

JURNAL REKAYASA TEKNIK SIPIL

REKATS



UNESA

Universitas Negeri Surabaya



JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL	VOLUME: 01	NOMER: 01	HALAMAN: 201- 211	SURABAYA 2017	ISSN: 2252-5009
-------------------------------	---------------	--------------	----------------------	------------------	--------------------

JURUSAN TEKNIK SIPIL-FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA.

TIM EJOURNAL

Ketua Penyunting:

Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T

Penyunting:

1. Prof.Dr.E.Titiek Winanti, M.S.
2. Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T
3. Dr.Nurmi Frida DBP, MPd
4. Dr.Suparji, M.Pd
5. Hendra Wahyu Cahyaka, ST., MT.
6. Dr.Naniek Esti Darsani, M.Pd
7. Dr.Erina,S.T,M.T.
8. Drs.Suparno,M.T
9. Drs.Bambang Sabariman,S.T,M.T
10. Dr.Dadang Supryatno, MT

Mitra bestari:

1. Prof.Dr.Husaini Usman,M.T (UNJ)
2. Prof.Dr.Ir.Indra Surya, M.Sc,Ph.D (ITS)
3. Dr. Achmad Dardiri (UM)
4. Prof. Dr. Mulyadi(UNM)
5. Dr. Abdul Muis Mapalotteng (UNM)
6. Dr. Akmad Jaedun (UNY)
7. Prof.Dr.Bambang Budi (UM)
8. Dr.Nurhasanyah (UP Padang)
9. Dr.Ir.Doedoeng, MT (ITS)
10. Ir.Achmad Wicaksono, M.Eng, PhD (Universitas Brawijaya)
11. Dr.Bambang Wijanarko, MSi (ITS)
12. Ari Wibowo, ST., MT., PhD. (Universitas Brawijaya)

Penyunting Pelaksana:

1. Drs.Ir.Karyoto,M.S
2. Krisna Dwi Handayani,S.T,M.T
3. Arie Wardhono, ST., M.MT., MT. Ph.D
4. Agus Wiyono,S.Pd,M.T
5. Eko Heru Santoso, A.Md

Redaksi:

Jurusan Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya

Website: tekniksipilunesa.org

Email: REKATS

DAFTAR ISI

Halaman

TIM EJOURNAL.....	i
DAFTAR ISI.....	ii

- Vol 1 Nomer 1/rekat/17 (2017)

ANALISIS PENAMBAHAN *FLY ASH* TERHADAP DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF

Puspa Dewi Ainul Mala, Machfud Ridwan, 01 – 12

PEMANFAATAN SERAT KULIT JAGUNG SEBAGAI BAHAN CAMPURAN PEMBUATAN PLAFON ETERNIT

Dian Angga Prasetyo, Sutikno, 13 – 24

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT KULIT BAMBU PADA PLAFON GIPSUM DENGAN PEREKAT POLISTER

Tiang Eko Sukoko, Sutikno, 25 – 33

PENERAPAN SAMBUNGAN MEKANIS (METODE PEMBAUTAN) PADA BALOK DENGAN PERLETAKAN SAMBUNGAN $\frac{1}{2}$ PANJANG BALOK DITINJAU DARI KUAT LENTUR BALOK

Hehen Suhendi, Sutikno, 34 – 38

STUDI KELAYAKAN EKONOMI DAN FINANSIAL RENCANA PELEBARAN JALAN TOL WARU-SIDOARJO

Reynaldo B. Theodorus Tampang Allo, Mas Suryanto HS, 39 – 48

PENGARUH SUBSTITUSI *FLY ASH* DAN PENAMBAHAN SERBUK CANGKANG KERANG DARAH PADA KUALITAS GENTENG BETON

Mohamad Ari Permadi, Sutikno, 49 – 55

PENGARUH PENAMBAHAN *SLAG* SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK *MARSHALL* DAN PERMEABILITAS PADA CAMPURAN PANAS (*HOT MIX*) ASPAL PORUS

Rifky Arif Laksono, Purwo Mahardi, 56 – 64

ANALISA PEMANFAATAN LIMBAH *STYROFOAM* SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI KE DALAM ASPAL PENETRASI 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL PORUS

Taufan Gerri Noris, Purwo Mahardi, 65 – 70

ANALISIS PERSEDIAAN MATERIAL PADA PEMBANGUNAN PROYEK *MY TOWER HOTEL & APARTMENT* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *MATERIAL REQUIREMENT PLANNING* (MRP)

Tri Wahyuni, Arie Wardhono, 71 – 85

ANALISIS KECELAKAAN KERJA DENGAN MENGGUNAKAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS* PADA PROYEK PEMBANGUNAN APARTEMENT GRAND SUNKONO LAGOON SURABAYA

Great Florentino Miknyo Hendarich, Karyoto, 86 - 100

PEMANFAATAN *SLAG* BAJA SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI AGREGAT HALUS PADA PEMBUATAN *PAVING BLOCK*

Arifin Kurniadi, Sutikno, 101 - 106

PENERAPAN *E-PROCUREMENT* PADA PROSES PENGADAAN PEKERJAAN KONSTRUKSI DI UNIT LAYANAN PENGADAAN PEMERINTAH KABUPATEN GRESIK

Anastastia Ria Utami, Hendra Wahyu Cahyaka, 107 - 116

PENGARUH PENAMBAHAN SULFUR TERHADAP KARAKTERISTIK *MARSHALL* DAN PERMEABILITAS PADA ASPAL BERPORI

Qurratul Ayun, Purwo Mahardi, 117 - 122

PENGARUH PENAMBAHAN DINDING GESER PADA PERENCANAAN ULANG GEDUNG FAVE HOTEL SURABAYA <i>Irwan Wahyu Wicaksana, Sutikno,</i>	123 - 128
PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK (PET) TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL DAN PERMEABILITAS PADA ASPAL BERPORI <i>Rizky Putra Ramadhan, Purwo Mahardi,</i>	129 - 135
PENGARUH TREATMENT LUMPUR LAPINDO TERHADAP MUTU BATU BATA BAHAN LUMPUR LAPINDO BERDASARKAN SNI 15-2094-2000 <i>Ah. Yazidun Ni'am, Arie Wardhono,</i>	136 - 143
ANALISIS PRODUKTIVITAS <i>TOWER CRANE</i> PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG TUNJUNGAN PLAZA 6 SURABAYA <i>Sofia Dewi Amalia, Didiek Purwadi,</i>	144 - 155
ANALISIS PENAMBAHAN LIMBAH MARMER TERHADAP DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DI DAERAH DRIYOREJO GRESIK <i>Machfid Ridwan, Falaq Karunia Jaya,</i>	156 - 166
ANALISA PRODUKTIVITAS KELOMPOK KERJA PADA PEMASANGAN DINDING BATA RINGAN DI PROYEK PERUMAHAN <i>Loga Geocahya Pratama, Sutikno,</i>	167 - 181
ANALISA PRODUKTIVITAS KELOMPOK KERJA PADA PEMASANGAN GENTENG ATAP METAL DI PROYEK PERUMAHAN <i>Siti Komariyah, Hasan Dani,</i>	182 - 191
PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH KARBIT TERHADAP DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DI DAERAH DRIYOREJO GRESIK <i>Nur Fauzan, Nur Andajani,</i>	192 - 200

PEMANFAATAN BAHAN TAMBAH *POZZOLAN* LUMPUR SIDOARJO SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN
DENGAN AGREGAT *PUMICE* PADA KUAT TEKAN DAN POROSITAS BETON RINGAN

Dwi Kurniawan, Arie Wardhono, 201 - 211



PEMANFAATAN BAHAN TAMBAH *POZZOLAN* LUMPUR SIDOARJO SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN DENGAN AGREGAT *PUMICE* PADA KUAT TEKAN DAN POROSITAS BETON RINGAN

Dwi Kurniawan

Mahasiswa S1 Teknik Sipil, Teknik Sipil,
Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
akrey13@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini membahas tentang pemanfaatan limbah lumpur Sidoarjo sebagai bahan *pozzolan* untuk mengurangi semen dan menggunakan agregat *pumice* untuk mereduksi berat isi beton menjadi beton ringan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menemukan pengaruh dan kadar optimum pemanfaatan bahan tambah *pozzolan* Lumpur Sidoarjo sebagai substitusi semen dengan agregat *pumice* pada kuat tekan dan porositas beton ringan.

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium dengan total benda uji 36 buah. Variasi bahan tambah *Pozzolan* Lumpur Sidoarjo sebagai substitusi semen sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% dari berat semen. Pengolahan lumpur Sidoarjo dengan cara pengeringan oven pada suhu 110 °C, selanjutnya digiling dan diayak hingga menghasilkan bubuk halus *pozzolan* seperti semen selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan dan porositas. Proses pengujian kuat tekan menggunakan metode kapasitas hancur, sedangkan pengujian porositas dengan cara pengeringan oven, perendaman dan pengeringan kondisi kering permukaan jenuh. Pengujian kuat tekan dan porositas dilakukan pada umur 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan pada variasi Beton Ringan Normal (BRN) sebagai kontrol kuat tekan sebesar 14,43 N/mm² dan porositas sebesar 8,47%. Penambahan variasi *pozzolan* lumpur Sidoarjo 2% dan 4% mempunyai pengaruh peningkatan kuat tekan menjadi 15,12 N/mm² dan 19,57 N/mm² serta penurunan porositas menjadi 7,61% dan 3,21%. Pada penambahan variasi *pozzolan* lumpur Sidoarjo 6%, 8% dan 10% cenderung mempunyai pengaruh penurunan kuat tekan menjadi 17,53 N/mm², 16,68 N/mm² dan 16,00 N/mm² serta peningkatan porositas menjadi 5,50%, 8,51% dan 9,86%. Kadar optimum penambahan *pozzolan* lumpur Sidoarjo terhadap kuat tekan tertinggi dan porositas terendah terjadi pada variasi 4% diperoleh kuat tekan sebesar 19,57 N/mm² dan porositas sebesar 3,21%.

Kata Kunci : beton ringan, kuat tekan, lumpur sidoarjo, porositas, *pozzolan*, *pumice*

Abstract

This research talk about utilization of waste sidoarjo mud as a *pozzolan* to reduce cement and use the aggregate *pumice* to reduce the heavy concretes into lightweight concrete The purpose of this research is to find the influence and optimum value of utilization of *pozzolan* admixture material sidoarjo mud as a cement substitution with *pumice* aggregate in compressive strength and porosity of lightweight concrete

In this research uses experimental methods in the laboratory with a total test objects 36. Material variations added *pozzolan* sidoarjo mud as the substitution of cement as much as 0%, 2%, 4% , 6% , 8 % and a 10% percent of the weight of a cement . The processing of sidoarjo mud were drying oven on 110 °C temperature, then grounding and sifting to produce fine *pozzolan* powder likes cement. The testing of process compressive strength in a capacity destroyed, while testing porosity by means of drying oven, soaking and drying dry conditions saturated surface dry. The testing process of compressive strength and porosity has done for 28 days.

The result showed normal variations of lightweight concrete as them compressive strength by 14,43 N/mm² and porosity of 8,47 %. Adding more variation *pozzolan* Sidoarjo mud 2% and 4% have leverage increased compressive strength into 15,12 N/mm² and 19,57 N/mm² and reducing porosity be 7,61 % and 3,21 % . To adding variation *pozzolan* mud sidoarjo % 6, 8 and 10 % % tend to influence the compressive press strength 17,53 N/mm², 16,68 N/mm² and 16,00 N/mm² and improve porosity be 5,50 %, 8,51 % and 9,86 % . The steady additional *pozzolan* sidoarjo mud of highest compressive strength and the lowest porosity is upon variations 4 % obtained compressive strength by 19,57 N/mm² and porosity of 3,21 % .

Keywords: lightweight concrete, compressive strength, sidoarjo mud, porosity, *pozzolan*, *pumice*.

PENDAHULUAN

Beton adalah bahan komposit yang merupakan campuran antara semen, agregat (kasar dan halus) dan air, yang mengeras menjadi benda padat sesuai fungsi waktu. Kelebihan beton diantaranya adalah kuat menahan tekanan dan kemudahannya untuk dibentuk, menjadikannya sebagai bahan konstruksi yang banyak digunakan dalam struktur bangunan. Salah satu kelemahan beton adalah berat sendirinya yang cukup besar, disebabkan oleh agregat yang menempati (60 - 75%) dari volume total beton apabila dibandingkan dengan bahan campuran beton yang lain (Astanto, 2001). Semakin tinggi bangunan tersebut berat bangunan itu sendiri semakin besar, hal ini banyak sekali menimbulkan kerugian. Salah satu cara untuk dapat mengurangi berat dari bangunan tersebut adalah mengganti bata merah konvensional dengan bata ringan.

Salah satu cara untuk mereduksi berat isi yang cukup besar ini, yaitu dengan cara mengganti agregat normal dengan agregat ringan, baik yang diperoleh dari alam atau buatan dan hasilnya disebut beton ringan (*Lightweight Concrete*). Meskipun biaya per volume beton ringan lebih tinggi tetapi karena beratnya yang ringan menyebabkan pengurangan dimensi struktur, sehingga secara keseluruhan akan memberikan biaya yang lebih rendah. Salah satu alternatif agregat kasar ringan yang bisa digunakan dalam beton ringan yaitu batu apung (*pumice stone*).

Secara tradisional batu apung sering dipakai sebagai agregat kasar pada campuran beton untuk pembuatan elemen struktur ringan seperti panel dinding dan *paving block*. Pemakaiannya yang terbatas dan dengan memperhatikan potensi ketersediaan menunjukkan bahwa batu apung belum dimanfaatkan secara optimal (Raka, Tripriyo dan Tavio, 2010). Berdasarkan studi pemanfaatan batu apung dengan komposisi 100% dan Faktor air semen (Fas) sebesar 0,35 mendapatkan kuat tekan sebesar 17,48 MPa (Nugroho, 2012).

Semakin meningkatnya jumlah kebutuhan produksi beton dalam dunia konstruksi, mengakibatkan

peningkatan kebutuhan material penyusun beton (Astanto, 2001). Salah satu material penyusun beton adalah semen. Semen berfungsi sebagai bahan pengikat antar agregat dimana dalam penggunaannya sangat mutlak ada dalam setiap konstruksi beton. Hal ini menimbulkan, semakin meningkatnya pemakaian semen membuat semakin menipisnya ketersediaan bahan baku semen menuntut ditemukannya suatu bahan baru yang berfungsi untuk menggantikan peran semen. Alternatif yang dapat digunakan guna mengatasi masalah tersebut yaitu memanfaatkan limbah industri luapan lumpur Sidoarjo yang dimanfaatkan menjadi bahan *pozzolan*.

Peristiwa luapan lumpur panas hingga saat ini masih menyisakan dampak terhadap lingkungan di sekitar lokasi yang harus dicari alternatif jalan keluarnya. Salah satunya yaitu dengan memanfaatkan lumpur tersebut menjadi bahan *pozzolan* yang berguna dengan menjadikan sebagai bahan bangunan. Darminto (2011) berpendapat bahwa, "lumpur Sidoarjo merupakan zat mampat yang belum dimanfaatkan secara optimal dan apabila dioptimalkan akan bernilai jual tinggi, seperti halnya pasir besi, batu kapur, atau silika. lumpur Sidoarjo merupakan *pozzolan* yang cukup reaktif dan bersifat asam karena mengandung senyawa SiO_2 sebanyak 51,49 % dan senyawa Al_2O_3 sebanyak 25,25% yang merupakan unsur utama pembuatan semen, sehingga lumpur Sidoarjo memenuhi syarat-syarat untuk digunakan sebagai pengganti semen (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2002)

Menurut Setiawan (2012), dengan variasi penambahan abu sekam padi 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% terhadap batu apung (*pumice*) dengan umur benda uji 28 hari, didapatkan hasil kuat tekan rata-rata beton ringan dengan agregat *pumice* 100% adalah 15,77 MPa. Menurut Yuli (2012), dengan substitusi serbuk halus lumpur Sidoarjo kering tungku sebesar 5% dari berat semen terjadi peningkatan kuat tekan beton normal sebesar 10% yaitu dari 22,41 MPa menjadi 32,54 MPa (Yuli, 2012). Penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan kajian peneliti pedahulu dengan melihat kelemahan yang dimiliki agregat *pumice* dari segi kuat

tekannya dari peneliti pendahulu Muhammad Rifky (2011) dan pemanfaatan lumpur Sidoarjo yang dapat meningkatkan kualitas beton normal dari peneliti pendahulu Yuli, (2012).

Pemanfaatan agregat *Pumice* dan bahan tambah *pozzolan* lumpur Sidoarjo diharapkan mampu sebagai alternatif penggunaan agregat kasar ringan alami dalam campuran beton ringan dan memanfaatkan limbah lumpur Sidoarjo sebagai bahan *pozzolan* substitusi semen untuk pengisi (*filler*) dari beton ringan. Kelebihan yang dimiliki agregat *pumice* dan lumpur Sidoarjo diperoleh kadar optimum dan dicari pengaruhnya bahan tambah *Pozzolan* lumpur Sidoarjo sebagai substitusi semen pada kuat tekan dan porositas beton ringan.

Penelitian ini memberikan rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pemanfaatan bahan tambah *pozzolan* lumpur Sidoarjo sebagai substitusi semen dengan agregat *pumice* pada kuat tekan beton ringan?
2. Bagaimana pengaruh pemanfaatan bahan tambah *pozzolan* lumpur Sidoarjo sebagai substitusi semen dengan agregat *pumice* pada porositas beton ringan?
3. Berapa komposisi optimum bahan tambah *Pozzolan* lumpur Sidoarjo sebagai substitusi semen pada kuat tekan dan porositas beton ringan?

Penelitian yang dilaksanakan memiliki tujuan untuk:

1. Menemukan pengaruh pemanfaatan bahan tambah *pozzolan* lumpur Sidoarjo substitusi semen dengan agregat *pumice* pada kuat tekan beton ringan.
2. Menemukan pengaruh pemanfaatan bahan tambah *pozzolan* lumpur sebagai substitusi semen dengan agregat *pumice* pada porositas beton ringan.
3. Memperoleh kadar optimum bahan tambah *Pozzolan* lumpur Sidoarjo sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan dan porositas beton ringan.

Penelitian ini memiliki manfaat adalah secara fisik Lumpur Sidoarjo dapat digunakan menjadi bahan *pozzolan* sebagai substitusi semen melalui tahapan proses pengolahan berdasarkan SNI 06-6867-2002 dan secara kimiawi kandungan lumpur Sidoarjo termasuk kategori

bahan *pozzolan* tipe F sesuai ASTM C618-86. Agregat *pumice* dapat digunakan sebagai agregat material alternatif pengganti agregat kasar kerikil pada campuran beton ringan khususnya daerah yang memiliki keterbatasan sumber daya material seperti Nusa Tenggara Barat.

Dalam penelitian ini, berikut batasan – batasan yang perlu diperhatikan adalah:

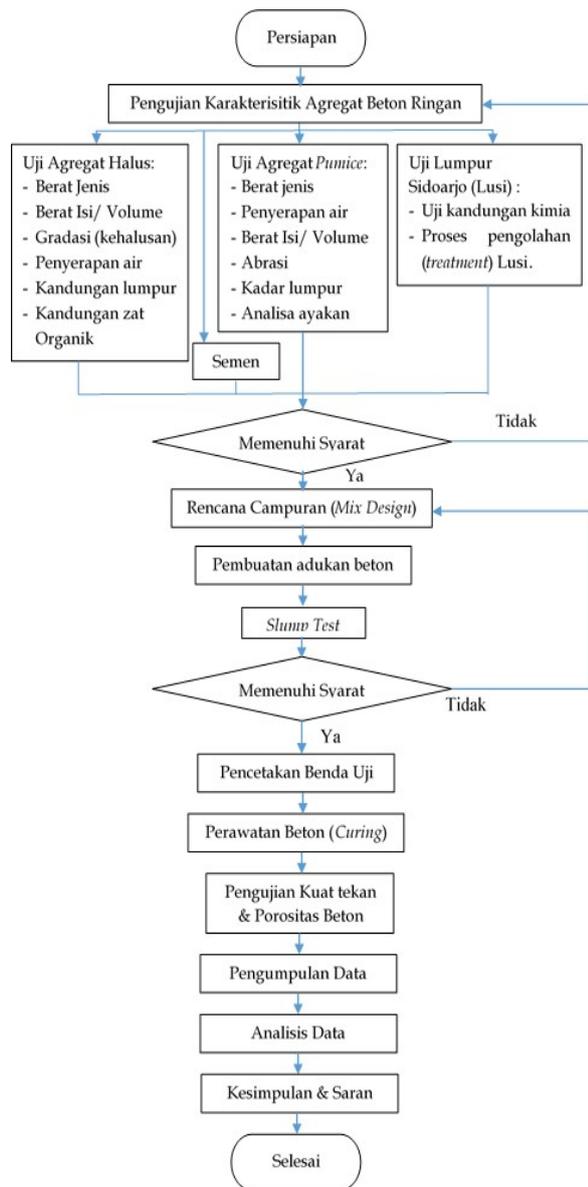
1. Menggunakan mutu beton $f'c$ 16,60 MPa (K200)
2. Pengolahan lumpur Sidoarjo dipanaskan (oven) dengan suhu 110°C untuk mengeringkan dan menghilangkan air lumpur Sidoarjo yang masih basah.
3. Semen yang digunakan adalah semen portland tipe I dari PT. Raja Beton Indonesia.
4. *Pozzolan* lumpur Sidoarjo didapat dari hasil penyaringan yang sudah dihaluskan (lolos ayakan no.200)
5. Pasir Lumajang dan bahan aditif superplastisizer tipe F yang diperoleh dari PT. Merak Jaya Beton
6. Benda uji yang digunakan adalah silinder beton ukuran 10 cm x 20 cm dengan pengujian kuat tekan dan porositas beton ringan.
7. Kadar optimum dalam batasan penelitian dengan variasi bahan tambah *Pozzolan* lumpur Sidoarjo sebagai substitusi semen adalah mendapatkan hasil kuat tekan tertinggi dan porositas terendah.
8. Substitusi *Pozzolan* lumpur Sidoarjo yang digunakan sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% dari berat semen.
9. Agregat *pumice* diperoleh dari pulau Lombok Nusa Tenggara Barat (NTB) dengan ukuran 5 – 10 mm.

METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan proses yang dilakukan secara bertahap, yakni dari proses persiapan, pemeriksaan bahan, rancangan mix design, pembuatan adukan beton, slump, pencetakan dan curing, pengujian dan pengumpulan data, analisis data, kesimpulan dan saran. Berikut ini merupakan

flow chart rancangan penelitian dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 1. Flowchart penelitian

B. Sasaran Penelitian

Sasaran penelitian ini adalah dengan variasi bahan tambah *pozzolan* Lumpur Sidoarjo (Lusi) sebagai substitusi semen dengan agregat *pumice* dan perencanaan mutu *mix design* kuat tekan $f'c$ 16,6 MPa maka diharapkan ada pengaruh peningkatan kualitas beton ringan dari segi mutu dan porositas beton ringan. Berdasarkan jenis konstruksi dalam aplikasi beton ringan diharapkan penelitian ini dapat mencapai tujuan beton ringan struktural dimana kuat tekan

minimum sesuai SK SNI 03-3449-2002 adalah 17,24 MPa dan dapat mengatasi permasalahan dalam suatu kawasan seperti NTT dan NTB yang memiliki sumber daya material terbatas untuk diaplikasikan pada pekerjaan struktur pondasi, balok, kolom dan pelat pada pembangunan rumah tinggal sederhana.

C. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang akan diuji pengaruhnya terhadap tingkah laku yang terjadi dimana sengaja dipelajari pengaruhnya dan nilainya mempengaruhi variabel terikat. Dalam penelitian ini adalah prosentase bahan tambah *Pozzolan* Lumpur Sidoarjo (Lusi) sebagai substitusi semen pada campuran beton ringan.

2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang menjadi akibat dari variabel bebas yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini adalah kuat tekan dan porositas beton ringan.

3. Variabel Kontrol (*Control Variable*)

Variabel kontrol adalah variabel -yang mencakup semua variabel yang dikendalikan dalam penelitian, hal-hal yang dikendalikan dalam penelitian ini adalah:

- Faktor air semen.
- Agregat Kasar (*Pumice*)
- Tipe semen (*Ordinary Portland Cement*)
- Agregat Halus (Pasir Lumajang)

D. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik eksperimen, yaitu mengumpulkan data dengan cara menguji atau mengukur objek yang diuji selanjutnya mencatat data-data yang diperlukan. Parameter yang dikumpulkan dalam pengujian kuat tekan meliputi nama benda uji, berat benda uji dalam satuan kilogram (kg), Gaya tekan aksial dinyatakan dalam Newton (N), Luas penampang melintang benda uji, dinyatakan dalam

mm², dan Kuat tekan beton dengan benda uji silinder, dinyatakan dalam MPa atau N/mm². Alat uji kuat tekan menggunakan alat *Testing Bluhm & Feuerherdt GmbH – Berlin* dengan kapasitas 2000 kN.

Parameter yang dikumpulkan dalam pengujian porositas meliputi berat kering oven benda uji (-kg) yang dilambangkan dengan rumus A, berat beton jenuh air setelah pendidihan (kg) yang dilambangkan dengan rumus C, berat beton dalam air (kg) yang dilambangkan dengan rumus D, dan porositas benda uji (%) yang dilambangkan dengan rumus n. Alat uji porositas meliputi timbangan *Digital Sonic A12E* kapasitas 150 kg dan alat timbangan dalam air *Baby Spring Scale SKR* kapasitas 7 kg.

E. Rencana Campuran *Mix Design*

Metode yang digunakan dalam perencanaan *mix design* adalah ACI (*American Concrete Institute*). Dalam Penelitian ini menggunakan kuat tekan rencana $f'c$ 16,60 MPa atau setara dengan K200 dan digunakan benda uji 10 x 20 cm. Pada pembuatan jumlah benda uji untuk setiap variasi prosentase kandungan lumpur berjumlah 6 buah benda uji. Proses pembuatan adukan beton menggunakan alat *mixing process* dengan spesifikasi kapasitas isi 60 kg, drum speed 24-25 rpm dan drum volume 450 liter. Rencana kebutuhan material benda uji yang dibuat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan Material per m³ $f'c$ 16,60 MPa

Nama Benda Uji	Lusi (kg)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Agregat Pumice (kg)	Air (kg)	Aditif Tipe F (kg)
BRN	0	450	838	382	155	3.15
BRL2	9	441				
BRL4	18	432				
BRL6	27	423				
BRL8	36	414				
BRL10	45	405				

F. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data menggunakan deskriptif kuantitatif. Teknik analisis data ini, dilakukan dengan cara menelaah data yang diperoleh dari eksperimen, dimana hasilnya berupa data kuantitatif yang akan

dibuat dalam bentuk tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafis.

Untuk menganalisa pengaruh variasi prosentase Lumpur Sidoarjo (Lusi) terhadap kuat tekan dan porositas beton ringan yang terjadi dengan cara:

1. Menganalisa pengaruh hubungan prosentase lumpur sidoarjo (lusi) dengan kuat tekan ($f'c$). untuk menentukan nilai kuat tekan dapat dihitung menggunakan rumus menurut SNI 1974:2011 sebagai berikut:

$$\text{Kuat Tekan Beton} : \frac{P}{A}$$

Keterangan:

P : Gaya tekan aksial dalam Newton (N)

A : Luas penampang benda uji dalam mm².

2. Menganalisa pengaruh hubungan prosentase lumpur sidoarjo (lusi) dengan porositas (n). untuk menentukan nilai porositas dapat dihitung menggunakan rumus menurut ASTM C 642 - 90 sebagai berikut:

$$n = \frac{C - A}{C - D} \times 100\%$$

Keterangan :

n : Porositas benda uji (%);

A : Berat kering oven benda uji (kg)

C : Berat beton jenuh air setelah pendidihan (kg)

D : Berat beton dalam air (kg).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Kebutuhan Rancang Campur

Rancang Campur (*Mix Design*) dimaksudkan untuk menentukan banyaknya perbandingan material beton guna mendapatkan mutu beton yang sesuai dengan permintaan pengecoran. Metode yang digunakan dalam perencanaan *mix design* adalah ACI (*American Concrete Institute*).

Rencana *mix design* digunakan untuk membuat benda uji setiap variasi sejumlah 6 buah cetakan silinder berukuran 10 x 20 cm. berikut perhitungan kebutuhan material untuk 1 buah benda uji akan

diuraikan dibawah ini dengan penambahan faktor keamanan sebesar 20% guna mengantisipasi kehilangan material adukan. Rencana kebutuhan material untuk 6 buah benda uji yang dibuat dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kebutuhan material 6 buah benda uji

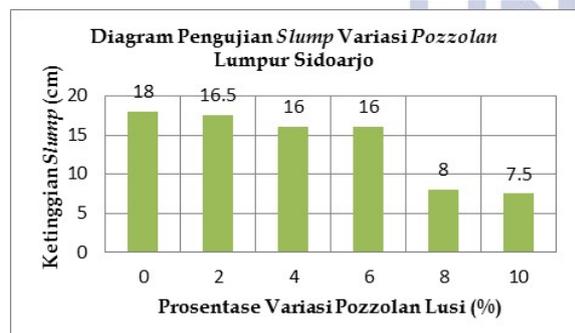
Nama Benda Uji	Lusi (kg)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Agregat Pumice (kg)	Air (kg)	Aditif Tipe F (kg)	Jumlah Benda Uji (bh)
BRN	0.00	5.10	9.48	4.32	1.75	0.036	6
BRL2	0.12	4.98					6
BRL4	0.18	4.92					6
BRL6	0.30	4.80					6
BRL8	0.40	4.70					6
BRL10	0.51	4.59					6
Total Benda Uji Kuat Tekan dan Porositas							36

2. Hasil Pengujian Slump

Pengujian *slump* dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*) beton dengan variasi *pozzolan* lusi. Proses pengujian *slump* mengacu pada ASTM C 134. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian *slump*

No	Nama Benda Uji	Variasi Pozzolan Lusi (%)	Slump (cm)
1	BRN	0	18
2	BRL2	2	16.5
3	BRL4	4	16
4	BRL6	6	16
5	BRL8	8	8
6	BRL10	10	7.5



Gambar 2. Diagram Uji *Slump* dengan Variasi *Pozzolan* Lusi

Hasil pengujian *slump* dengan variasi *pozzolan* lusi menunjukkan semakin bertambahnya variasi *pozzolan* lusi maka semakin berkurangnya ketinggian *slump* yang terjadi. Hal ini terjadi karena

menurut *Basic Design PLS* secara fisik lumpur sidoarjo memiliki porositas rata – rata 20 – 30 %, sehingga semakin tinggi variasi lusi yang diberikan maka daya serap air pada lusi semakin tinggi pula membuat tingkat kehilangan air pada beton semakin besar (www.bpls.go.id).

3. Hasil Pengujian Berat Jenis Beton Ringan

Pengujian berat jenis beton ringan dimaksudkan untuk mengetahui hasil berat aktual pada benda uji setelah pengecoran guna mengontrol dengan ketentuan berat jenis beton ringan pada ASTM tidak boleh lebih dari 1920 kg/m³. Hasil pengujian berat jenis beton ringan dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian Berat Jenis Beton Ringan

No	Nama kode Benda Uji	Berat Silinder (Kg)	Berat Jenis (Kg/m ³)	Berat Rata-rata (Kg/m ³)
1	BRN 0	BRN 1	2.81	1792.99
2		BRN 2	2.93	
3		BRN 3	2.82	
4	BRL2 2	BRL2.1	2.88	1802.55
5		BRL2.2	2.97	
6		BRL2.3	2.78	
7	BRL4 4	BRL4.1	2.93	1843.95
8		BRL4.2	2.86	
9		BRL4.3	2.86	
10	BRL6 6	BRL6.1	2.89	1834.39
11		BRL6.2	2.87	
12		BRL6.3	3.00	
13	BRL8 8	BRL8.1	2.81	1821.66
14		BRL8.2	2.86	
15		BRL8.3	2.86	
16	BRL10 10	BRL10.1	2.88	1819.53
17		BRL10.2	2.82	
18		BRL10.3	2.87	

Pada tabel 4 diatas terlihat bahwa, berat benda uji beton ringan maksimum terdapat pada variasi BRL6.3 sebesar 1910,83 kg/m³. Sedangkan berat benda uji beton ringan minimum terdapat pada variasi BRN1 dan BRL2.3 masing – masing sebesar 1789.81 kg/m³ dan 1770,70 kg/m³. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semua benda uji termasuk dalam kategori beton ringan, karena berdasarkan ASTM C330 beton ringan memiliki berat maksimum adalah 1920 kg/m³.

4. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mendapatkan nilai f'_c yaitu kuat tekan beton mutu f'_c 16,60 MPa atau K200 yang diinginkan. Pelaksanaan pengujian kuat tekan beton berdasarkan standard ASTM C.39, *Standard Test Method of Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Instrument alat uji tekan menggunakan "Testing Bluhm & Feuerherdt GmbH – Berlin" di PT. Merak Jaya Beton dengan kapasitas beban maksimum 2000 KN. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian Kuat Tekan Beton Ringan

No	Nama Variasi	Variasi Lusi (%)	Nama Kode Benda Uji	Kuat Tekan U - 28 Hari (N/mm ²)	Rata - Rata Kuat Tekan (N/mm ²)
1	BRN	0	BRN 1	14.69	14.43
2			BRN 2	13.68	
3			BRN 3	14.93	
4	BRL2	2	BRL2.1	16.09	15.12
5			BRL2.2	14.14	
6			BRL2.3	13.48	
7	BRL4	4	BRL4.1	18.88	19.57
8			BRL4.2	21.69	
9			BRL4.3	18.14	
10	BRL6	6	BRL6.1	17.06	17.53
11			BRL6.2	17.34	
12			BRL6.3	18.19	
13	BRL8	8	BRL8.1	15.34	16.68
14			BRL8.2	19.16	
15			BRL8.3	15.53	
16	BRL10	10	BRL10.1	18.10	16.00
17			BRL10.2	15.87	
18			BRL10.3	16.12	

Berdasarkan tabel 5 diatas, terlihat hasil kuat tekan terendah terdapat pada Beton ringan Normal variasi BRL2.3 yaitu sebesar 13,48 N/mm². Hal ini terjadi karena pada variasi BRL2.3 benda uji hanya bisa menahan beban sebesar 106.650 N dan ditinjau dari pelaksanaan rojokan yang tidak rata terlihat dibagian atas permukaan beton ringan yang sedikit berlubang. Sedangkan hasil kuat tekan tertinggi terdapat pada Beton ringan Lusi 4% variasi BRL4.2 yaitu sebesar 21,69 N/mm². Hal ini disebabkan, karena pada variasi BRL4.2 benda uji mampu menahan beban sebesar 166.200 N dan benda uji yang

memiliki diameter 98,8 mm sehingga membuat hasil luas permukaan silinder sebesar 7662,73 mm².

Selanjutnya, untuk mengetahui pola perubahan yang terjadi Berikut diagram hubungan hasil pengujian kuat tekan dengan variasi lumpur Sidoarjo akan disajikan pada gambar 3.



Gambar 4. Hasil Kuat Tekan Beton Ringan

Pada gambar 3 diatas variasi Beton Ringan Normal (BRN) sebagai kontrol atau acuan dalam penelitian. Pengujian kuat tekan menunjukkan pada variasi BRN mempunyai nilai kuat tekan rata – rata sebesar 14,43 N/mm². Selanjutnya, pada variasi BRL2 mempunyai nilai kuat tekan rata – rata sebesar 15,12 N/mm² dan variasi BRL4 mempunyai nilai kuat tekan rata – rata sebesar 19,57 N/mm² menunjukkan adanya pengaruh peningkatan kuat tekan beton ringan variasi BRL2 dan BRL4 masing – masing sebesar 4,71% dan 35,58% terhadap BRN.

Hal ini terjadi, karena semakin meningkatnya kandungan SiO₂ dari *pozzolan* lumpur Sidoarjo sebesar 2% dan 4% mampu mengisi pori – pori pada campuran beton ringan, sehingga mengakibatkan berat jenis beton rata – rata variasi BRL2 dan BRL4 lebih tinggi sebesar 4,25 kg/m³ menjadi 1832,27 kg/m³ dan 15,92 kg/m³ menjadi 1843,95 kg/m³ terhadap BRN menjadikan beton ringan menjadi lebih padat. Selain itu menurut Wiryasa, Wawan (2009) besarnya kandungan SiO₂ berfungsi sebagai bahan pengisi yang juga didukung kandungan CaO yang berfungsi dalam proses pengikatan atau perekatan sehingga mampu menjaga keterikatan antar material.

Selanjutnya, pada variasi BRL6 mempunyai nilai kuat tekan rata – rata sebesar 17,53 N/mm², variasi BRL8 mempunyai nilai kuat tekan rata – rata sebesar 16,68 N/mm² dan variasi BRL10 mempunyai nilai kuat tekan rata – rata sebesar 16,00 N/mm². Setelah mencapai kondisi optimum pada BRL4, adanya pengaruh penurunan kuat tekan variasi BRL6, BRL8 dan BRL10 masing – masing sebesar 10,42%, 14,80% dan 18,27% terhadap BRL4. Secara kimiawi, menurut wiryasa, wawan (2009) menurunnya kuat tekan terjadi karena kecilnya kandungan CaO yang dimiliki oleh *pozzolan* lumpur Sidoarjo menyebabkan menurunnya keterikatan antara material sehingga proses pengikatan atau perekatan pada semen menjadi berkurang.

5. Hasil Pengujian Porositas

Pengujian dan perhitungan nilai porositas dilakukan berdasarkan ASTM C 642 – 90. Pada penelitian ini, instrument alat uji yang digunakan meliputi alat oven “mimmert” kapasitas maksimum suhu 110°C, alat timbangan *Digital Sonic* A12E kapasitas 150 kg dan alat timbangan dalam air *Baby Spring Scale* SKR kapasitas 7 kg. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian Porositas Beton Ringan

No	Nama Variasi	Variasi Lusi (%)	Nama Kode Benda Uji	Porositas ((C-A)/(C-D)x100% (%))	Porositas Rata - rata (%)
1	BRN	0	BRN 1	8.54	8.47
2			BRN 2	8.23	
3			BRN 3	8.64	
4	BRL2	2	BRL2.1	6.67	7.61
5			BRL2.2	8.93	
6			BRL2.3	7.22	
7	BRL4	4	BRL4.1	3.61	3.21
8			BRL4.2	3.61	
9			BRL4.3	2.40	
10	BRL6	6	BRL6.1	5.52	5.37
11			BRL6.2	5.10	
12			BRL6.3	5.49	
13	BRL8	8	BRL8.1	9.32	8.78
14			BRL8.2	8.54	
15			BRL8.3	8.48	
16	BRL10	10	BRL10.1	9.58	9.86
17			BRL10.2	10.43	
18			BRL10.3	9.58	

Berdasarkan tabel 6 diatas, terlihat hasil porositas tertinggi terdapat pada Beton ringan Normal variasi BRL10.2 yaitu sebesar 10,43%. Hal ini terjadi karena pada tabel 4.10 rekapitulasi data porositas menunjukkan variasi BRL10.1 mempunyai daya serap tinggi terhadap air, hal ini disebabkan hasil berat kering oven sebesar 2,71 kg dan berat kering permukaan sebesar 2,85 kg sehingga terdapat kehilangan air yang besar.

Sedangkan hasil porositas terendah terdapat pada Beton ringan Lusi 4% variasi BRL4.3 yaitu sebesar 2,40%. Hal ini terjadi karena pada tabel 4.10 rekapitulasi data porositas menunjukkan variasi BRL4.1 mempunyai daya serap air yang rendah, hal ini disebabkan hasil berat kering oven sebesar 2,93 kg dan berat kering permukaan sebesar 2,97 kg sehingga beton ringan hanya sedikit kehilangan air.

Selanjutnya, untuk mengetahui pola perubahan yang terjadi. Berikut grafik hubungan hasil pengujian porositas dengan variasi lumpur Sidoarjo akan disajikan pada gambar 4



Gambar 4. Hasil Porositas Beton Ringan

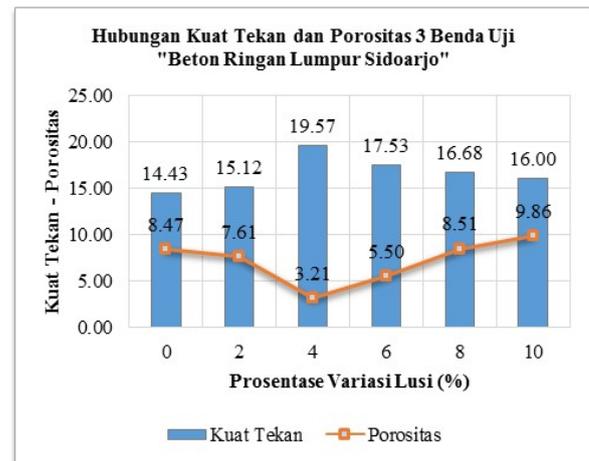
Pada variasi BRN ini, hasil pengujian porositas sebagai acuan atau kontrol mempunyai nilai porositas rata – rata sebesar 8,47%. Selanjutnya, pada variasi BRL2 dan BRL4 mempunyai nilai porositas rata – rata masing – masing sebesar 7,61% dan 3,21%.

Menunjukkan adanya pengaruh penurunan porositas masing – masing sebesar 10,19% dan 62,12% terhadap BRN. Hal ini terjadi karena, semakin meningkatnya kandungan SiO₂ dari *pozzolan* lumpur Sidoarjo sebesar 2% dan 4% mampu mengisi pori – pori pada campuran beton ringan, sehingga mengakibatkan berat jenis beton rata – rata variasi BRL2 dan BRL4 lebih tinggi sebesar 9,55 kg/m³ menjadi 1802,55 kg/m³ dan 50,96 kg/m³ menjadi 1843,95 kg/m³ terhadap BRN menjadikan beton ringan menjadi lebih padat. Selain itu menurut Wiryasa, Wawan (2009) besarnya kandungan SiO₂ berfungsi sebagai bahan pengisi yang juga didukung kandungan CaO yang berfungsi dalam proses pengikatan atau perekatan sehingga mampu menjaga keterikatan antar material.

Selanjutnya, pada variasi BRL6, BRL8 dan BRL10 menunjukkan adanya pengaruh peningkatan porositas masing – masing sebesar 71,59%, 165,29% dan 207,47% terhadap kondisi optimum BRL4. Hal ini terjadi karena semakin meningkatnya pori – pori pada campuran beton ringan, mengakibatkan berat jenis beton rata – rata variasi BRL6 menurun sebesar 9,55 kg/m³ menjadi 1834,39 kg/m³ terhadap BRL4, berat jenis beton rata – rata variasi BRL8 menurun sebesar 22,29 kg/m³ menjadi 1821,66 kg/m³ terhadap BRL4 dan berat jenis beton rata – rata variasi BRL10 menurun sebesar 24,42 kg/m³ menjadi 1819,53 kg/m³ terhadap BRL4. Hal tersebut menjadikan beton ringan cenderung memiliki ruang atau pori didalamnya, sehingga dapat menurunkan kuat tekan beton ringan.

6. Analisa Hubungan Pengaruh Kuat Tekan dan Porositas

Berikut akan disajikan grafik hubungan pengaruh kuat tekan dan porositas beton ringan pada gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Beton Ringan Lumpur Sidoarjo

Secara teoritik hubungan atau korelasi antara porositas terhadap kuat tekan beton berbanding terbalik yaitu semakin tinggi porositas beton maka semakin rendah kuat tekan beton yang dihasilkan begitu pula sebaliknya. Meningkatnya nilai porositas menunjukkan bahwa beton memiliki pori yang cukup besar akibat terjadinya penguapan air dan pemuaihan material pengisi beton. Hal ini merupakan salah satu penyebab turunya kualitas beton dalam memikul beban, khususnya kemampuan beton dalam memikul beban tekan. (Retno Anggraini, 2008).

Berdasarkan uraian hubungan dan kajian peneliti pendahulu diatas hal ini selaras dengan hasil yang diperoleh pada penelitian menunjukkan bahwa semakin meningkatnya variasi *pozzolan* lumpur Sidoarjo (lusi) sampai penambahan sebesar 4% semakin meningkat pula kuat tekan yang dihasilkan dan berbanding terbalik dengan hasil porositas yang semakin menurun pada variasi BRL2 dan mencapai kondisi optimum pada BRL4.

Selanjutnya, berdasarkan gambar 5 diatas setelah mencapai batas optimum kuat tekan tertinggi dan porositas terendah pada variasi BRL4 menunjukkan adanya pengaruh penambahan lusi sebesar 6% sampai 10% cenderung mengalami penurunan kuat tekan dan berbanding terbalik dengan meningkatnya porositas beton ringan.

Dari uraian diatas dapat diperoleh kandungan optimum penambahan *pozzolan* lusi dengan kuat tekan tertinggi dan porositas terendah adalah pada variasi BRL4 yaitu sebesar 19,57 N/mm² dan 3,21%. Sehingga, dengan adanya penambahan variasi *pozzolan* lusi sebesar 2% dan 4% mempunyai pengaruh terhadap peningkatan kuat tekan dan penurunan porositas hingga mencapai kondisi optimum beton. Sedangkan, sebaliknya pada variasi penambahan lusi sebesar 6%, 8% dan 10% mempunyai pengaruh cenderung mengalami penurunan kuat tekan dan meningkatnya porositas beton ringan.

PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil dan analisa pada bab sebelumnya dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Penambahan variasi *pozzolan* 2% dan 4% mempunyai pengaruh terhadap peningkatan kuat tekan beton ringan hingga mencapai kondisi optimum beton ringan variasi BRL4, selanjutnya pada penambahan *pozzolan* lusi sebesar 6%, 8% dan 10% cenderung mengalami penurunan kuat tekan beton ringan. Peningkatan kuat tekan terjadi karena, semakin meningkatnya kandungan SiO₂ dari *pozzolan* lumpur Sidoarjo hingga 4% mampu mengisi pori – pori pada campuran beton ringan, mengakibatkan berat jenis beton ringan menjadi meningkat mencapai batas optimum, sehingga menjadikan berat beton ringan lebih padat. Penurunan kuat tekan terjadi karena semakin meningkatnya pori – pori pada campuran beton ringan, mengakibatkan berat jenis beton menurun sehingga beton ringan cenderung memiliki ruang atau pori didalamnya.
2. Penambahan variasi *pozzolan* 2% dan 4% mempunyai pengaruh terhadap penurunan porositas beton ringan hingga mencapai kondisi optimum beton ringan variasi BRL4, selanjutnya pada penambahan *pozzolan* lusi sebesar 6%, 8%

dan 10% cenderung mengalami peningkatan porositas beton ringan. Penurunan porositas disebabkan kandungan SiO₂ dari *pozzolan* lumpur Sidoarjo hingga 4% mencapai batas optimum mampu mengisi pori – pori pada campuran beton ringan, sehingga mengakibatkan berat beton ringan menjadi lebih padat. Peningkatan porositas terjadi karena seiring bertambahnya penambahan lusi 6%, 8%, 10% dan berkurangnya komposisi semen menjadi 94%, 92%, 90% membuat kecilnya jumlah kandungan CaO pada komposisi kandungan kimia semen dan lumpur Sidoarjo.

3. Komposisi optimum pada kuat tekan tertinggi dan porositas terendah adalah variasi Lusi 4% (BRL4) yaitu kuat tekan 19,57 N/mm² dan porositas 3,21%.

B. Saran

Melihat penelitian ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut, berikut adalah beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Perlu diperhatikan dalam pelaksanaan pengecoran ketika pemadatan pada cetakan harus dilakukan secara bertahap agar menghasilkan benda uji yang tidak keropos.
2. Perlu dilakukan pengolahan lumpur sidoarjo (lusi) pada suhu tertentu guna menghasilkan kandungan silika yang lebih tinggi.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan meninjau sifat mekanis beton ringan yang lain, sehingga dapat mengetahui sejauh mana pengaruh penambahan *pozzolan* lusi terhadap kualitas beton ringan

DAFTAR PUSTAKA

- Akmaluddin. 2009. “Pengaruh Ukuran Butir Batu Apung Terhadap Sifat Mekanik Beton Ringan”. Mataram: Universitas Mataram
- Astanto, Triono Budi, 2001. “Konstruksi Beton Bertulang”. Yogyakarta: Kanisius
- ASTM Standard C33. 2006. “Specification for Concrete Aggregates”. West Conshocken

- ASTM Standard C330. 2006. *“Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete”*. West Conshocken
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) 2002, *“Hasil Kandungan Lumpur Sidoarjo (Lusi)”*. Bandung: BPPT
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *“Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung”*. SNI 03-2847-2002. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum
- Badan Standardisasi Nasional 2011. *“Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder.”*
- Basic Design Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (PLS). *“Karakteristik Lumpur Sidoarjo (Lusi)”*. Kontr. AHR Infra
- Baskoro, Nanda Khunto 2013. *“Pengaruh Variasi Pemanasan Suhu Tinggi dan Kadar Lumpur Sidoarjo sebagai bahan pengganti Semen pada Kuat Tarik Belah beton.”* Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- BSI 1983. *“British Standard Code Practice For Method Testing Concrete”*. London: British Standard Institutions.
- Dionius Tripiyo., I Gusti Putu Raka dan Tavio. 2010. *“Beton Agregat Ringan dengan Substitusi Parsial Batu Apung sebagai Agregat Kasar,”* Konferensi Nasional Teknik Nasionaal 4 (konteks4), Sanur-Bali, 2-3 Juni. Mulyono, Tri. 2004. *“Teknologi Beton”*. Yogyakarta: Andi.
- Juwairiah, 2009. *“Efek Komposisi Agregat Batu Apung dan Epoxy Resin Dalam Pembuatan Polymer Concrete Terhadap Karakteristiknya”*. Medan: Universitas Sumatera Utara
- Laintarawan Putu I, Nyoman Suta Widnyana dan Wayan Artana. 2009. *“Konstruksi Beton I”*. Denpasar: Universitas Hindu Indonesia
- Nugroho, 2012. *“Penggunaan Lumpur Lapindo Bakar sebagai Agregat Kasar Beton Ringan.”* Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Rifky, Muhammad. 2011. *“Tinjauan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Pada Beton Menggunakan Pasir Normal, dan Pasir Merapi serta Penambahan Pozzolan Lumpur Lapindo.”* Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Samekto, Wuryati. Dan Rahmadiyanto, Candra. 2001. *“Teknologi Beton.”* Yogyakarta: Kanisius.
- Setiawan, Dedi Budi. 2012. *“Pemanfaatan Beton Ringan dari Agregat Pumice dengan Penambahan Abu Sekam Padisebagai Pengganti Beton Biasa untuk Struktur Bangunan”*. Jurnal Wahana Teknik Sipil Vol.17 No.2 Desember 2012 69-76.
- Sutikno. 2010, *“Teknologi Beton.”* Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya
- Tjokrodimulyo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: KMTS FT UGM.