$   
 =  $\frac{225}{0,4}$   
 = 562,5 kg/m<sup>3</sup>

13. Kadar semen maksimum : tidak ditentukan, sehingga dapat diabaikan
14. Kadar semen minimum : ditetapkan  $275 \text{ kg/m}^3$  (berdasar tabel 3)
15. Faktor air semen yang disesuaikan diabaikan karena mix design mengacu pada variasi faktor air semen dan jumlah minimum semen telah terpenuhi
16. Susunan butir agregat halus : dari hasil analisa ayakan didapatkan hasil bahwa pasir berada dalam zona 2.
17. Prosentase agregat pasir (bahan yang lebih halus dari 4,8 mm) : dicapai dalam grafik 13 - 15 dalam hal ini untuk kelompok ukuran butir agregat maksimum 20mm pada nilai slump 60 - 180 mm dan nilai faktor air semen 0,4. Nilai yang dipakai adalah 39,5 %.
18. Berat jenis relatif agregat: ini adalah berat jenis agregat gabungan, artinya gabungan antara agregat halus dan agregat kasar.
- Berat jenis agregat halus = 2,648
  - Berat jenis agregat kasar = 2,632
  - Berat jenis gabungan
- $$\begin{aligned} \text{BJ gab} &= (\% \text{ ag. halus} \times \text{BJ ag. halus}) + (\% \text{ ag. kasar} \times \text{BJ ag. kasar}) \\ &= (0,395 \times 2,648) + (0,605 \times 2,632) \\ &= 2,64 \end{aligned}$$
19. Berat jenis beton : diperoleh dari grafik 16 dengan jalan membuat grafik linier baru yang sesuai dengan nilai berat jenis agregat gabungan, yaitu 2,64. Titik potong grafik baru ini sesuai dengan garis tegak lurus yang menunjukkan kadar air bebas (dalam hal ini  $225 \text{ kg/m}^3$ ), menunjukkan nilai berat jenis beton yang dirancang, diperoleh angka  $2350 \text{ kg/m}^3$ .
20. Kadar agregat gabungan = berat jenis beton - jumlah semen - kadar air bebas
- $$\begin{aligned} &= 2350 - 562,5 - 225 \\ &= 1562,5 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$
21. Kadar agregat halus = kadar agregat gabungan x prosentase agregat halus
- $$\begin{aligned} &= 1562,5 \times 0,395 \\ &= 617,188 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$
22. Kadar agregat kasar = kadar agregat gabungan - kadar agregat halus
- $$\begin{aligned} &= 1562,5 - 617,188 \\ &= 945,313 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Kebutuhan teoritis Semen	= 563
Kebutuhan teoritis Air	= 225
Kebutuhan teoritis Pasir	= 617
Kebutuhan teoritis kerikil	= 945

Rasio Proposi teoritis (dalam Berat):

Semen :	Air	:	Pasir	:	Kerikil	
1,000	:	0,4	:	1,097	:	1,681

### 4.3. Komposisi Bahan

Dari hasil penelitian pendahuluan yang telah dipaparkan pada subbab sebelumnya, maka direncanakan komposisi bahan untuk pembuatan benda uji beton normal. Berikut komposisi bahan yang dibutuhkan untuk setiap kali pengecoran (10 benda uji silinder):

**Tabel 4.7** Komposisi Bahan menggunakan Batu *Onyx*

No.	Bahan	Satuan	Faktor Air Semen (FAS)		
			0,4	0,5	0,6
1.	Semen	kg	32,80	26,24	21,87
2.	Air	kg	12,87	12,89	12,90
3.	Pasir Lumajang	kg	35,77	40,78	44,63
4.	Batu <i>Onyx</i>	kg	55,60	57,14	57,64

**Tabel 4.8** Komposisi Bahan menggunakan Batu Pecah

No.	Bahan	Satuan	Faktor Air Semen (FAS)		
			0,4	0,5	0,6
1.	Semen	kg	32,80	26,24	21,87
2.	Air	kg	12,73	12,74	12,76
3.	Pasir Lumajang	kg	35,09	40,05	43,87
4.	Batu Pecah	kg	55,68	56,27	56,80

### 4.4. Pengujian Slump

Pengujian slump dilakukan untuk mengetahui kesesuaian angka slump campuran dengan angka slump yang direncanakan.

Data didapatkan dari hasil pengujian slump yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Hasil dari pemeriksaan slump beton yang menggunakan batu *onyx* dapat dilihat pada tabel 4.8 dan untuk batu pecah pada tabel 4.9.

**Tabel 4.9** Nilai Slump dan Proporsi Bahan Penyusun Beton dengan Material Batu *Onyx*

<b>Faktor air</b>	<b>Batu Onyx</b>	<b>Nilai</b>
<b>semen : Air</b>	<b>Ag. Halus : Ag. Kasar</b>	<b>Slump</b>
0,4 : 1	1,091 : 1,695	18,0
0,5 : 1	1,554 : 2,177	17,5
0,6 : 1	2,041 : 2,636	16,4

**Tabel 4.10** Nilai Slump dan Proporsi Bahan Penyusun Beton dengan Material Batu Pecah

<b>Faktor air</b>	<b>Batu Onyx</b>	<b>Nilai</b>
<b>semen : Air</b>	<b>Ag. Halus : Ag. Kasar</b>	<b>Slump</b>
0,4 : 1	1,070 : 1,667	17,7
0,5 : 1	1,526 : 2,144	16,5
0,6 : 1	2,006 : 2,597	16,2

#### 4.5. Perawatan (Curing) Beton

Perawatan beton dilakukan setelah beton berada di dalam cetakan selama  $\pm 24$  jam. Perawatan beton bisa dilakukan dengan merendam beton yang telah mengeras di dalam bak curing atau melapisi beton dengan karung goni yang telah dibasahi. Karung goni tersebut harus dijaga kelembapannya dengan cara disiram air setiap harinya hingga umur beton mencapai 28 hari.

#### 4.6. Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan setelah benda uji mencapai umur 28 hari dengan pertimbangan bahwa pada umur 28 hari, proses pengikatan semen dengan agregat telah selesai. Data didapatkan dari hasil pengujian agregat halus yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Nilai porositas disajikan pada tabel 4.10 dan 4.11 yang telah dihitung dengan persamaan berikut:

**Tabel 4.11** Hasil Perhitungan Porositas Beton Normal dengan Agregat Batu *Onyx*

Sampel	Porositas (%)		
	Faktor Air Semen		
	0,4	0,5	0,6
1	15,108	15,722	13,961
2	14,444	15,685	13,517
3	14,747	16,276	13,326
4	15,227	16,094	14,365
5	14,415	16,495	13,68
6	15,658	15,784	13,762
7	14,734	15,146	14,256
8	14,978	15,061	13,679
9	14,868	15,963	13,844
10	14,541	15,648	14,068
Mean (Rata - Rata)	14,872	15,7874	13,8458
Median (Nilai Tengah)	14,8075	15,753	13,803
Standar Deviasi	1,347032	1,837524	0,941116
Varian (Ragam)	0,14967	0,204169	0,104568
Skewness (Kemiringan)	0,791476	-0,21987	0,146643

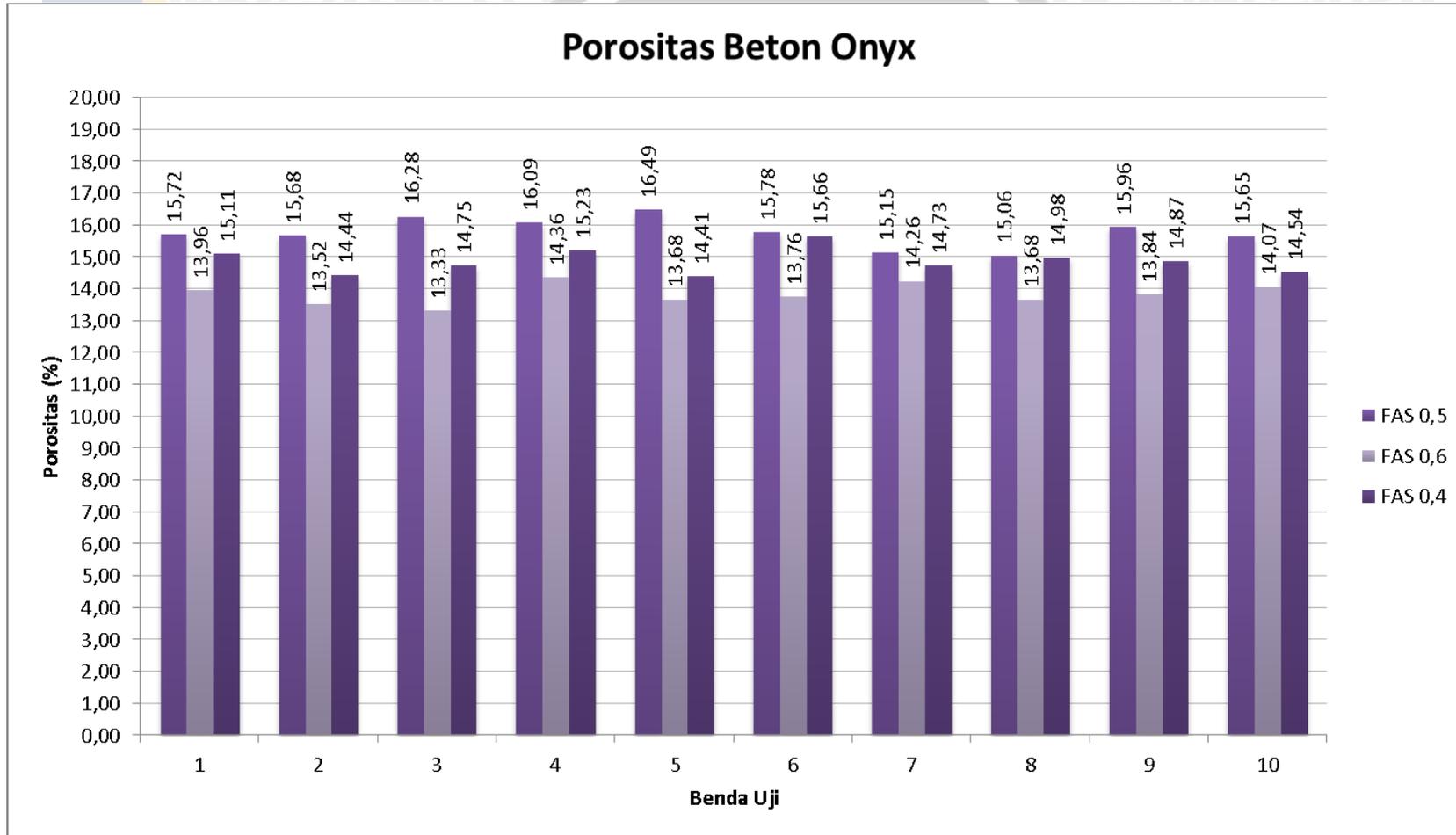
**Tabel 4.12** Hasil Perhitungan Porositas Beton Normal dengan Agregat Batu Pecah

Sampel	Porositas (%)		
	Faktor Air Semen		
	0,4	0,5	0,6
1	16,948	16,546	18,544
2	17,212	15,797	18,261
3	17,745	17,136	18,874
4	16,966	16,15	18,015
5	17,876	15,297	18,445
6	17,575	17,071	18,746
7	16,869	17,121	18,252
8	16,323	15,294	17,85
9	16,347	17,16	17,77
10	16,779	16,145	17,81
Mean (Rata - Rata)	17,064	16,3717	18,2567
Median (Nilai Tengah)	16,957	16,348	18,2565
Standar Deviasi	2,61161	5,033664	1,398754
Varian (Ragam)	0,290179	0,559296	0,155417
Skewness (Kemiringan)	0,159353	-0,33238	0,219772

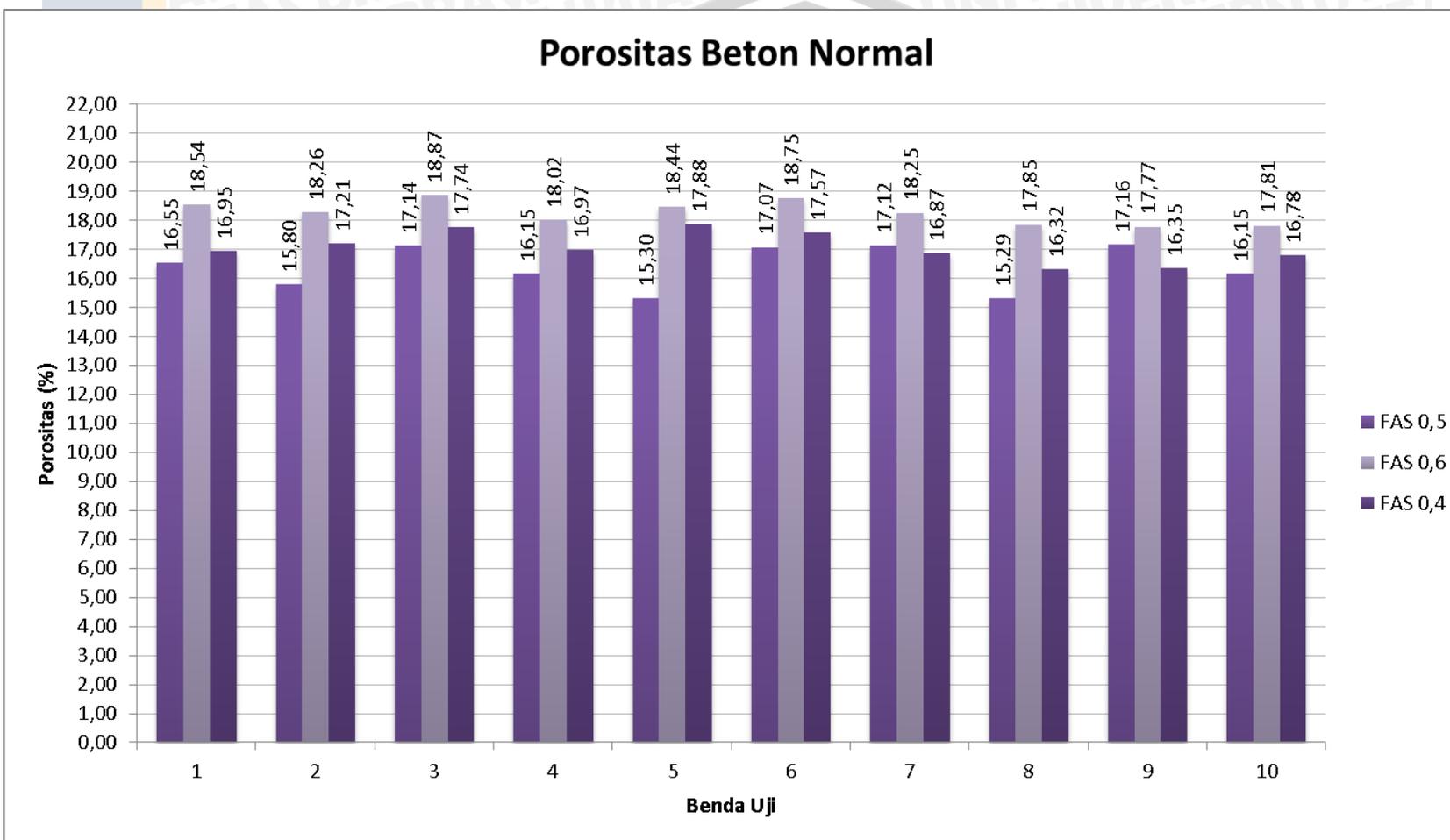
**Tabel 4.13** Rekap Hasil Pengujian Porositas Rata - Rata Beton

Benda Uji	Porositas (%)		
	Faktor Air Semen		
	0,4	0,5	0,6
Onyx	14,872	15,7874	13,8458
Kerikil	17,064	16,3717	18,2567
Prosentase kenaikan	-14,739	-3,7011	-31,857
Prosentase penurunan	12,8	3,6	24,2

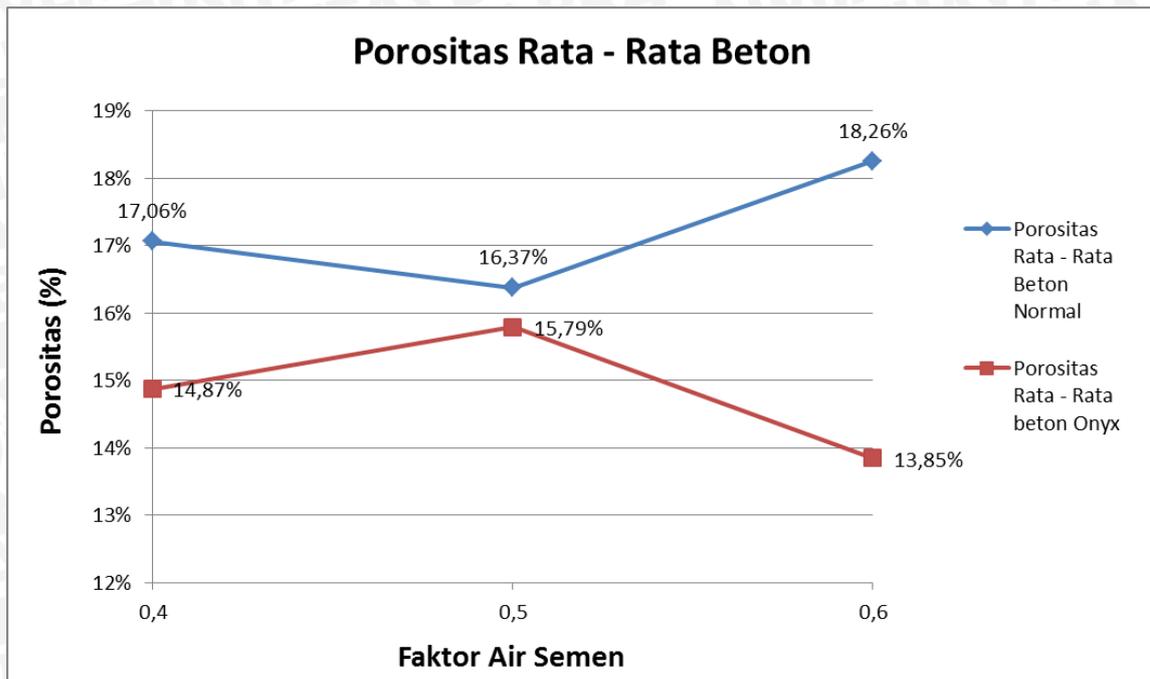
Hasil perhitungan porositas disajikan dalam bentuk diagram di bawah ini:



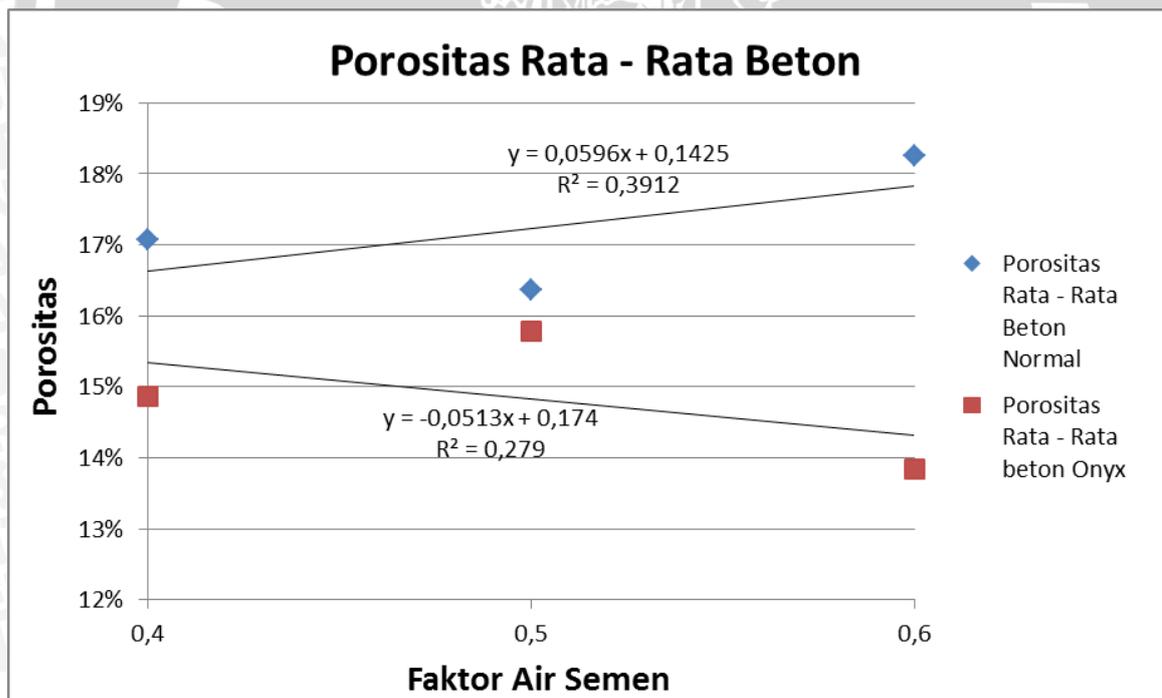
Gambar 4.4 Hasil uji porositas benda uji onyx



Gambar 4.5 Hasil uji porositas benda uji batu pecah



Gambar 4.6 Hasil uji porositas rata - rata



Gambar 4.7 Hasil regresi dari uji porositas

#### 4.7. Pembahasan

##### 4.7.1. Analisis ANOVA

Telah diuraikan sebelumnya dalam hipotesis penelitian bahwa variasi nilai faktor air semen (FAS) memiliki pengaruh terhadap nilai porositas beton. Hipotesis yang ada dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

$H_0$ : Tidak ada pengaruh signifikan dari variasi nilai faktor air semen (FAS) terhadap porositas beton.

$H_1$ : Ada pengaruh signifikan dari variasi nilai faktor air semen (FAS) terhadap porositas beton.

Kriteria pengujian:

Jika  $F_{hitung} \geq F_{tabel}$ , maka menolak  $H_0$  dan menerima  $H_1$

Jika  $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ , maka menolak  $H_1$  dan menerima  $H_0$

Untuk mengetahui perbedaan rerata dari dua populasi atau lebih, dimana variabel tak bebas berupa data interval dan variabel bebas berupa nominal digunakan metode ANOVA satu arah dan hasil pengujian disajikan oleh nilai  $F_{hitung}$  dengan tingkat signifikansi ( $\alpha = 0,05$ ). Jika ada perbedaan yang berarti antara dua variabel, maka hasil penelitian mendukung hipotesis yang diajukan, sebaliknya jika hasil analisis menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan antara dua variabel, maka hasil penelitian menunjukkan hipotesis yang diajukan ditolak.

Analisis varian satu arah untuk porositas dihitung sebagai berikut:

a. Data

Tingkat Signifikansi ( $\alpha$ ) = 5%

Jumlah Variasi (k) = 3

Jumlah Sampel (n) = 10

Menggunakan tabel Fisher, dengan nilai derajat bebas (db):

$db_1 = k - 1 = 2$

$db_2 = k \times (n - 1)$

$= 3 \times (10 - 1) = 27$

$F_{tabel} = F_{(db_1, db_2)}$

$= F_{(2, 27)}$

$= 3,35$

**Tabel 4.14** Perhitungan Pengujian ANOVA Hipotesis Porositas Beton *Onyx* terhadap Faktor Air Semen (FAS)

Variasi FAS	Sampel (Ai)										$\Sigma A_i$	$\bar{A}_j$	$\bar{A}$	$\bar{A}_j - \bar{A}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
0,4	15,108	14,444	14,747	15,227	14,415	15,658	14,734	14,978	14,868	14,541	148,719	14,872		0,037
0,5	15,722	15,685	16,276	16,094	16,495	15,784	15,146	15,061	15,963	15,648	157,873	15,787	14,835	0,952
0,6	13,961	13,517	13,326	14,365	13,680	13,762	14,256	13,679	13,844	14,068	138,459	13,846		-0,989
TOTAL														
$(\bar{A}_j - \bar{A})^2$	$(\bar{A}_i - \bar{A}_j)^2$										$\Sigma(\bar{A}_i - \bar{A}_j)^2$			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
0,001362	5,56E-02	1,83E-01	1,57E-02	1,26E-01	2,09E-01	6,18E-01	1,91E-02	1,12E-02	1,35E-05	1,09E-01	1,34714			
0,906791	4,32E-03	1,05E-02	2,38E-01	9,42E-02	5,00E-01	8,60E-06	4,12E-01	5,28E-01	3,09E-02	1,94E-02	1,83786			
0,978447	1,33E-02	1,08E-01	2,70E-01	2,69E-01	2,74E-02	7,03E-03	1,68E-01	2,79E-02	2,71E-06	4,92E-02	0,94075			
1,886600											4,12575			

**Tabel 4.15** Perhitungan Pengujian ANOVA Hipotesis Porositas Beton Normal terhadap Faktor Air Semen (FAS)

Variasi FAS	Sampel (Ai)										$\sum A_i$	$\bar{A}_j$	$\bar{A}$	$\bar{A}_j - \bar{A}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
0,4	16,948	17,212	17,745	16,966	17,876	17,575	16,869	16,323	16,347	16,779	170,639	17,064		2,229
0,5	16,546	15,797	17,136	16,150	15,297	17,071	17,121	15,294	17,160	16,145	163,716	16,372	17,231	1,537
0,6	18,544	18,261	18,874	18,015	18,445	18,746	18,252	17,850	17,770	17,810	182,566	18,257		3,422
TOTAL														
$(\bar{A}_j - \bar{A})^2$	$(\bar{A}_i - \bar{A}_j)^2$										$\sum (\bar{A}_i - \bar{A}_j)^2$			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
4,967970	1,35E-02	2,19E-02	4,63E-01	9,49E-03	6,59E-01	2,61E-01	3,81E-02	5,49E-01	5,13E-01	8,13E-02	2,61014			
2,361196	3,03E-02	3,30E-01	5,84E-01	4,93E-02	1,15E+00	4,89E-01	5,61E-01	1,16E+00	6,22E-01	5,14E-02	5,03374			
11,707222	8,26E-02	1,81E-05	3,82E-01	5,82E-02	3,55E-02	2,39E-01	2,45E-05	1,66E-01	2,37E-01	2,00E-01	1,39909			
19,036388											9,04297			

## b. Perhitungan

Jumlah Kuadrat Deviasi ( $Sx^2$ ):

$$\text{Beton Onyx} \rightarrow Sx^2 = \frac{\sum(\bar{A}_j - \bar{A})^2}{k-1} = \frac{1,886600}{3-1} = 0,9432998$$

$$\text{Beton Normal} \rightarrow Sx^2 = \frac{\sum(\bar{A}_j - \bar{A})^2}{k-1} = \frac{0,001815}{3-1} = 9,5181938$$

Varian Between Mean (sm):

$$\text{Beton Onyx} \rightarrow sm = Sx^2 \times n = 0,9432998 \times 10 = 9,4329985$$

$$\text{Beton Normal} \rightarrow sm = Sx^2 \times n = 9,5181938 \times 10 = 95,181938$$

Varian Between Group (sg):

$$\text{Beton Onyx} \rightarrow sg = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (\bar{A}_i - \bar{A}_j)^2}{k(n-1)} = \frac{4,12575}{3(10-1)} = 0,1528054$$

$$\text{Beton Normal} \rightarrow sg = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (\bar{A}_i - \bar{A}_j)^2}{k(n-1)} = \frac{9,04297}{3(10-1)} = 0,3349249$$

$F_{hitung}$ :

$$\text{Beton Onyx} \rightarrow F_{hitung} = \frac{\sigma m}{\sigma g} = \frac{9,4329985}{0,1528054} = 61,73209$$

$$\text{Beton Normal} \rightarrow F_{hitung} = \frac{\sigma m}{\sigma g} = \frac{95,181938}{0,3349249} = 284,1889$$

## c. Kesimpulan

Beton Onyx

$$F_{hitung} > F_{tabel}$$

$$61,73209 > 3,35$$

Beton Normal

$$F_{hitung} > F_{tabel}$$

$$284,1889 > 3,35$$

Maka baik beton normal maupun beton yang menggunakan agregat pengganti berupa batu onyx  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima, dan dapat disimpulkan bahwa variasi faktor air semen memberikan pengaruh yang signifikan terhadap porositas beton.

#### 4.7.2. Analisis T-Test

Telah diuraikan sebelumnya dalam hipotesis penelitian bahwa nilai porositas beton yang menggunakan batu *onyx* sebagai agregat kasar memiliki perbedaan yang signifikan terhadap nilai porositas beton yang menggunakan agregat kasar batu pecah. Hipotesis yang ada dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

$H_0$ : Tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara beton yang menggunakan limbah batu *onyx* dengan beton yang menggunakan batu pecah terhadap porositas beton.

$H_1$ : Terdapat perbedaan yang signifikan antara beton yang menggunakan limbah batu *onyx* dengan beton yang menggunakan batu pecah terhadap porositas beton.

Kriteria pengujian:

Jika  $F_{hitung} \geq F_{tabel}$ , maka menolak  $H_0$  dan menerima  $H_1$

Jika  $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ , maka menolak  $H_1$  dan menerima  $H_0$

Untuk mengetahui perbedaan rerata dari dua populasi atau lebih digunakan metode t-test dan hasil pengujian disajikan oleh nilai  $F_{hitung}$  dengan tingkat signifikansi ( $\alpha = 0,05$ ). Jika ada perbedaan yang berarti antara dua variabel, maka hasil penelitian mendukung hipotesis yang diajukan, sebaliknya jika hasil analisis menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan antara dua variabel, maka hasil penelitian menunjukkan hipotesis yang diajukan ditolak.

Analisis t-test untuk substitusi agregat kasar dengan batu *onyx* dihitung sebagai berikut:

d. Data

Tingkat Signifikansi ( $\alpha$ ) = 5%, sehingga nilai  $\alpha/2 = 2,5\%$

Jumlah Sampel beton *onyx* ( $n_A$ ) = 10

Jumlah Sampel beton normal ( $n_B$ ) = 10

Menggunakan tabel distribusi T-Student, dengan nilai derajat bebas (df):

$$\begin{aligned} df &= n - 1 &&= n_A + n_B - 2 \\ &&&= 10 + 10 - 2 \\ &&&= 18 \end{aligned}$$

$$t_{tabel} = 2,101$$

**Tabel 4.16** Perhitungan Uji-T Hipotesa Porositas Beton dengan FAS 0,4

Benda Uji	Agregat		di = (X <sub>A</sub> - X <sub>B</sub> )	di <sup>2</sup>	d̄	Sd	T <sub>hitung</sub>	T <sub>tabel (+/-)</sub>
	Onyx	Normal						
1	15,108	16,948	-1,840	3,386				
2	14,444	17,212	-2,768	7,662				
3	14,747	17,745	-2,998	8,988				
4	15,227	16,966	-1,739	3,024				
5	14,415	17,876	-3,461	11,979				
6	15,658	17,575	-1,917	3,675	-2,192	0,685	-10,114	2,101
7	14,734	16,869	-2,135	4,558				
8	14,978	16,323	-1,345	1,809				
9	14,868	16,347	-1,479	2,187				
10	14,541	16,779	-2,238	5,009				
Jumlah			-21,920	52,276				

$$Sd = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} (\sum d_1^2 - \frac{(\sum d_1)^2}{n})}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{(10-1)} (52,276 - \frac{(-21,920)^2}{10})}$$

$$= 0,685$$

$$T_{Hitung} = \frac{\bar{d}}{sd/\sqrt{n}} = \frac{-2,192}{0,685/\sqrt{10}} = -10,114$$

T<sub>hitung</sub> berada pada daerah tolakan, maka H<sub>0</sub> ditolak dan H<sub>1</sub> diterima. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara beton yang menggunakan batu *onyx* dengan beton yang menggunakan batu pecah terhadap porositas beton.

**Tabel 4.17** Perhitungan Uji-T Hipotesa Porositas Beton dengan FAS 0,5

Benda Uji	Agregat		di = (X <sub>A</sub> - X <sub>B</sub> )	di <sup>2</sup>	d̄	Sd	T <sub>hitung</sub>	T <sub>tabel (+/-)</sub>
	Onyx	Normal						
1	15,722	16,546	-0,824	0,679				
2	15,685	15,797	-0,112	0,013				
3	16,276	17,136	-0,860	0,740				
4	16,094	16,150	-0,056	0,003				
5	16,495	15,297	1,198	1,435				
6	15,784	17,071	-1,287	1,656	-0,584	0,866	-2,134	2,101
7	15,146	17,121	-1,975	3,901				
8	15,061	15,294	-0,233	0,054				
9	15,963	17,160	-1,197	1,433				
10	15,648	16,145	-0,497	0,247				
Jumlah			-5,843	10,161				

$$\begin{aligned}
 Sd &= \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \left( \sum d_1^2 - \frac{(\sum d_1)^2}{n} \right)} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{(10-1)} \left( 10,161 - \frac{(-5,843)^2}{10} \right)} \\
 &= 0,866 \\
 T_{\text{Hitung}} &= \frac{d}{sd/\sqrt{n}} = \frac{-0,5842}{0,866/\sqrt{10}} = -2,134
 \end{aligned}$$

$T_{\text{Hitung}}$  berada pada daerah tolakan, maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara beton yang menggunakan batu *onyx* dengan beton yang menggunakan batu pecah terhadap porositas beton.

**Tabel 4.18** Perhitungan Uji-T Hipotesa Porositas Beton dengan FAS 0,6

Benda Uji	Agregat		$d_i =$ $(X_A - X_B)$	$d_i^2$	$d$	$Sd$	$T_{\text{hitung}}$	$T_{\text{tabel}} (+/-)$
	Onyx	Normal						
1	13,961	18,544	-4,583	21,004				
2	13,517	18,261	-4,744	22,506				
3	13,326	18,874	-5,548	30,780				
4	14,365	18,015	-3,650	13,323				
5	13,680	18,445	-4,765	22,705				
6	13,762	18,746	-4,984	24,840	-4,411	0,613	-22,766	2,101
7	14,256	18,252	-3,996	15,968				
8	13,679	17,850	-4,171	17,397				
9	13,844	17,770	-3,926	15,413				
10	14,068	17,810	-3,742	14,003				
	Jumlah		-44,109	197,939				

$$\begin{aligned}
 Sd &= \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \left( \sum d_1^2 - \frac{(\sum d_1)^2}{n} \right)} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{(10-1)} \left( 197,939 - \frac{(-44,109)^2}{10} \right)} \\
 &= 0,613 \\
 T_{\text{Hitung}} &= \frac{d}{sd/\sqrt{n}} = \frac{-4,411}{0,613/\sqrt{10}} = -22,766
 \end{aligned}$$

$T_{\text{Hitung}}$  berada pada daerah tolakan, maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara beton yang menggunakan batu *onyx* dengan beton yang menggunakan batu pecah terhadap porositas beton.

#### 4.7.3. Pembahasan Hasil

Nilai porositas rata - rata beton normal dengan FAS 0,4 adalah 17,06%; FAS 0,5 adalah 16,37% dan untuk FAS 0,6 adalah 1,26%. Sedangkan untuk nilai porositas beton rata - rata beton *onyx* didapatkan nilai 14,87%, 15,79% dan 13,85% untuk FAS 0,4; 0,5; dan 0,6.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa variasi nilai Faktor Air Semen (FAS) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap porositas beton. Dari hasil pengujian ANOVA satu arah dengan nilai signifikansi 0,05 didapatkan nilai  $F_{hitung}$  beton normal = 61,73 lebih besar daripada nilai  $F_{tabel} = 3,35$ , sedangkan nilai  $F_{hitung}$  beton *onyx* = 284,19 lebih besar dari  $F_{tabel} = 3,35$ . Sehingga hipotesis  $H_1$  yang menyatakan bahwa variasi nilai FAS memiliki pengaruh terhadap porositas beton dapat diterima, sedangkan hipotesis  $H_0$  yang menyatakan variasi FAS tidak memiliki pengaruh terhadap porositas ditolak berlaku untuk keduanya.

Sedangkan untuk hasil analisis uji-t dapat diketahui bahwa substitusi agregat kasar dengan limbah batu *onyx* memiliki perbedaan nilai porositas yang signifikan terhadap beton dengan agregat kasar batu pecah. Dari hasil pengujian *two tailed t-test* dengan nilai signifikansi ( $\alpha/2$ ) 0,025 didapatkan  $F_{tabel} = 2,101$  ( $\pm$ ) dan  $F_{hitung}$  FAS 0,4 = -10,114,  $F_{hitung}$  FAS 0,5 = -2,134, serta  $F_{hitung}$  FAS 0,6 = -22,766. Sehingga hipotesis  $H_1$  yang menyatakan terdapat perbedaan yang signifikan antara beton yang menggunakan limbah batu *onyx* dengan beton yang menggunakan batu pecah terhadap porositas beton dapat diterima, sedangkan hipotesis  $H_0$  yang menyatakan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara beton yang menggunakan limbah batu *onyx* dengan beton yang menggunakan batu pecah terhadap porositas beton ditolak dan berlaku untuk semua nilai Faktor Air Semen (FAS).

Prosentase porositas beton akan semakin besar seiring dengan naiknya rasio air/semen (*W/C ratio*). Namun, teori ini tidak berlaku untuk kedua variasi beton. Dapat dilihat dari **gambar 4.6** yang menampilkan grafik nilai porositas rata - rata beton, menunjukkan bahwa beton yang menggunakan agregat batu pecah mengalami peningkatan porositas pada FAS 0,4 dan penurunan pada FAS 0,5 dan kemudian meningkat kembali pada FAS 0,6. Sedangkan pada prosentase porositas beton *onyx* mengalami peningkatan hingga FAS 0,5 dan berkurang pada FAS 0,6. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadi penyimpangan pada porositas beton pada FAS 0,4 untuk agregat batu pecah dan pada FAS 0,6 untuk agregat pengganti berupa limbah batu *onyx*. Hal ini dapat diakibatkan oleh kesalahan pada saat pemadatan beton, dikarenakan

semakin kecil nilai FAS campuran beton, maka akan semakin sulit dalam proses pemadatan beton. Selain itu adanya kemungkinan bahwa telah terjadi *bleeding* dan segregasi pada beton saat dilakukan pemadatan yang sering terjadi pada beton dengan nilai FAS yang cukup tinggi.

Selain itu, dari **gambar 4.6**, dapat dilihat bahwa prosentase porositas beton yang menggunakan batu *onyx* lebih rendah daripada beton normal, sehingga hipotesis awal yang menyatakan bahwa prosentase porositas beton *onyx* lebih rendah jika dibandingkan dengan beton normal adalah benar. Sehingga limbah batu *onyx* bisa digunakan sebagai salah satu alternatif agregat penyusun beton.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB V PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan antara lain adalah:

1. Nilai porositas benda uji dengan variasi Faktor Air Semen (FAS) yaitu 0,4; 0,5; dan 0,6 memberikan nilai porositas rata - rata sebagai berikut 14,872%, 15,878%, 13,846% untuk benda uji yang menggunakan agregat kasar limbah batu *onyx* dan 17,064%, 16,372%, 18,257% untuk benda uji yang menggunakan agregat batu pecah.
2. Dari hasil analisis diketahui bahwa variasi penggunaan limbah batu *onyx* sebagai agregat kasar dalam beton serta variasi Faktor Air Semen (FAS) sangat berpengaruh terhadap nilai porositas beton.
3. Nilai porositas beton yang menggunakan agregat limbah batu *onyx* memiliki nilai porositas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan beton yang menggunakan agregat kasar batu pecah. Sehingga penggunaan limbah batu *onyx* dalam beton sangat baik dalam memperbaiki nilai porositas beton.

### 5.2. Saran

Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan apabila mengadakan penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik beton dengan agregat limbah batu *onyx*, yaitu:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai porositas dengan melakukan penambahan variabel bebas dan penambahan perlakuan agar didapatkan hasil yang lebih akurat dalam penarikan kesimpulan dan pengambilan keputusan mengenai penggunaan limbah batu *onyx* sebagai agregat kasar dan halus sebagai bahan alternatif dalam pembuatan beton.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amri, Sjafei. 2005. *Teknologi Beton A-Z*. Jakarta: UI Press
- Anonim. *Petunjuk Praktikum Teknologi Beton*. Malang: Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- ASTM C33.2003. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. USA: ASTM International.
- ASTM C642. 2006. *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. USA: ASTM International.
- Damang, Nasrul Setiawan. 2015. *Statistik Ceria*.  
<http://statistikceria.blogspot.com/2013/12/uji-hipotesis-dengan-analisis-ragam-analysis-of-variance-anova.html>. Diakses pada tanggal 21 Desember 2015.
- Derucher, K. N., Korfiatis, G.P., dan Ezeldin, A.S. 1988. *Materials for Civil & Highway Engineers (Third Edition)*. Kansas: Prentice Hall.
- Dewi, S.M., Djakfar L. 2011. *Statistika Dasar untuk Teknik Sipil (Edisi 2)*. Malang: Bargie Media
- Junaidi. 2010. *Junaidi FE-UNJA*.  
<https://junaidichaniago.files.wordpress.com/2010/04/tabel-f-0-05.pdf>. Diakses pada tanggal 15 Desember 2015.
- Mehta, P. K. dan Monteiro, P. J.M.1986. *Concrete Structure, Properties, and Materials (Second Edition)*. Kansas: Prentice Hall.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta Penerbit Andi.
- Murdock, L.J. dan Brook, K.M.1991. *Bahan dan Praktek Beton, Edisi Keempat*. Terjemahan oleh Stephanus Hindarko. Jakarta: Erlangga.
- Nji, Lauw Tjun. <http://lauwtjunnji.weebly.com/agregat-halus--parameter.html>. Diakses pada tanggal 15 Desember 2015.
- Nji, Lauw Tjun. <http://lauwtjunnji.weebly.com/agregat-kasar--parameter.html>. Diakses pada tanggal 15 Desember 2015.
- Nji, Lauw Tjun. <http://lauwtjunnji.weebly.com/gradasi--agregat-halus.html>. Diakses pada tanggal 15 Desember 2015.
- Nji, Lauw Tjun. <http://lauwtjunnji.weebly.com/gradasi--agregat-kasar.html>. Diakses pada tanggal 15 Desember 2015.
- Nji, Lauw Tjun. <http://lauwtjunnji.weebly.com/pengelompokan-beton.html>. Diakses pada tanggal 15 Desember 2015.
- Nji, Lauw Tjun. <http://lauwtjunnji.weebly.com/pengukuran-slump.html>. Diakses pada tanggal 15 Desember 2015.
- Nobel, Alfred. 2012. *Laporan Teknik Sipil Civil Engineering, Business, and Life*.  
<https://laporantekniksipil.wordpress.com/2012/06/17/171/>. Diakses pada tanggal 21 Desember 2015.
- Nurlina, Siti. 2011. *Teknologi Bahan I*. Malang: Bargie Media

Octivianti, Mutia Annisa. 2013. *Statistika Ekonomi*.  
<https://mutiaoctivianti.wordpress.com/pengukuran-penyimpangan-range-deviasi-varian/>. Diakses pada tanggal 4 Januari 2016.

SNI-03-4810-1998. *Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Lapangan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

SNI-15-0302-2004. *Semen Portland Pozzolan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

SNI-1972-2008. *Cara Uji Slump Beton*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Suseno, Hendro. 2010. *Bahan Bangunan Untuk Teknik Sipil*. Malang: Bargie Media.

Wibowo, Ari dan Setyowati, Edhi Wahjuni. 2003. *Buku Diktat Teknologi Beton*. Malang: Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Zacoeb, Achfas. 2015. All about Civil Engineering Brawijaya University.  
<http://zacoeb.lecture.ub.ac.id/files/2015/04/MG8-One-Way-Anova.pdf>. Diakses pada tanggal 21 Desember 2015



## Lampiran 1

### Analisa Mix Design

**Tabel L.1** Analisa Mix Design untuk Batu Onyx dengan FAS 0,4

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI	Satuan	
1	Kuat tekan yang disyaratkan (28 hari,5%)	Ditetapkan	16,2846 MPa pada 28 hari. Bagian tak memenuhi syarat 5% (k=1,64)	Mpa	
2	Deviasi standar	Diketahui	-	Mpa	
3	Nilai Tambah (Margin)	Diketahui	12	Mpa	
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1) + (3)	16,2846 + 12 = 28,2846	Mpa	
5	Jenis Semen	Ditetapkan	PPC	-	
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu pecah	-	
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Alami	-	
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2, Grafik 2	0,4	-	
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0,6	-	
9	Slump	Ditetapkan	60-180	mm	
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	20 mm	mm	
11	Kadar Air Bebas	TABEL 6	225	kg/m <sup>3</sup>	
12	Jumlah semen	(11) : (8)	562,500	kg/m <sup>3</sup>	
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-	-	
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275	kg/m <sup>3</sup>	
15	FAS yg disesuaikan	Ditetapkan	-	-	
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6	zona 2	-	
17	Gradasi Agregat Kasar atau Gabungan	Tabel 7, Grafik 7 - 12	-	-	
18	Persen Agregat Halus	Grafik 13 - 15	<b>39,5%</b>	<b>0,395</b>	
19	Berat isi relatif agregat (SSD)	Diketahui	2,64	kg/m <sup>3</sup>	
20	Berat isi beton	Grafik 16	2350	kg/m <sup>3</sup>	
21	Kadar agregat gabungan	(20) - (11) - (12)	1562,500	kg/m <sup>3</sup>	
22	Kadar agregat halus	(18) * (21)	617,188	kg/m <sup>3</sup>	
23	Kadar agregat kasar	(21) - (22)	945,313	kg/m <sup>3</sup>	
Banyaknya Bahan (Berat)		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar
Tiap m <sup>3</sup> dg ketelitian 5kg (Teoritis)		563	225	617	945
Tiap campuran uji 0,005301438 m <sup>3</sup>		3,0	1,2	3,3	5,0
Tiap m <sup>3</sup> dg ketelitian 5kg (Aktual)		563	221	613	953
Tiap campuran uji 0,005301438 m <sup>3</sup>		2,98	1,17	3,25	5,05
Berat		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar
Proporsi (Teoritis)		1,000	0,400	1,097	1,681
Proporsi (Aktual)		1,000	0,392	1,091	1,695
Banyaknya Bahan (Volume)		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar
Proporsi (Teoritis)		0,402	0,225	426,865	614,551
Proporsi (Aktual)		0,402	0,221	424,282	619,804
Volume		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar
Proporsi (Teoritis)		1,000	1,786	0,001	0,001
Proporsi (Aktual)		1,000	1,821	0,001	0,001

**Tabel L.1.1** Analisa *Mix Design* untuk Batu *Onyx* dengan FAS 0,5

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI			Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan (28 hari,5%)	Ditetapkan	16,2846 MPa pada 28 hari. Bagian tak memenuhi syarat 5% (k=1,64)			Mpa
2	Deviasi standar	Diketahui	-			Mpa
3	Nilai Tambah (Margin)	Diketahui	12			Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1) + (3)	16,2846 + 12 = 28,2846			Mpa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	PPC			-
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu pecah			-
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Alami			-
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2, Grafik 2	0,5			-
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0,6			-
9	Slump	Ditetapkan	60-180			mm
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	20 mm			mm
11	Kadar Air Bebas	TABEL 6	225			kg/m3
12	Jumlah semen	(11) : (8)	450,000			kg/m3
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-			-
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275			kg/m3
15	FAS yg disesuaikan	Ditetapkan	-			-
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6	zona 2			-
17	Gradasi Agregat Kasar atau Gabungan	Tabel 7, Grafik 7 - 12	-			-
18	Persen Agregat Halus	Grafik 13 - 15	<b>42,0%</b>			<b>0,42</b>
19	Berat isi relatif agregat (SSD)	Diketahui	2,64			kg/m3
20	Berat isi beton	Grafik 16	2350			kg/m3
21	Kadar agregat gabungan	(20) - (11) - (12)	1675,000			kg/m3
22	Kadar agregat halus	(18) * (21)	703,500			kg/m3
23	Kadar agregat kasar	(21) - (22)	971,500			kg/m3
Banyaknya Bahan (Berat)		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)		450	225	704	972	
Tiap campuran uji 0,005301438 m3		2,4	1,2	3,7	5,2	
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)		450	221	699	980	
Tiap campuran uji 0,005301438 m3		2,39	1,17	3,71	5,19	
Berat		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Proporsi (Teoritis)		1,000	0,500	1,563	2,159	
Proporsi (Aktual)		1,000	0,491	1,554	2,177	
Banyaknya Bahan (Volume)		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Proporsi (Teoritis)		0,321	0,225	486,562	631,576	
Proporsi (Aktual)		0,321	0,221	483,618	636,974	
Volume		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Proporsi (Teoritis)		1,000	1,429	0,001	0,001	
Proporsi (Aktual)		1,000	1,455	0,001	0,001	

Tabel L.1.2 Analisa *Mix Design* untuk Batu *Onyx* dengan FAS 0,6

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI			Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan (28 hari,5%)	Ditetapkan	16,2846 MPa pada 28 hari. Bagian tak memenuhi syarat 5% (k=1,64)			Mpa
2	Deviasi standar	Diketahui	-			Mpa
3	Nilai Tambah (Margin)	Diketahui	12			Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1) + (3)	16,2846 + 12 = 28,2846			Mpa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	PPC			-
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu pecah			-
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Alami			-
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2, Grafik 2	0,6			-
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0,6			-
9	Slump	Ditetapkan	60-180			mm
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	20 mm			mm
11	Kadar Air Bebas	TABEL 6	225			kg/m3
12	Jumlah semen	(11) : (8)	375,000			kg/m3
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-			-
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275			kg/m3
15	FAS yg disesuaikan	Ditetapkan	-			-
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6	zona 2			-
17	Gradasi Agregat Kasar atau Gabungan	Tabel 7, Grafik 7 - 12	-			-
18	Persen Agregat Halus	Grafik 13 - 15	<b>44,0%</b>			<b>0,440</b>
19	Berat isi relatif agregat (SSD)	Diketahui	2,64			kg/m3
20	Berat isi beton	Grafik 16	2350			kg/m3
21	Kadar agregat gabungan	(20) - (11) - (12)	1750,000			kg/m3
22	Kadar agregat halus	(18) * (21)	770,000			kg/m3
23	Kadar agregat kasar	(21) - (22)	980,000			kg/m3
Banyaknya Bahan (Berat)		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)		375	225	770	980	
Tiap campuran uji 0,005301438 m3		2,0	1,2	4,1	5,2	
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)		375	221	765	988	
Tiap campuran uji 0,005301438 m3		1,99	1,17	4,06	5,24	
Berat		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Proporsi (Teoritis)		1,000	0,600	2,053	2,613	
Proporsi (Aktual)		1,000	0,590	2,041	2,636	
Banyaknya Bahan (Volume)		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Proporsi (Teoritis)		0,268	0,225	532,555	637,101	
Proporsi (Aktual)		0,268	0,221	529,333	642,547	
Volume		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Proporsi (Teoritis)		1,000	1,190	0,001	0,000	
Proporsi (Aktual)		1,000	1,210	0,001	0,000	

**Tabel L.1.3** Analisa *Mix Design* untuk Batu Pecah dengan FAS 0,4

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI			Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan (28 hari,5%)	Ditetapkan	16,2846 MPa pada 28 hari. Bagian tak memenuhi syarat 5% (k=1,64)			Mpa
2	Deviasi standar	Diketahui	-			Mpa
3	Nilai Tambah (Margin)	Diketahui	12			Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1) + (3)	16,2846 + 12 = 28,2846			Mpa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	PPC			-
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu pecah			-
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Alami			-
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2, Grafik 2	0,4			-
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0,6			-
9	Slump	Ditetapkan	60-180			mm
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	20 mm			mm
11	Kadar Air Bebas	TABEL 6	225			kg/m3
12	Jumlah semen	(11) : (8)	562,500			kg/m3
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-			-
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275			kg/m3
15	FAS yg disesuaikan	Ditetapkan	-			-
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6	zona 2			-
17	Gradasi Agregat Kasar atau Gabungan	Tabel 7, Grafik 7 - 12	-			-
18	Persen Agregat Halus	Grafik 13 - 15	<b>39,5%</b>			<b>0,395</b>
19	Berat isi relatif agregat (SSD)	Diketahui	2,61			kg/m3
20	Berat isi beton	Grafik 16	2320			kg/m3
21	Kadar agregat gabungan	(20) - (11) - (12)	1532,500			kg/m3
22	Kadar agregat halus	(18) * (21)	605,338			kg/m3
23	Kadar agregat kasar	(21) - (22)	927,163			kg/m3
Banyaknya Bahan (Berat)		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)		563	225	605	927	
Tiap campuran uji 0,005301438 m3		3,0	1,2	3,2	4,9	
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)		563	218	602	938	
Tiap campuran uji 0,005301438 m3		2,98	1,16	3,19	4,97	
Berat		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Proporsi (Teoritis)		1,000	0,400	1,076	1,648	
Proporsi (Aktual)		1,000	0,388	1,070	1,667	
Banyaknya Bahan (Volume)		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Proporsi (Teoritis)		0,402	0,225	418,670	678,202	
Proporsi (Aktual)		0,402	0,218	416,136	685,834	
Volume		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Proporsi (Teoritis)		1,000	1,786	0,001	0,001	
Proporsi (Aktual)		1,000	1,841	0,001	0,001	

Tabel L.1.4 Analisa *Mix Design* untuk Batu Pecah dengan FAS 0,5

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI			Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan (28 hari,5%)	Ditetapkan	16,2846 MPa pada 28 hari. Bagian tak memenuhi syarat 5% (k=1,64)			Mpa
2	Deviasi standar	Diketahui	-			Mpa
3	Nilai Tambah (Margin)	Diketahui	12			Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1) + (3)	16,2846 + 12 = 28,2846			Mpa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	PPC			-
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu pecah			-
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Alami			-
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2, Grafik 2	0,5			-
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0,6			-
9	Slump	Ditetapkan	60-180			mm
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	20 mm			mm
11	Kadar Air Bebas	TABEL 6	225			kg/m3
12	Jumlah semen	(11) : (8)	450,000			kg/m3
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-			-
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275			kg/m3
15	FAS yg disesuaikan	Ditetapkan	-			-
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6	zona 2			-
17	Gradasi Agregat Kasar atau Gabungan	Tabel 7, Grafik 7 - 12	-			-
18	Persen Agregat Halus	Grafik 13 - 15	<b>42,0%</b>			<b>0,42</b>
19	Berat isi relatif agregat (SSD)	Diketahui	2,62			kg/m3
20	Berat isi beton	Grafik 16	2320			kg/m3
21	Kadar agregat gabungan	(20) - (11) - (12)	1645,000			kg/m3
22	Kadar agregat halus	(18) * (21)	690,900			kg/m3
23	Kadar agregat kasar	(21) - (22)	954,100			kg/m3
Banyaknya Bahan (Berat)		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)		450	225	691	954	
Tiap campuran uji 0,005301438 m3		2,4	1,2	3,7	5,1	
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)		450	218	687	965	
Tiap campuran uji 0,005301438 m3		2,39	1,16	3,64	5,12	
Berat		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Proporsi (Teoritis)		1,000	0,500	1,535	2,120	
Proporsi (Aktual)		1,000	0,485	1,526	2,144	
Banyaknya Bahan (Volume)		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Proporsi (Teoritis)		0,321	0,225	477,847	697,906	
Proporsi (Aktual)		0,321	0,218	474,956	705,760	
Volume		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Proporsi (Teoritis)		1,000	1,429	0,001	0,000	
Proporsi (Aktual)		1,000	1,471	0,001	0,000	

Tabel L.1.5 Analisa Mix Design untuk Batu Pecah dengan FAS 0,6

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI			Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan (28 hari,5%)	Ditetapkan	16,2846 MPa pada 28 hari. Bagian tak memenuhi syarat 5% (k=1,64)			Mpa
2	Deviasi standar	Diketahui	-			Mpa
3	Nilai Tambah (Margin)	Diketahui	12			Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1) + (3)	16,2846 + 12 = 28,2846			Mpa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	PPC			-
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu pecah			-
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Alami			-
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2, Grafik 2	0,6			-
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0,6			-
9	Slump	Ditetapkan	60-180			mm
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	20 mm			mm
11	Kadar Air Bebas	TABEL 6	225			kg/m3
12	Jumlah semen	(11) : (8)	375,000			kg/m3
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-			-
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275			kg/m3
15	FAS yg disesuaikan	Ditetapkan	-			-
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6	zona 2			-
17	Gradasi Agregat Kasar atau Gabungan	Tabel 7, Grafik 7 - 12	-			-
18	Persen Agregat Halus	Grafik 13 - 15	<b>44,0%</b>			<b>0,440</b>
19	Berat isi relatif agregat (SSD)	Diketahui	2,62			kg/m3
20	Berat isi beton	Grafik 16	2320			kg/m3
21	Kadar agregat gabungan	(20) - (11) - (12)	1720,000			kg/m3
22	Kadar agregat halus	(18) * (21)	756,800			kg/m3
23	Kadar agregat kasar	(21) - (22)	963,200			kg/m3
Banyaknya Bahan (Berat)		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)		375	225	757	963	
Tiap campuran uji 0,005301438 m3		2,0	1,2	4,0	5,1	
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)		375	219	752	974	
Tiap campuran uji 0,005301438 m3		1,99	1,16	3,99	5,16	
Berat		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Proporsi (Teoritis)		1,000	0,600	2,018	2,569	
Proporsi (Aktual)		1,000	0,583	2,006	2,597	
Banyaknya Bahan (Volume)		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Proporsi (Teoritis)		0,268	0,225	523,426	704,563	
Proporsi (Aktual)		0,268	0,219	520,258	712,491	
Volume		Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Proporsi (Teoritis)		1,000	1,190	0,001	0,000	
Proporsi (Aktual)		1,000	1,225	0,001	0,000	

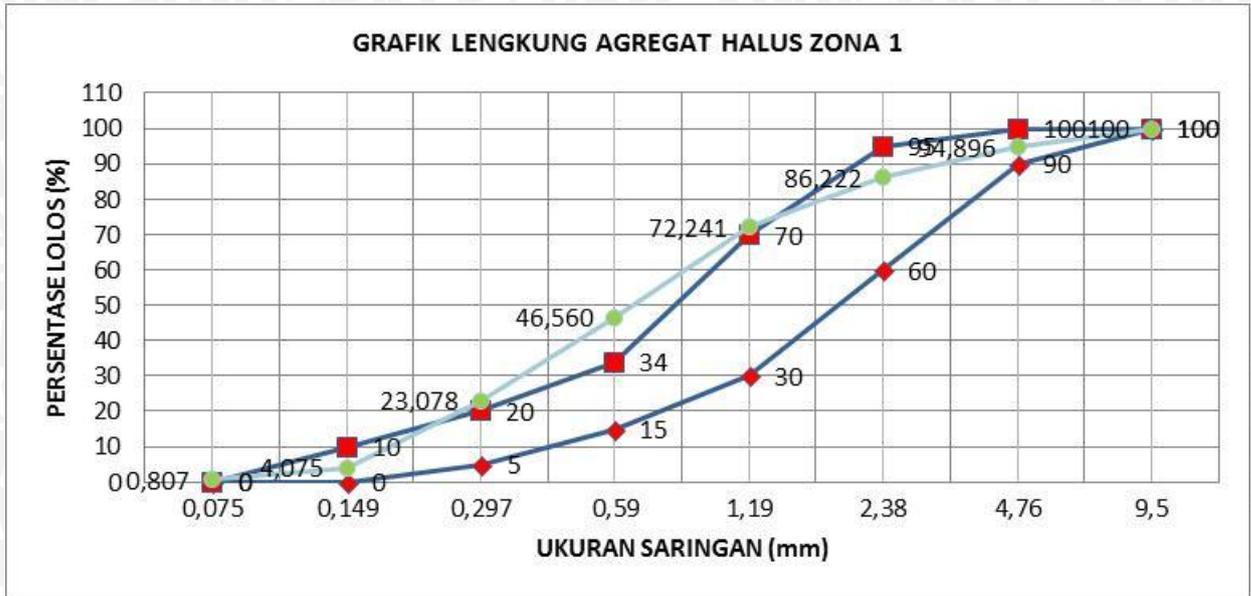
## Lampiran 2

## Pengujian Gradasi Agregat Halus

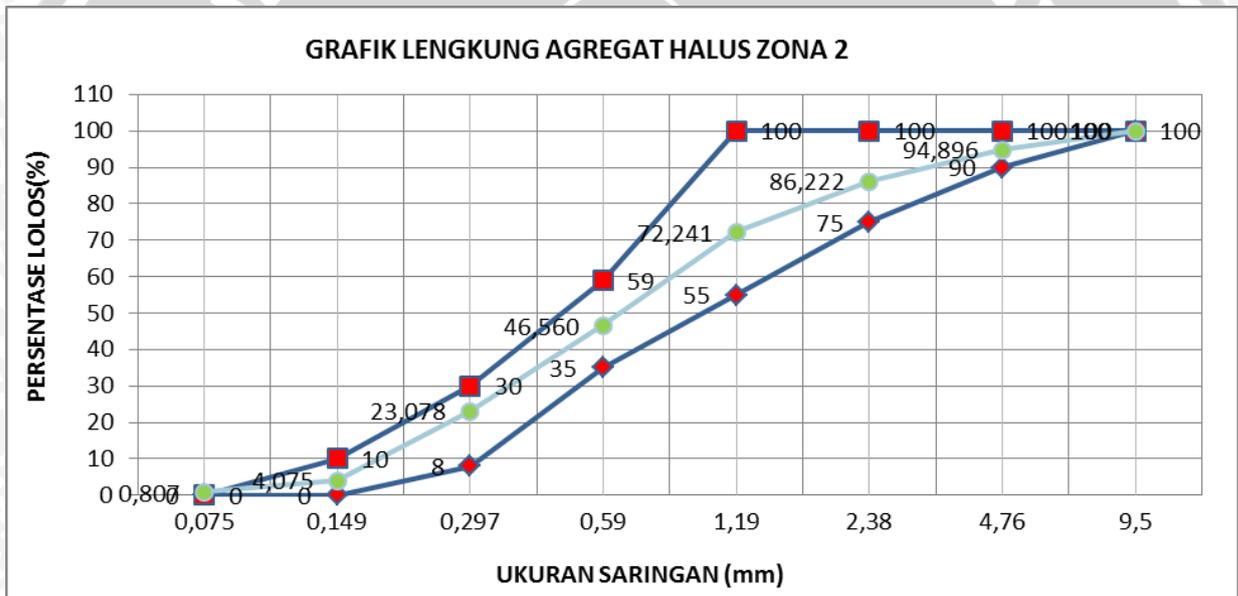
Tabel L.2 Hasil Pengujian Gradasi

Lubang Saringan		Pasir Tertinggal		%Kumulatif	
no	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2	-	-	-	-
2.5"	63,5	-	-	-	-
2"	50,8	-	-	-	-
1.5"	38,1	-	-	-	-
1"	25,4	-	-	-	-
3/4"	19,1	-	-	-	-
1/2"	12,7	-	-	-	-
3/8"	9,5	-	-	-	100,000
4	4,76	50,6	5,104	5,104	94,896
8	2,38	86	8,675	13,778	86,222
16	1,19	138,6	13,980	27,759	72,241
30	0,59	254,6	25,681	53,440	46,560
50	0,297	232,8	23,482	76,922	23,078
100	0,149	188,4	19,003	95,925	4,075
200	0,075	32,4	3,268	99,193	0,807
Pan		8	0,807	100,000	0,000
$\Sigma =$		<b>991,4</b>	100	472,120	

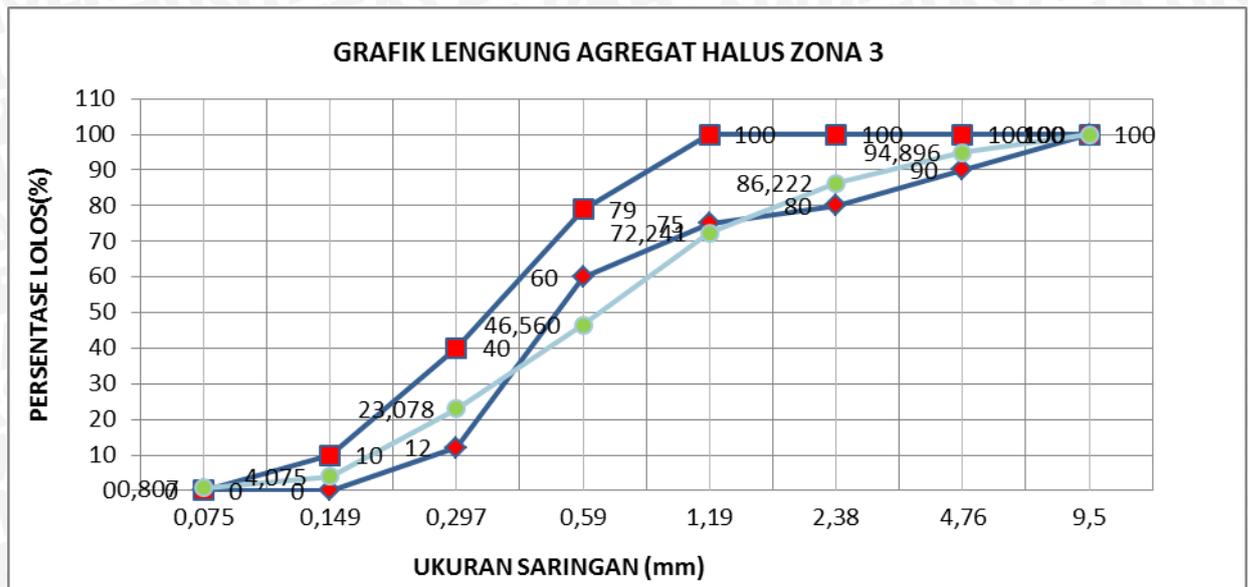
$$\begin{aligned} \text{Modulus halus pasir} &= \frac{\Sigma \% \text{ yang tertahanayakan no4 sampai no100}}{100} \\ &= \frac{272,927}{100} = 2,72927 \end{aligned}$$



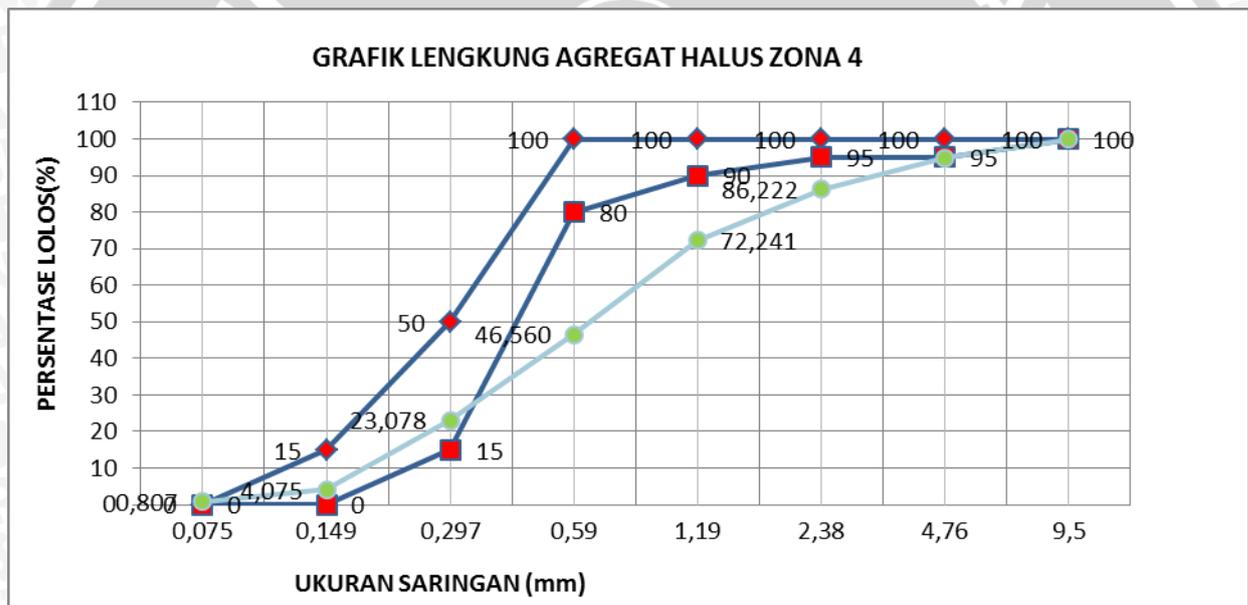
**Gambar L.2** Grafik lengkung ayakan pasir zona 1



**Gambar L.2.1** Grafik lengkung ayakan pasir zona 2



**Gambar L.2.2** Grafik lengkung ayakan pasir zona 3



**Gambar L.2.3** Grafik lengkung ayakan pasir zona 4

### Lampiran 3

Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

**Tabel L.3** Data Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

NOMOR CONTOH			A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	B <sub>j</sub>	(gr)	500
Berat benda uji kering oven	B <sub>k</sub>	(gr)	496,9
Berat piknometer + air	B	(gr)	665,9
Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (pd suhu kamar)	B <sub>t</sub>	(gr)	977,1

Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan:

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Curah} &= B_k / (B + 500 - B_t) \\ &= 496,9 / (665,9 + 500 - 977,1) \\ &= 2,632 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh} &= B_j / (B + 500 - B_t) \\ &= 500 / (665,9 + 500 - 977,1) \\ &= 2,648 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Semu} &= B_k / (B + B_k - B_t) \\ &= 496,9 / (665,9 + 500 - 977,1) \\ &= 2,676 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan} &= [(500 - B_k) / B_k] \times 100\% \\ &= [(500 - 496,9) / 496,9] \times 100\% \\ &= 0,62387\% \end{aligned}$$

**Tabel L.3.1** Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

NOMOR CONTOH		B
Berat Jenis Curah ( <i>Bulk Specific Gravity</i> )	$B_k / (B + 500 - B_t)$	2,632
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh ( <i>Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry</i> )	$500 / (B + 500 - B_t)$	2,648
Berat Jenis Semu ( <i>Apparent Specific Gravity</i> )	$B_k / (B + B_k - B_t)$	2,676
Penyerapan (%) ( <i>Absorption</i> )	$(500 - B_k) / B_k \times 100\%$	0,62387

## Lampiran 4

### Pengujian Kadar Air dan Berat Isi Agregat Halus

**Tabel L.4** Data dan Hasil Pengujian Kadar Air

			1	
			A	B
1	berat talam + contoh basah	(gr)	55,8	57,7
2	berat talam + contoh kering	(gr)	54,4	56,2
3	berat air = (1) - (2)	(gr)	0,4	1,5
4	berat talam	(gr)	5,2	5,2
5	berat contoh kering = (2) - (4)	(gr)	49,2	51
6	kadar air = (3) / (5)	(gr)	0,00813	0,02941
7	kadar air rata - rata	(%)	0,01877	

**Tabel L.4.1** Data dan Hasil Pengujian Berat Isi

1	Berat Takaran	(gr)	1620	1620
2	Berat takaran + air	(gr)	4760	4760
3	Berat Air = (2) - (1)	(gr)	3140	3140
4	Volume Air = (3) / (1)	(gr)	3140	3140
<b>CARA</b>			<b>RODDED</b>	<b>SHOVELED</b>
5	Berat Takaran	(gr)	1620	1620
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	6400	5920
7	Berat benda uji = (6) - (5)	(gr)	4780	4300
8	Berat isi agregat halus = (7) / (4)	(gr/cc)	1,52229	1,36943
9	Berat isi agregat halus rata - rata	(gr/cc)	<b>1,44586</b>	

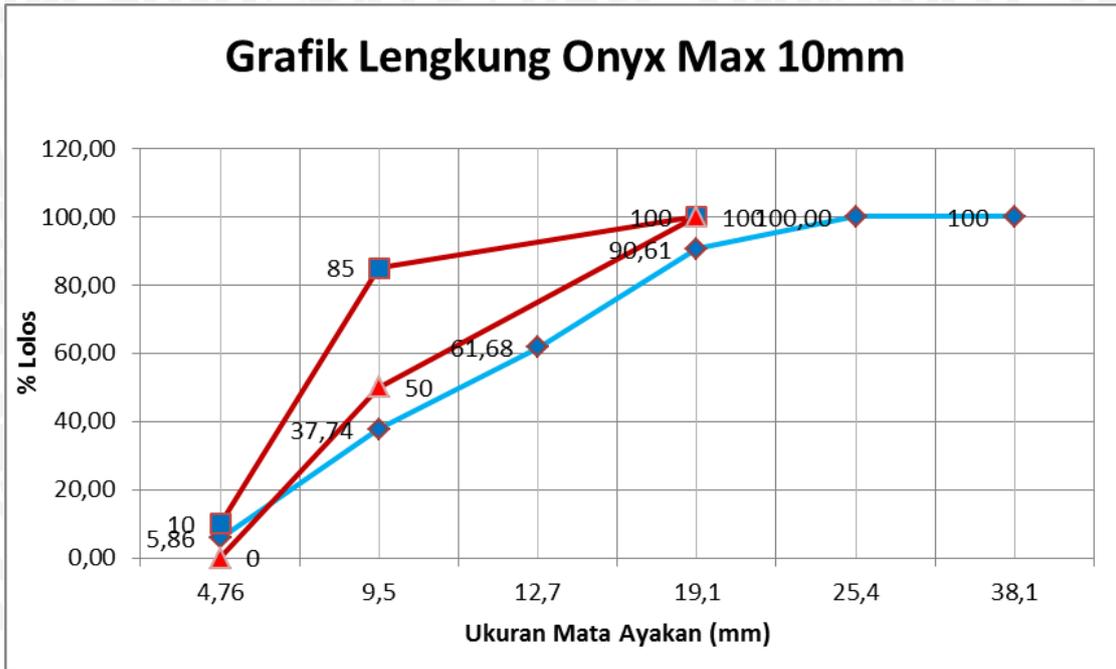
## Lampiran 5

Penguujian Gradasi Agregat Kasar Batu *Onyx*

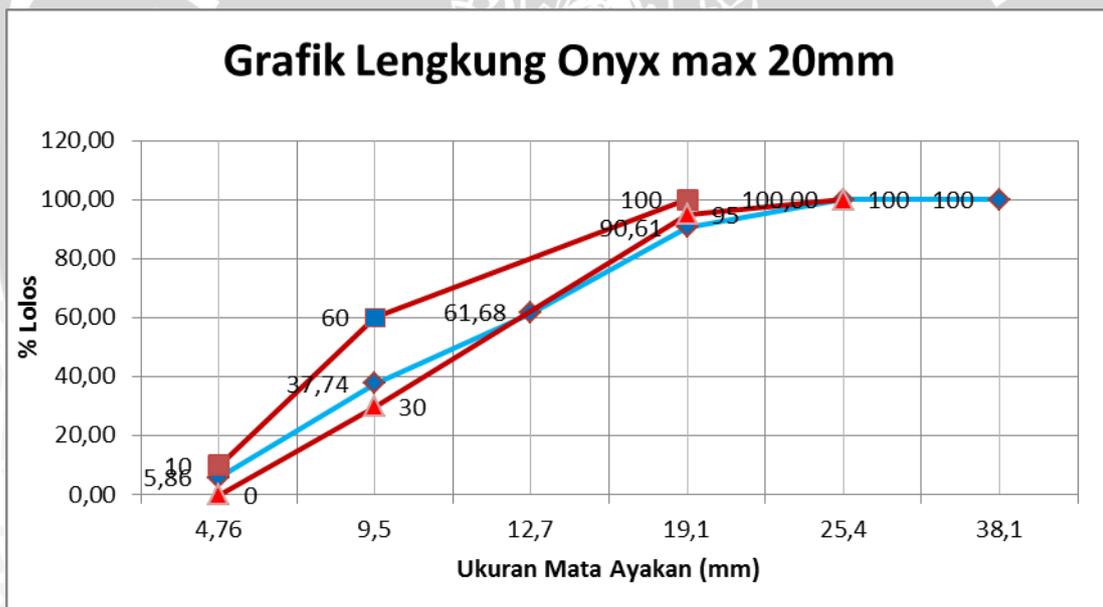
Tabel L.5 Hasil Penguujian Gradasi

Lubang Saringan		Kerikil			
		Tertinggal		%Kumulatif	
no	mm	kg	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2				
2.5"	63,5				
2"	50,8				
1.5"	38,1	0	0	0	100
1"	25,4	0	0,000	0,000	100,000
0.75"	19,1	129,92	9,390	9,390	90,610
0.5"	12,7	400,26	28,929	38,319	61,681
0.375"	9,5	331,21	23,938	62,257	37,743
4	4,76	441,07	31,878	94,136	5,864
8	2,38	0,00	0,000	100,000	0,000
16	1,19	0,00	0,000	100,000	0,000
20	0,85	0,00	0,000	100,000	0,000
50	0,297	0,00	0,000	100,000	0,000
100	0,149	0,00	0,000	100,000	0,000
200	0,075	0,00	0,000	100,000	0,000
Pan		81,14	5,864	100,000	0,000
Σ =		1383,6	100	904,102	

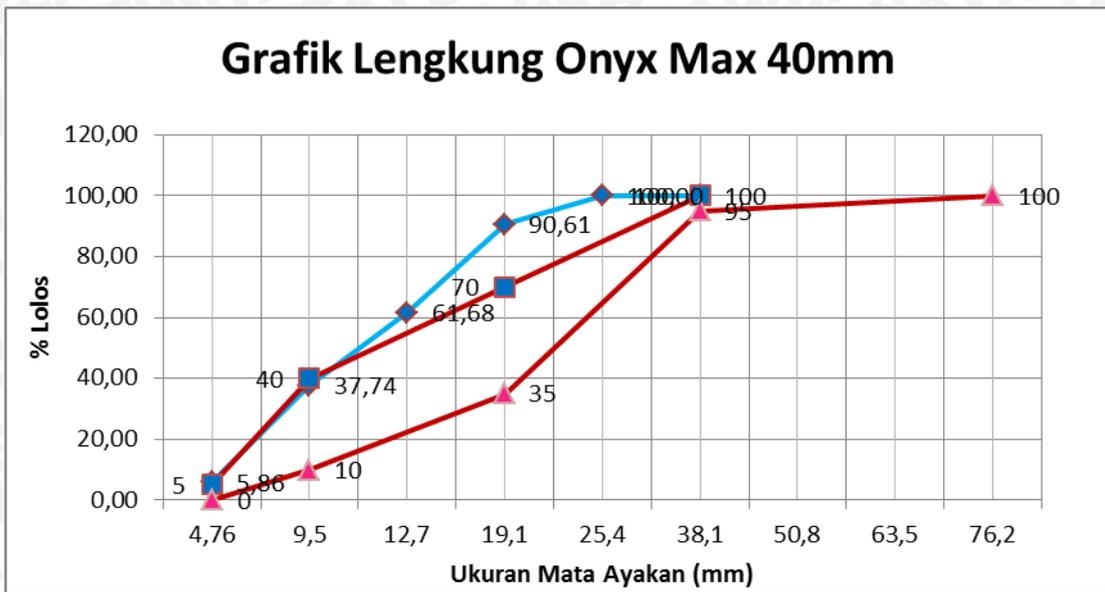
$$\begin{aligned} \text{Modulus halus agregat kasar} &= \frac{\Sigma \% \text{ yang tertahanayakan no } 3/4" + 3/8" \text{ sampaino } 100}{100} \\ &= \frac{665,783}{100} = 6,65783 \end{aligned}$$



Gambar L.5 Grafik lengkung ayakan kerikil maksimum 10 mm



Gambar L.5.1 Grafik lengkung ayakan kerikil maksimum 20 mm



**Gambar L.5.2** Grafik lengkung ayakan kerikil maksimum 40 mm



## Lampiran 6

Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Batu *Onyx*

**Tabel L.6** Data Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

Nomor Contoh			A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	B <sub>j</sub>	gr	1062,6
Berat benda uji kering oven	B <sub>k</sub>	gr	1053,5
Berat benda uji dalam air	B <sub>a</sub>	gr	658,8

Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan:

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Curah} &= B_k / (B_j - B_a) \\ &= 1053,5 / (1062,6 - 658,8) \\ &= 2,60896 \\ \text{Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh} &= B_j / (B_j - B_a) \\ &= 1062,6 / (1062,6 - 658,8) \\ &= 2,6315 \\ \text{Berat Jenis Semu} &= B_k / (B_k - B_a) \\ &= 1053,5 / (1053,5 - 658,8) \\ &= 2,66912 \\ \text{Penyerapan} &= [(B_j - B_k) / B_k] \times 100\% \\ &= [(1062,6 - 1053,5) / 1053,5] \times 100\% \\ &= 0,86379\% \end{aligned}$$

**Tabel L.6.1** Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

Nomor Contoh		B
Berat Jenis Curah ( <i>Bulk Specific Gravity</i> )	$B_k / (B_j - B_a)$	2,60896
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh ( <i>Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry</i> )	$B_j / (B_j - B_a)$	2,63150
Berat Jenis Semu ( <i>Apparent Specific Gravity</i> )	$B_k / (B_k - B_a)$	2,66912
Penyerapan (%) ( <i>Absorption</i> )	$(B_j - B_k) / B_k \times 100\%$	0,86379

## Lampiran 7

Penguujian Kadar Air dan Berat Isi Agregat Kasar Batu *Onyx*

Tabel L.7 Data dan Hasil Pengujian Kadar Air

			1	
			A	B
1	berat talam + contoh basah	(gr)	58,2	88
2	berat talam + contoh kering	(gr)	57,7	87,3
3	berat air = (1) - (2)	(gr)	0,5	0,7
4	berat talam	(gr)	5,2	5
5	berat contoh kering = (2) - (4)	(gr)	52,5	82,3
6	kadar air = (3) / (5)	(gr)	0,00952	0,00851
7	kadar air rata - rata	(%)	0,00901	

Tabel L.7.1 Data dan Hasil Pengujian Berat Isi

1	Berat Takaran	(gr)	1640	1640
2	Berat takaran + air	(gr)	4780	4780
3	Berat Air = (2) - (1)	(gr)	3140	3140
4	Volume Air = (3) / (1)	(gr)	3140	3140
		<b>CARA</b>	<b>RODDED</b>	<b>SHOVELED</b>
5	Berat Takaran	(gr)	1640	1640
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	6640	6300
7	Berat benda uji = (6) - (5)	(gr)	5000	4660
8	Berat isi agregat kasar = (7) / (4)	(gr/cc)	1,59236	1,48408
9	Berat isi agregat kasar rata - rata	(gr/cc)	<b>1,53822</b>	

## Lampiran 8

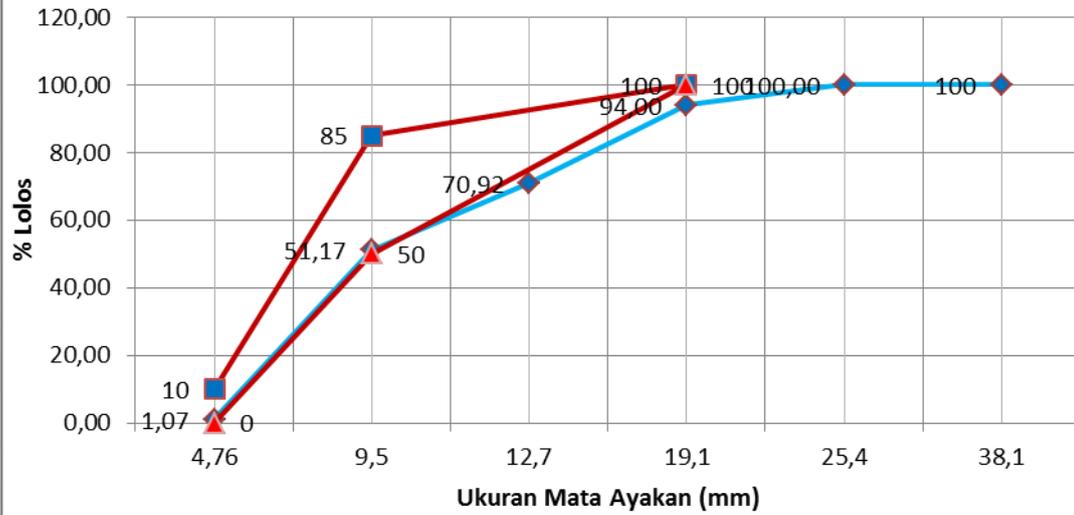
## Pengujian Gradasi Agregat Kasar Batu Pecah

Tabel L.8 Hasil Pengujian Gradasi

Lubang Saringan		Kerikil			
		Tertinggal		%Kumulatif	
no	mm	kg	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2				
2.5"	63,5				
2"	50,8				
1.5"	38,1	0	0	0	100
1"	25,4	0	0,000	0,000	100,000
0.75"	19,1	0,599	5,997	5,997	94,003
0.5"	12,7	2,306	23,085	29,082	70,918
0.375"	9,5	1,973	19,752	48,834	51,166
4	4,76	5,004	50,095	98,929	1,071
8	2,38	0,000	0,000	100,000	0,000
16	1,19	0,000	0,000	100,000	0,000
20	0,85	0,000	0,000	100,000	0,000
50	0,297	0,000	0,000	100,000	0,000
100	0,149	0,000	0,000	100,000	0,000
200	0,075	0,000	0,000	100,000	0,000
Pan		0,107	1,071	100,000	0,000
Σ =		9,989	100	882,841	

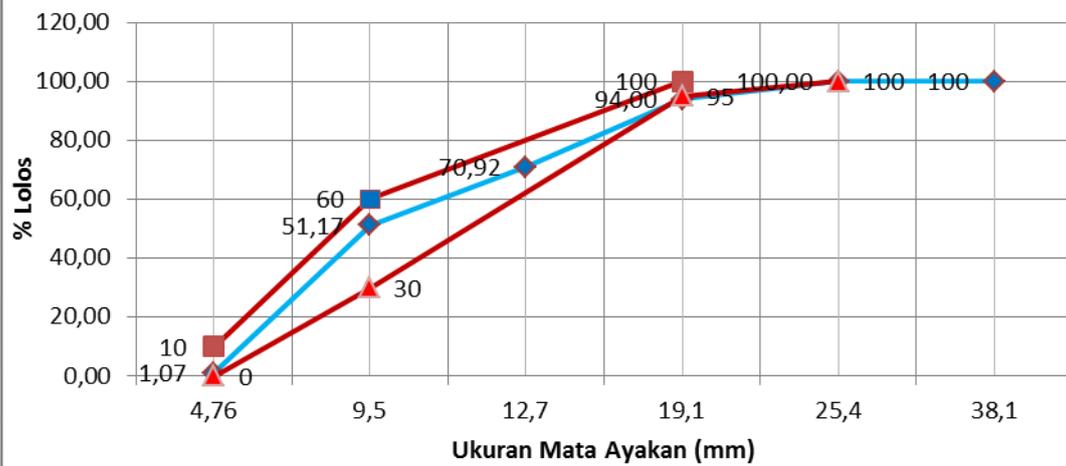
$$\begin{aligned} \text{Modulus halus agregat kasar} &= \frac{\Sigma \% \text{ yang tertahanayakan no } 3/4" + 3/8" \text{ sampai no } 100}{100} \\ &= \frac{653,759}{100} = 6,53759 \end{aligned}$$

### Grafik Lengkung Batu Pecah Max 10mm

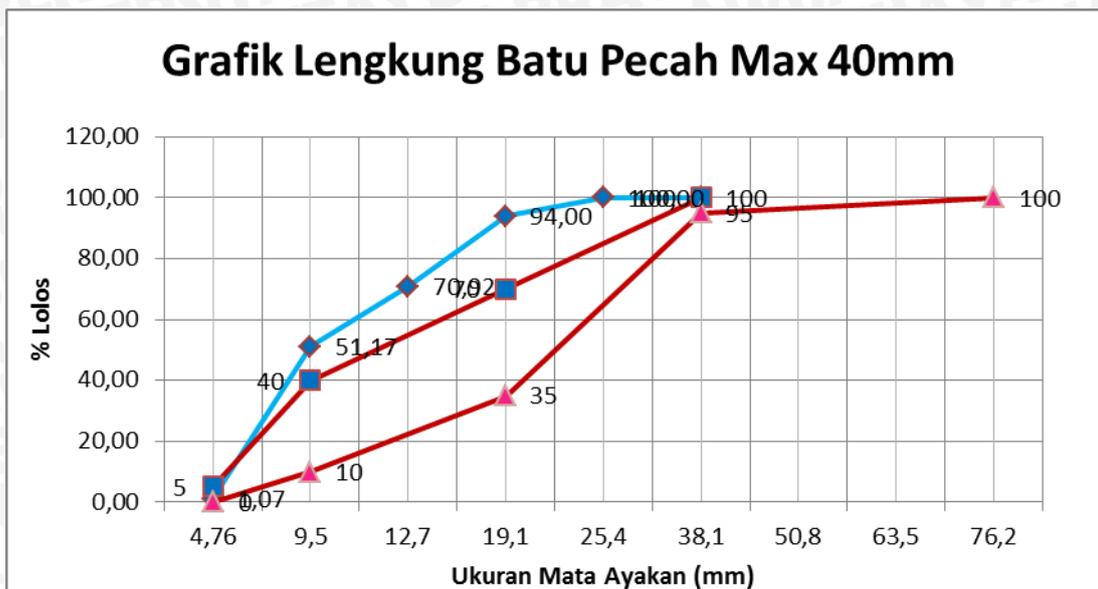


Gambar L.8 Grafik lengkung ayakan kerikil maksimum 10 mm

### Grafik Lengkung Batu Pecah max 20mm



Gambar L.8.1 Grafik lengkung ayakan kerikil maksimum 20 mm



Gambar L.8.2 Grafik lengkung ayakan kerikil maksimum 40 mm



## Lampiran 9

### Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Batu Pecah

**Tabel L.9** Data Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

Nomor Contoh			A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	B <sub>j</sub>	gr	1254,6
Berat benda uji kering oven	B <sub>k</sub>	gr	1240,1
Berat benda uji dalam air	B <sub>a</sub>	gr	770,4

Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan:

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Jenis Curah} &= B_k / (B_j - B_a) \\
 &= 1240,1 / (1254,6 - 770,4) \\
 &= 2,56113 \\
 \\
 \text{Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh} &= B_j / (B_j - B_a) \\
 &= 1254,6 / (1254,6 - 770,4) \\
 &= 2,59108 \\
 \\
 \text{Berat Jenis Semu} &= B_k / (B_k - B_a) \\
 &= 1240,1 / (1240,1 - 770,4) \\
 &= 2,6402 \\
 \\
 \text{Penyerapan} &= [(B_j - B_k) / B_k] \times 100\% \\
 &= [(1254,6 - 1240,1) / 1240,1] \times 100\% \\
 &= 1,16926\%
 \end{aligned}$$

**Tabel L.9.1** Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

Nomor Contoh		B
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$B_k / (B_j - B_a)$	2,56113
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	$B_j / (B_j - B_a)$	2,59108
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	$B_k / (B_k - B_a)$	2,64020
Penyerapan (%) (Absorption)	$(B_j - B_k) / B_k \times 100\%$	1,16926

### Lampiran 10

#### Pengujian Kadar Air dan Berat Isi Agregat Kasar Batu Pecah

**Tabel L.10** Data dan Hasil Pengujian Kadar Air

			1				
			A	B	C	D	E
1	berat talam + contoh basah	(gr)	91,4	63,9	78,5	88,4	85,4
2	berat talam + contoh kering	(gr)	88,1	61,2	77,6	87,4	81,3
3	berat air = (1) - (2)	(gr)	3,3	2,7	0,9	1	4,1
4	berat talam	(gr)	5,2	5,2	5,1	5,1	5,2
5	berat contoh kering = (2) - (4)	(gr)	82,9	56	72,5	82,3	76,1
6	kadar air = (3) / (5)	(gr)	0,0398	0,0482	0,0124	0,0122	0,0539
7	kadar air rata – rata	(%)	0,0440				

**Tabel L.10.1** Data dan Hasil Pengujian Berat Isi

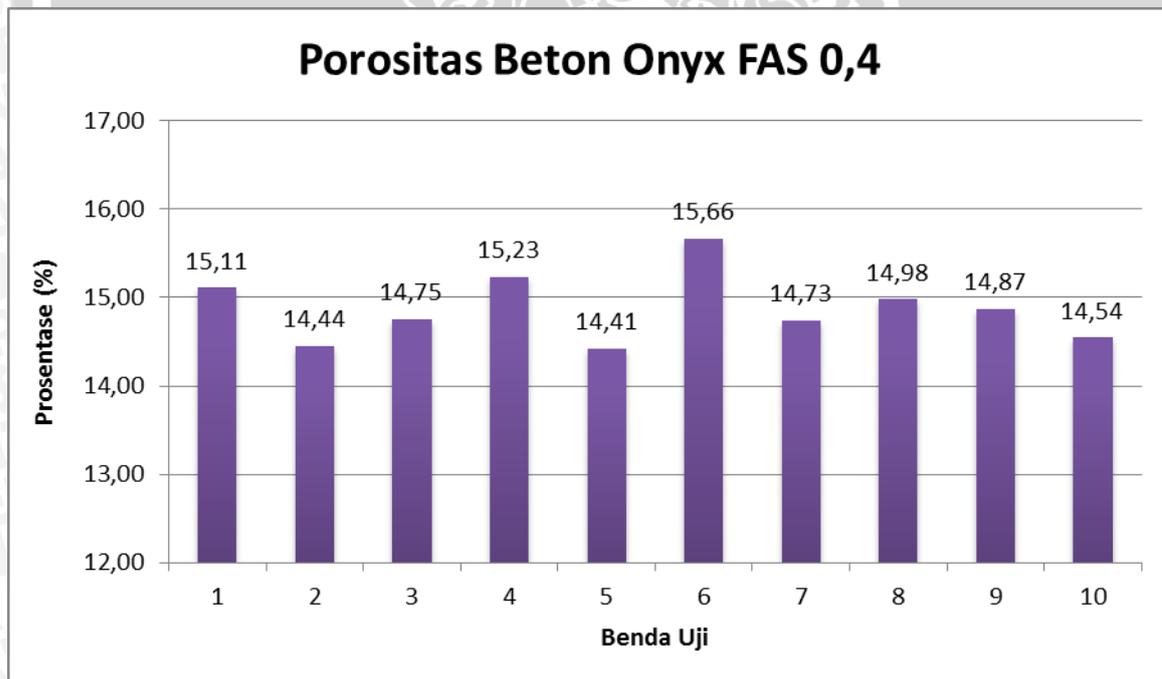
1	Berat Takaran	(gr)	1640	1640
2	Berat takaran + air	(gr)	4800	4800
3	Berat Air = (2) - (1)	(gr)	3160	3160
4	Volume Air = (3) / (1)	(gr)	3160	3160
		<b>CARA</b>	<b>RODDED</b>	<b>SHOVELED</b>
5	Berat Takaran	(gr)	1640	1640
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	6140	5780
7	Berat benda uji = (6) - (5)	(gr)	4500	4140
8	Berat isi agregat kasar = (7) / (4)	(gr/cc)	1,42405	1,31013
9	Berat isi agregat kasar rata - rata	(gr/cc)	<b>1,36709</b>	

## Lampiran 11

Hasil Pengujian Porositas

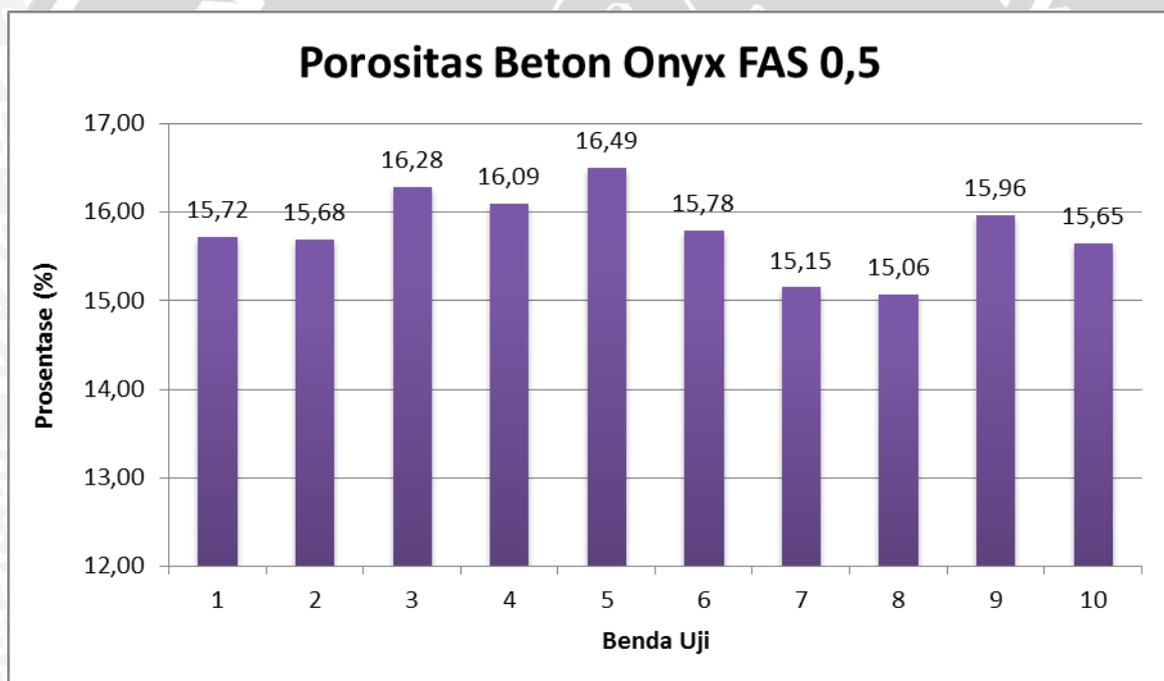
Tabel L.11 Hasil Pengujian Porositas Beton Batu *Onyx* dengan FAS 0,4

Benda Uji	Berat Benda uji (gr)			Porositas (%)
	di dalam Air (A)	kondisi SSD (B)	kering oven (C)	
A1	1379,2	2409,8	2254,1	15,11
A2	1395,4	2433,9	2283,9	14,44
A3	1442,0	2511,4	2353,7	14,75
A4	1359,2	2362,7	2209,9	15,23
A5	1469,4	2530,8	2377,8	14,41
A6	1382,1	2413,5	2252,0	15,66
A7	1375,7	2389,7	2240,3	14,73
A8	1389,0	2421,2	2266,6	14,98
A9	1395,1	2427,5	2274,0	14,87
A10	1363,9	2374,8	2227,8	14,54
Rata - Rata				14,87

Gambar L.11 Hasil Pengujian Porositas Beton Batu *Onyx* dengan FAS 0,4

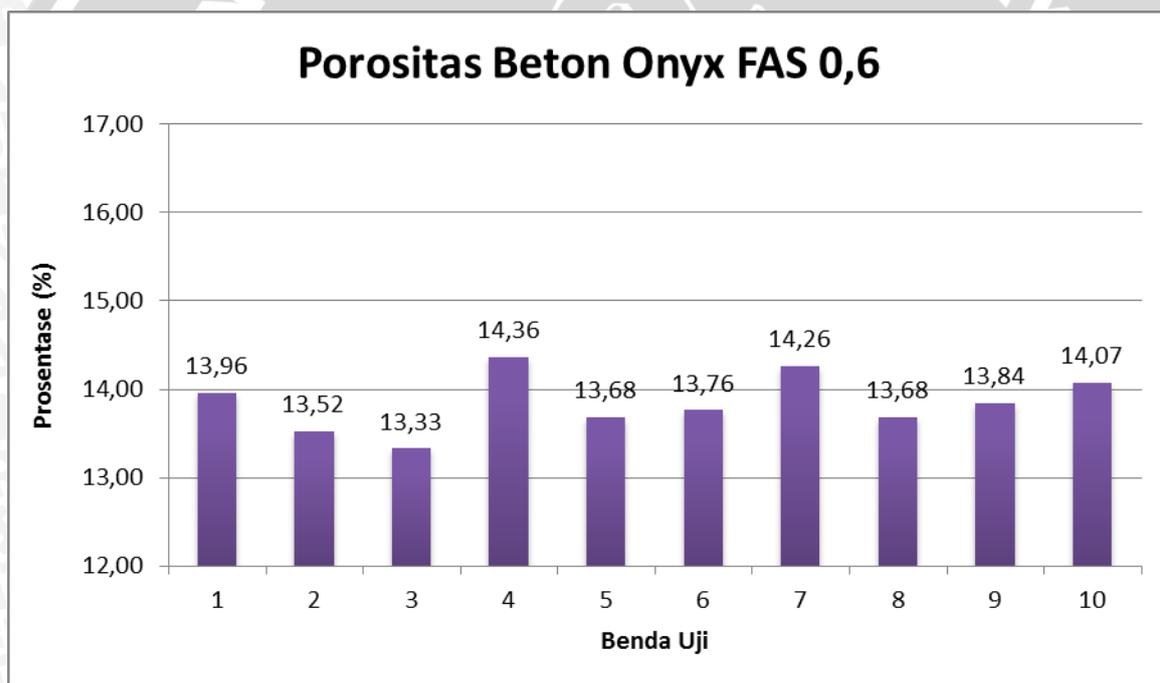
Tabel L.11.1 Hasil Pengujian Porositas Beton Batu *Onyx* dengan FAS 0,5

Benda Uji	Berat Benda uji (gr)			Porositas (%)
	di dalam Air (A)	kondisi SSD (B)	kering oven (C)	
B1	1405,8	2467,4	2300,5	15,72
B2	1371,6	2414,0	2250,5	15,68
B3	1324,9	2335,0	2170,6	16,28
B4	1340,0	2350,3	2187,7	16,09
B5	1350,8	2377,8	2208,4	16,49
B6	1361,7	2389,3	2227,1	15,78
B7	1375,9	2402,6	2247,1	15,15
B8	1334,2	2331,5	2181,3	15,06
B9	1366,2	2396,7	2232,2	15,96
B10	1386,3	2428,6	2265,5	15,65
Rata - Rata				15,79

Gambar L.11.1 Hasil Pengujian Porositas Beton Batu *Onyx* dengan FAS 0,5

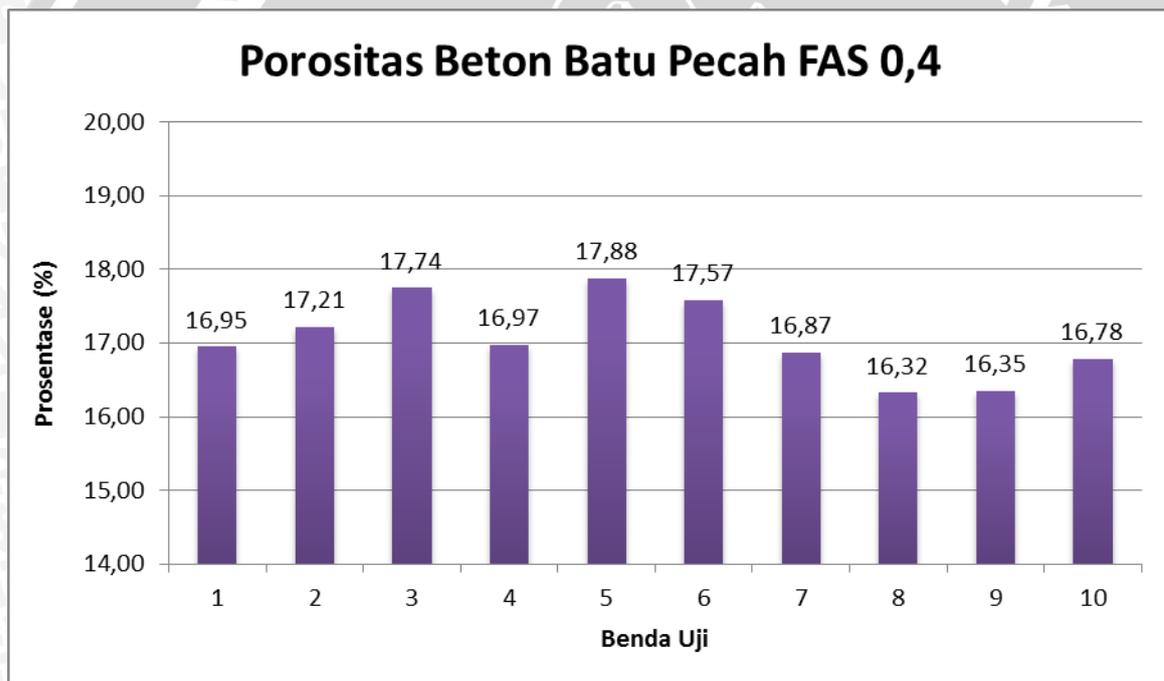
**Tabel L.11.2** Hasil Pengujian Porositas Beton Batu *Onyx* dengan FAS 0,6

Benda Uji	Berat Benda uji (gr)			Porositas (%)
	di dalam Air (A)	kondisi SSD (B)	kering oven (C)	
C1	1402,5	2437,5	2293,0	13,96
C2	1460,0	2530,5	2385,8	13,52
C3	1405,6	2425,4	2289,5	13,33
C4	1415,8	2464,9	2314,2	14,36
C5	1424,2	2469,5	2326,5	13,68
C6	1383,5	2392,8	2253,9	13,76
C7	1381,1	2400,3	2255,0	14,26
C8	1402,4	2428,8	2288,4	13,68
C9	1406,4	2438,6	2295,7	13,84
C10	1382,3	2398,1	2255,2	14,07
Rata - Rata				13,85

**Gambar L.11.2** Hasil Pengujian Porositas Beton Batu *Onyx* dengan FAS 0,6

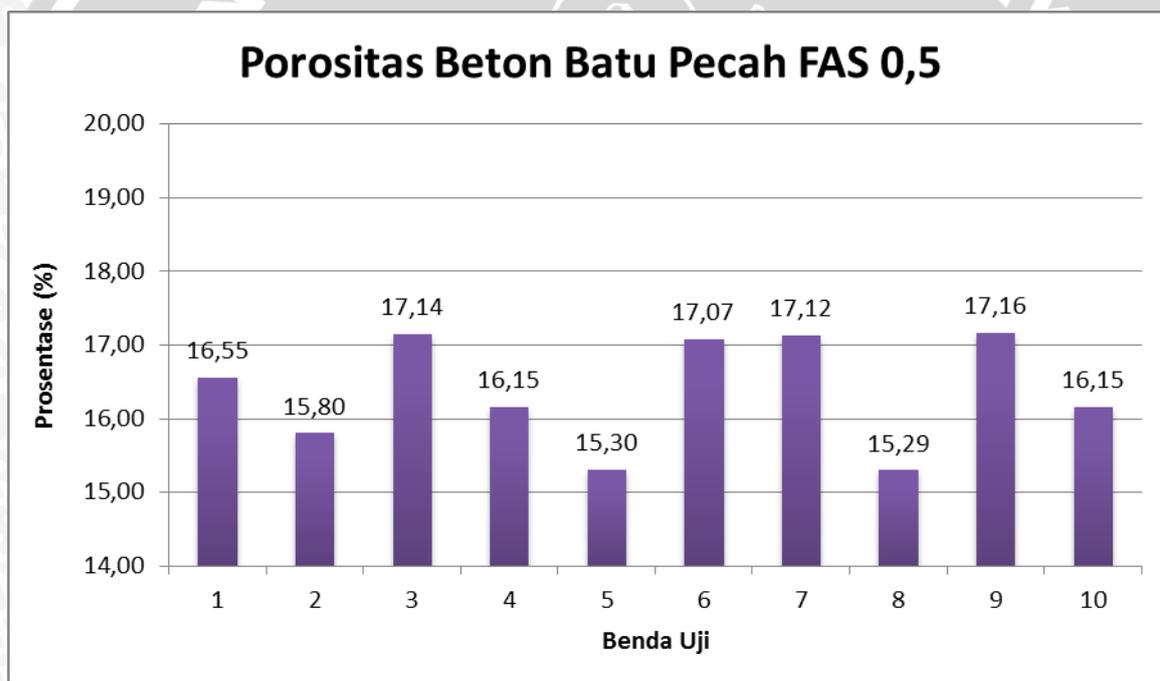
**Tabel L.11.3** Hasil Pengujian Porositas Beton Batu Pecah dengan FAS 0,4

Benda Uji	Berat Benda uji (gr)			Porositas (%)
	di dalam Air (A)	kondisi SSD (B)	kering oven (C)	
D1	1271,4	2303,4	2128,5	16,95
D2	1299,3	2338,7	2159,8	17,21
D3	1341,9	2410,4	2220,8	17,74
D4	1356,3	2451,4	2265,6	16,97
D5	1301,2	2337,8	2152,5	17,88
D6	1286,9	2323,6	2141,4	17,57
D7	1310,6	2374,1	2194,7	16,87
D8	1295,6	2313,8	2147,6	16,32
D9	1341,8	2396,4	2224,0	16,35
D10	1308,5	2349,1	2174,5	16,78
Rata - Rata				17,06

**Gambar L.11.3** Hasil Pengujian Porositas Beton Batu Pecah dengan FAS 0,4

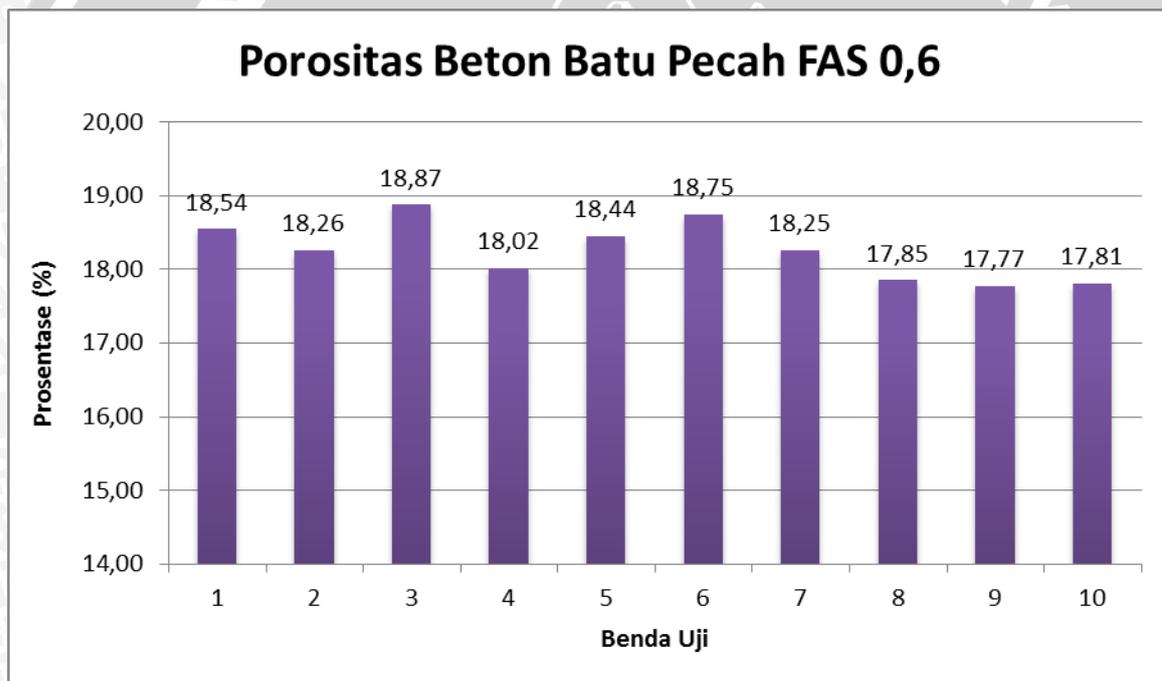
**Tabel L.11.4** Hasil Pengujian Porositas Beton Batu Pecah dengan FAS 0,5

Benda Uji	Berat Benda uji (gr)			Porositas (%)
	di dalam Air (A)	kondisi SSD (B)	kering oven (C)	
E1	1322,0	2383,9	2208,2	16,55
E2	1286,6	2333,0	2167,7	15,80
E3	1273,4	2292,9	2118,2	17,14
E4	1298,3	2349,1	2179,4	16,15
E5	1273,7	2303,3	2145,8	15,30
E6	1296,3	2322,6	2147,4	17,07
E7	1268,4	2296,4	2120,4	17,12
E8	1354,3	2480,9	2308,6	15,29
E9	1307,5	2377,4	2193,8	17,16
E10	1268,0	2316,0	2146,8	16,15
Rata - Rata				16,37

**Gambar L.11.4** Hasil Pengujian Porositas Beton Batu Pecah dengan FAS 0,5

**Tabel L.11.5** Hasil Pengujian Porositas Beton Batu Pecah dengan FAS 0,6

Benda Uji	Berat Benda uji (gr)			Porositas (%)
	di dalam Air (A)	kondisi SSD (B)	kering oven (C)	
F1	1249,8	2293,8	2100,2	18,54
F2	1235,5	2293,5	2100,3	18,26
F3	1225,6	2261,4	2065,9	18,87
F4	1279,7	2367,1	2171,2	18,02
F5	1270,3	2348,1	2149,3	18,44
F6	1330,6	2441,8	2233,5	18,75
F7	1289,6	2356,9	2162,1	18,25
F8	1293,4	2355,6	2166,0	17,85
F9	1250,6	2309,7	2121,5	17,77
F10	1273,0	2365,1	2170,6	17,81
Rata - Rata				18,26

**Gambar L.11.5** Hasil Pengujian Porositas Beton Batu Pecah dengan FAS 0,6

**Lampiran 12****Dokumentasi Lokasi Pengambilan Limbah Batu *Onyx*****Gambar L.12** Lokasi Pengambilan Limbah Batu *Onyx***Gambar L.12.1** Lokasi Tempat Pengambilan Limbah Batu *Onyx***Gambar L.12.2** Lokasi Tempat Pengambilan Limbah Batu *Onyx*

Dokumentasi Proses Persiapan dan Pembuatan Benda Uji



**Gambar L.12.3** Agregat Kasar Batu *Onyx*



**Gambar L.12.4** Air



**Gambar L.12.5** Semen dan Pasir



**Gambar L.12.6** Persiapan Pengecoran



**Gambar L.12.7** Pencampuran Semen, Pasir, Batu Onix, dan Air Pada Molen



**Gambar L.12.8** Beton Setelah Proses Pencampuran



**Gambar L.12.9** Proses Slump



**Gambar L.12.10** Cetakan Kubus



**Gambar L.12.11** Pelepasan Cetakan Setelah 24 jam



**Gambar L.12.12** Persiapan Cetakan

Dokumentasi Pengujian Benda Uji



**Gambar L.12.13** Pengovenan Benda Uji



**Gambar L.12.14** Penimbangan Benda Uji Setelah Dioven



Gambar L.12.15 Perendaman Benda Uji



Gambar L.12.16 Pengelapan Benda Uji



Gambar L.12.17 Penimbangan Benda Uji Setelah Dilap Permukaannya



**Gambar L.12.18** Persiapan Penimbangan Benda Uji di dalam Air



**Gambar L.12.19** Penimbangan Benda Uji di dalam Air