



**PENGARUH KOMPOSISI *FLY ASH* TERHADAP KUAT TEKAN
BETON *POROUS* DENGAN VARIASI KOMPOSISI AGREGAT
KASAR DAUR ULANG (RCA)**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



KARTIKA CANDRA SUSENO

NIM. 135060101111004

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2017

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH KOMPOSISI FLY ASH TERHADAP KUAT TEKAN BETON
POROUS DENGAN VARIASI KOMPOSISI AGREGAT KASAR DAUR ULANG
(RCA)**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



KARTIKA CANDRA SUSENO

NIM. 135060101111004

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 10 Juli 2017

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Eva Arifi, ST., MT.
NIK. 201002 771203 2 001

Dr. Eng. Ming Narto Wijaya, ST., MT., M.Sc.
NIK. 201102 840705 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

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



*Terimakasih untuk Keluarga
Bapak dan Ibu Dosen
Sahabat Kuliah
Seluruh Elemen Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya
Yang Selalu Saya Banggakan*

**HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI**

Judul Skripsi :

Pengaruh Komposisi *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan Beton *Porous* Dengan Variasi Komposisi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

Nama Mahasiswa : Kartika Candra Suseno

NIM : 135060101111004

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Eva Arifi, ST., MT

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Ming Narto Wijaya, ST., MT., M.Sc

Dosen Penguji 3 : Prof. Dr. Ir. Agoes SMD, MT

Tanggal Ujian : 13 Juni 2017

SK Penguji : 693/UN 10.F07/SK/2017

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas 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 plagiasi, 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, 18 Juli 2017

Mahasiswa,

Kartika Candra Suseno

NIM. 135060101111004



RIWAYAT HIDUP

Kartika Candra Suseno, lahir di Banyuwangi, 19 Desember 1995, anak kedua dari Bapak Suseno dan Ibu Puti Wati Andayani. Mulai memasuki bangku sekolah di SD Negeri 028 Balikpapan Selatan sejak tahun 2002 dan lulus pada tahun 2008. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Balikpapan dan lulus pada tahun 2011. Selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Balikpapan dan lulus pada tahun 2013. Kemudian mengenyam bangku perkuliahan hingga lulus S1 (Strata 1) pada tahun 2017 dari Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Pada semasa kuliah, ikut berpartisipasi sebagai anggota Departemen PSDM periode 2014/2015 dan sebagai Asisten Tugas Besar Statika pada tahun 2015 serta Asisten Tugas Besar Mekanika Bahan pada tahun 2016.

Malang, Juli 2017

Penulis

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga dapat terselesaikannya penyusunan skripsi ini yang berjudul “PENGARUH KOMPOSISI *FLY ASH* TERHADAP KUAT TEKAN BETON *POROUS* DENGAN VARIASI KOMPOSISI AGREGAT KASAR DAUR ULANG (RCA)”.

Tugas akhir ini merupakan tugas akademik yang wajib ditempuh oleh mahasiswa untuk mendapatkan gelar sarjana S1 di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan lancar tanpa adanya bimbingan, bantuan serta doa dari berbagai pihak.

Pada kesempatan ini, tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, kakak dan keluarga saya yang selalu memberikan semangat, masukan, dukungan moral serta doa.
2. Bapak Ir. Sugeng P. Budio, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Ibu Ir. Siti Nurlina, MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng(Prac), selaku Ketua Program Studi Sarjana (S1) Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Ibu Dr.Eng Eva Arifi ST.,MT. selaku dosen pembimbing 1
6. Bapak Dr.Eng. Ming Narto W, ST.,MT.,M.Sc. selaku dosen pembimbing 2
7. Ibu Christin Remayanti, ST.,MT. selaku ketua majelis
8. Bapak Sugeng, Bapak Dino, Bapak Hadi selaku Laboran lab.struktur
9. Rekan sesama penelitian dan tugas akhir Beton *Porous* (Akbar, Kartini, Adven, Iwan, Rika) yang telah berjuang bersama.
10. Afifah Ramadhani yang selalu memberikan semangat, dukungan serta doa.
11. Ini *multichat* (Radja, Didut, Marsa, Surya, Deby, Afifah, Afria, Valni, Devina, Alda, Vivin) selaku teman seperjuangan kuliah yang selalu membantu, dan memberi semangat.
12. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil FT-UB dan seluruh mahasiswa angkatan 2013 jurusan Teknik Sipil yang telah membantu dan memberikan semangat serta doa dalam menyelesaikan skripsi ini.



Besar harapan penulis agar nantinya hasil yang telah didapatkan ini dapat bermanfaat untuk pribadi dan para pembaca, baik sebagai bahan bacaan penunjang maupun sebagai referensi. Demi kesempurnaan tugas akhir ini, saran dan petunjuk serta kritik yang bersifat membangun sangatlah diharapkan guna memperoleh hasil yang lebih baik.

Malang, Juni 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
RINGKASAN	xiii
SUMMARY	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Maksud dan Tujuan	3
1.6 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton	5
2.2 Beton <i>Porous</i>	6
2.3 Material Penyusun Beton <i>Porous</i>	7
2.3.1 Semen <i>Portland</i>	7
2.3.2 Semen <i>Portland Pozzoland</i>	8
2.3.3 Agregat Kasar Alam (<i>Natural Coarse Aggregates</i>)	8
2.3.4 Agregat Kasar Daur Ulang (<i>Recycled Coarse Aggregates</i>)	9
2.3.4.1. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	9
2.3.4.2. Gradasi Agregat Kasar	10
2.3.5 Air	12
2.3.6 Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	12
2.4 Perawatan Beton (<i>Curing</i>)	14
2.5 Uji Kuat Tekan Beton	15
2.6 Penelitian Yang Telah Dilakukan Sebelumnya	17
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2 Variable Penelitian	21



3.3	Alat Dan Bahan Penelitian	21
3.3.1	Alat Penelitian	21
3.3.2	Bahan penelitian	22
3.4	Analisa Bahan.....	22
3.4.1	Agregat Kasar Alam (NCA)	22
3.4.2	Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)	22
3.4.3	Semen <i>Portland Pozzolan</i>	22
3.4.4	<i>Fly ash</i>	23
3.4.5	Air	23
3.5	Rancangan Penelitian	23
3.5.1	<i>Mix Design</i> Beton <i>Porous</i>	23
3.5.2	Kebutuhan Material	24
3.5.3	Rancangan Benda Uji Kuat Tekan.....	25
3.6	Prosedur Penelitian.....	27
3.6.1	Penelitian Pendahuluan.....	27
3.6.2	Pengujian Kandungan <i>Fly Ash</i>	27
3.6.3	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	28
3.6.4	Pembuatan Benda Uji Kuat Tekan Beton.....	29
3.6.5	Pengujian Kuat Tekan Beton <i>Porous</i>	30
3.7	Rancangan Analisa Data.....	31
3.7.1	Hasil Pengujian Pendahuluan	31
3.7.2	Hasil pengujian Kuat Tekan Beton <i>Porous</i>	31
3.8	Hipotesis Penelitian.....	33
3.9	Diagram Alir tahapan Penelitian.....	33
	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1	Hasil dan Analisa Penelitian Pendahuluan.....	35
4.1.1	Analisa Spesifikasi <i>Fly Ash</i>	35
4.1.2	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat.....	37
4.1.3	Berat Isi Agregat Kasar	41
4.2	Hasil Pengujian Beton <i>Porous</i>	42
4.2.1	Berat Isi Beton <i>Porous</i>	42
4.2.2	Kuat Tekan Beton <i>Porous</i>	45
4.2.3	Grafik Berat Isi Beton <i>Porous</i>	48
4.2.4	Grafik Kuat Tekan Beton <i>Porous</i>	52



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	61

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi Abu Terbang Berdasarkan ASTM C 618 – 05.....	14
Tabel 3.1	Variabel Bebas dan Variabel Terikat Penelitian.....	21
Tabel 3.2	Proporsi Material Beton Berpori	23
Tabel 3.3	Volume Pekerjaan Dalam 1 Campuran	23
Tabel 3.4	Kebutuhan Material	24
Tabel 3.5	Rekapitulasi Kebutuhan Material	25
Tabel 3.6	Faktor Benda Uji Kuat Tekan Umur 28 hari	26
Tabel 3.7	Variasi Benda Uji Kuat Tekan Umur 28 hari.....	26
Tabel 3.8	Form Pengujian Kuat Tekan Beton <i>Porous</i> Umur 28 hari.....	27
Tabel 3.9	Form Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat.....	28
Tabel 3.10	Form Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat.....	29
Tabel 3.11	Form Uji Kuat tekan Beton <i>Porous</i>	32
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Kandungan Senyawa <i>Fly ash</i>	36
Tabel 4.2	Klasifikasi <i>Fly ash</i> Berdasarkan ASTM C 618 – 05	37
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Agregat Kasar Daur Ulang (RCA).....	37
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Agregat Kasar Daur Ulang (RCA).....	37
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Agregat Kasar Alam (NCA).....	39
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Agregat Kasar Alam (NCA).....	39
Tabel 4.7	Rekapitulasi Pengujian Agregat Kasar.....	40
Tabel 4.8	Hasil Uji Berat Isi Agregat Kasar.....	41
Tabel 4.9	Hasil Berat Isi Beton <i>Porous</i>	42
Tabel 4.10	Hasil Berat Isi Beton <i>Porous</i> (lanjutan)	43
Tabel 4.11	Rekapitulasi Hasil Berat Isi Beton <i>Porous</i>	44
Tabel 4.12	Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton <i>Porous</i>	45
Tabel 4.13	Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton <i>Porous</i>	46
Tabel 4.14	Rekapitulasi Kuat Tekan Rata – Rata Silinder Beton <i>Porous</i>	47
Tabel 4.15	Hasil Berat Isi Rata – Rata <i>Fly ash</i> 0%	48
Tabel 4.16	Hasil Berat Isi Rata – Rata <i>Fly ash</i> 15%	49
Tabel 4.17	Hasil Berat Isi Rata – Rata <i>Fly ash</i> 25%	50
Tabel 4.18	Hasil Kuat Tekan Rata – Rata <i>Fly ash</i> 0%	52
Tabel 4.19	Hasil Kuat Tekan Rata – Rata <i>Fly ash</i> 15%	53
Tabel 4.20	Hasil Kuat Tekan Rata – Rata <i>Fly ash</i> 25%	54

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Konstruksi Beton.....	5
Gambar 2.2	Beton <i>Porous</i>	6
Gambar 2.3	Contoh Grafik Gradasi Agregat Kasar	11
Gambar 2.4	Pengaruh Kondisi Perawatan Beton	15
Gambar 2.5	Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Beton Normal	16
Gambar 2.6	Hubungan Antara Kuat Tekan, w/c ratio, a/c ratio.....	17
Gambar 3.1	Dimensi Benda Uji Kuat Tekan	26
Gambar 3.2	Alat Uji Kuat Tekan Beton	30
Gambar 3.3	Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 4.1	<i>Fly Ash</i>	35
Gambar 4.2	Contoh Agregat Kasar Daur Ulang (RCA).....	38
Gambar 4.3	Contoh Agregat Kasar Alam (NCA).	40
Gambar 4.4	Pengujian Kuat Tekan Beton <i>Porous</i> Pada Umur 28 Hari	44
Gambar 4.5	Benda Uji Kuat Tekan Beton <i>Porous</i> Pada Umur 28 Hari.	47
Gambar 4.6	Hubungan Kandungan RCA Terhadap Berat Isi.	48
Gambar 4.7	Hubungan Kandungan RCA Terhadap Berat Isi.	49
Gambar 4.8	Hubungan Kandungan RCA Terhadap Berat Isi.	50
Gambar 4.9	Hubungan Kandungan RCA Terhadap Berat Isi.	51
Gambar 4.10	Hubungan Kandungan RCA Terhadap Kuat Tekan (MPa).....	52
Gambar 4.11	Hubungan Kandungan RCA Terhadap Kuat Tekan (MPa).....	53
Gambar 4.12	Hubungan Kandungan RCA Terhadap Kuat Tekan (MPa).....	54
Gambar 4.13	Hubungan Kandungan RCA Terhadap Kuat Tekan (MPa).....	55



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Data hasil pengujian berat jenis dan penyerapan RCA	63
Lampiran 2.	Data hasil pengujian berat jenis penyerapan NCA.....	65
Lampiran 3.	Data hasil pengujian kandungan <i>Fly Ash</i>	68
Lampiran 4.	Data hasil pengujian berat isi beton <i>porous</i>	70
Lampiran 5 .	Data hasil pengujian kuat tekan beton <i>porous</i>	76
Lampiran 6.	Dokumentasi pengujian kuat tekan beton <i>porous</i>	82
Lampiran 7.	Dokumentasi pembuatan benda uji beton <i>porous</i>	97
Lampiran 8.	<i>Logbook</i> pembuatan benda uji.....	101



RINGKASAN

Kartika Candra Suseno, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2017, *Pengaruh Komposisi Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton Porous Dengan Variasi Komposisi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)*, Dosen Pembimbing : Dr.Eng. Eva Arifi, ST.,MT. dan Dr.Eng. Ming Narto W, ST.,MT.,M.Sc.

Beton *porous* adalah beton yang memiliki kemampuan dapat ditembus air dengan mudah atau disebut juga sifat porositas tinggi. Bahan penyusun beton *porous* terdiri dari campuran semen, air, agregat kasar, dan sedikit agregat halus atau tanpa menggunakan agregat halus. Pada penelitian ini tidak menggunakan agregat halus dan agregat kasar yang digunakan memiliki gradasi seragam. Beton *porous* memiliki kelemahan yaitu memiliki kuat tekan lebih rendah dibandingkan dengan beton normal. Pemanfaatan *fly ash* dalam pembuatan beton *porous* diharapkan mampu meningkatkan kualitas beton *porous* dari segi kekuatan sedangkan pemanfaatan RCA untuk mengurangi pemanfaatan agregat kasar alam. Kelebihan beton *porous* adalah mampu menyerap limpasan air permukaan berlebih dengan mudah sehingga dapat meningkatkan kandungan air tanah dan dapat diterapkan pada jenis perkerasan yang menerima beban ringan seperti taman.

Pada penelitian ini dilaksanakan pengujian kuat tekan pada beton *porous* menggunakan benda uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Kombinasi campuran yang digunakan yaitu *fly ash* sebesar 0%, 15%, 25% terhadap semen PPC dan agregat kasar daur ulang (RCA) sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, 100%. Jenis *fly ash* yang digunakan adalah kelas C. *Fly ash* kelas ini memiliki sifat *pozzolan* dan *cementitious* ketika bercampur dengan pasta air semen. Semen yang digunakan adalah *Portland Pozzoland Cement* (PPC) yang lebih memiliki sifat *pozzolan*. Pengujian beton *porous* menggunakan alat uji *compression testing machine* (CTM) yang bertujuan untuk mengetahui hubungan kuat tekan beton *porous* terhadap komposisi optimal kombinasi *fly ash* dan agregat kasar daur ulang (RCA).

Hasil dari penelitian dari pengujian kuat tekan terhadap beton *porous* adalah kuat tekan tertinggi diperoleh pada komposisi *fly ash* 25% dan agregat kasar daur ulang (RCA) 0% dengan nilai sebesar 13,621 MPa. Hubungan antara komposisi *fly ash* dan agregat kasar daur ulang (RCA) terhadap kuat tekan menunjukkan hasil yang beragam serta pola grafik yang saling silang.

Kata Kunci : beton *porous*, *fly ash*, agregat kasar daur ulang, kuat tekan, komposisi

SUMMARY

Kartika Candra Suseno, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2017, *Effect of Fly Ash Composition On The Compression Strength of Porous Concrete With Variation Composition of Recycled Coarse Aggregates (RCA)*, Academic Supervisor : Dr.Eng. Eva Arifi, ST., MT. and Dr.Eng. Ming Narto W., ST., MT., M.Sc.

Porous concrete is a concrete that designed to have high porosity forming pores in the concrete and makes water passing through the pores easily. Porous concrete materials are cement, water, coarse aggregate, and small amount of fine aggregate or without using it. Fine aggregate was not used in the experiment while the gradation of coarse aggregates was uniform graded. Porous concrete has some weakness, the compression strength porous concrete is smaller than the normal concrete. Utilization of fly ash for porous concrete is expected to improve the quality of porous concrete in terms of strength meanwhile utilization of RCA to reduce natural coarse aggregate utilization. The benefit of porous concrete is the ability to drain water easily and improve groundwater quantity and can be applied in light load pavement such as parks.

In this research cylinder samples with diameter 15 cm and height 30 cm was used. Variations design for this research were combinations of fly ash 0%, 15%, 25% to replace cement PPC and 0%, 25%, 50%, 75%, 100% recycled coarse aggregates (RCA). Class C fly ash was used in this experiment. Class C fly ash is a type of fly ash that has pozzoland and cementitious properties when mixed with cement paste. Pozzolan Portland Cement (PPC) which has pozzoland properties was used in this experiment. Compression testing machine (CTM) was used to investigated the relationship between compression strength porous concrete and the optimum composition of fly ash combinations and recycled coarse aggregates (RCA).

The porous concrete compression strength research resulted highest compression strength was obtained on the mixed of fly ash composition 25% and 0% recycled coarse aggregate (RCA) with compression strength value was 13,621 MPa. The relationship between the composition of the fly ash and recycled coarse aggregate (RCA) on the compression strength has showed variation results and insignificant trend.

Keyword: porous concrete, fly ash, recycled coarse aggregate, compression strength, composition

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia mengalami perkembangan pembangunan yang pesat terutama pada bidang konstruksi, seperti pembangunan perkantoran, perumahan, dan pusat perbelanjaan. Dari perkembangan pembangunan tersebut harus diimbangi oleh perkembangan pengguna jalan. Prasarana jalan di Indonesia tidak banyak berkembang, banyak jalan yang rusak, bolong dan sebagainya. Perkerasan jalan di Indonesia menggunakan perkerasan lentur dan kaku. Dapat diketahui perkerasan lentur dan kaku memiliki kelemahan daya serap air yang kurang. Hal ini merupakan salah satu alasan jalan-jalan di Indonesia mudah rusak yang mengakibatkan terganggunya pengguna jalan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dibutuhkan material alternatif pada perkerasan tersebut seperti beton porous.

Menurut NRMCA, beton *porous* adalah suatu jenis beton yang memiliki sifat porositas tinggi yang biasanya diaplikasikan pada plat beton sehingga memungkinkan air hujan dan air dari sumber-sumber lain untuk dapat melewatinya. Hal tersebut akan mengurangi limpasan permukaan (*run off*) dan meningkatkan kandungan muka air tanah. Pada umumnya penggunaan agregat halus atau pasir pada beton *porous* sangat sedikit bahkan tidak sama sekali digunakan dan memiliki cukup pasta semen untuk melapisi permukaan agregat kasar untuk menjaga interkoneksi pori. Beton porous digunakan untuk area parkir, taman, trotoar untuk pejalan kaki, dan daerah lampu lalu lintas (NRMCA, 2004). Kekuatan tekan beton porous konvensional bervariasi antara 70 kg/m^2 sampai dengan 140 kg/m^2 . Material penyusun beton porous terdiri dari campuran air, semen, agregat kasar, dan bahan tambahan lain (*admixtures*).

Saat ini banyak yang memakai bahan tambahan untuk digunakan ke dalam campuran beton. Tujuan pemakaian bahan tambahan bermacam-macam, dan cara pemakaian yang berbeda-beda. Seperti untuk mempercepat proses pengerasan beton maupun untuk menghindari pengerasan beton yang begitu cepat serta untuk menambah kekuatan beton yang dihasilkan. Bahan tambahan dapat sebagai pengganti atau sebagai bahan tambahan pada campuran beton. Dilakukan bahan penambahan ini juga dilakukan agar lebih ekonomis.

Fly Ash atau abu ringan merupakan material yang berwarna keabuabuan, memiliki ukuran butir yang halus, dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara. Berdasarkan dari

penelitian yang telah dilakukan, *fly ash* terbukti dapat meningkatkan kekuatan dari beton namun peningkatan tersebut tidak terlalu signifikan. *Fly ash* mengandung beberapa unsur kimia antara lain alumina (Al_2O_3), silika (SiO_2), kalsium oksida (CaO), dan ferro oksida (Fe_2O_3) dan mengandung beberapa unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), alkalin (Na_2O dan K_2O), titanium oksida (TiO_2), fosfor oksida (P_2O_5), sulfur trioksida (SO_3) dan carbon (Wardani, 2008).

Pesatnya perkembangan pada perkerasan jalan akan membutuhkan bahan yang lebih banyak. Dengan ini dapat di kaji lebih lanjut dengan mengganti seluruh agregat kasar atau mengganti sebagian agregat kasar dari alam dengan agregat kasar dari beton daur ulang (*Recycle Coarse Agregat*). Dengan menggunakan RCA diharapkan limbah konstruksi ini dapat dimanfaatkan dengan baik.

Oleh karena itu dengan permasalahan-permasalahan diatas, dilakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Komposisi *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan Beton *Porous* Dengan Variasi Komposisi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)”.

1.2. Identifikasi Masalah

Beton merupakan suatu bahan struktural yang sangat sering untuk digunakan. Salah satunya ialah dimanfaatkan sebagai bahan perkerasan. Penggunaan beton sebagai perkerasan secara berlebihan dapat mengurangi bahan pembuatannya dan beton konvensional bersifat tidak tembus air apabila terjadi aliran permukaan (*run off*), sehingga diperlukan alternative-alternatif lain untuk menanggulangi permasalahan tersebut. Salah satu permasalahan lain adalah bahan pembuatan semen yaitu batu kapur. Batu kapur yang sangat sulit untuk dihasilkan kembali akan menyebabkan terbatasnya produksi dari semen.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah dicantumkan di atas, maka dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana hubungan antara penggunaan agregat kasar daur ulang sebesar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap agregat kasar alam dengan kuat tekan beton porous dengan substitusi *Fly Ash* yang bervariasi sebesar 0%, 15% dan 25%?
2. Berapa komposisi optimum agregat kasar daur ulang (0%, 25%, 50%, 75% dan 100%) terhadap agregat kasar alam dan fly ash (0%, 15% dan 25%) untuk mencapai nilai kuat tekan yang memenuhi persyaratan mutu beton?

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan – batasan masalah pada penelitian ini, antara lain :

1. Cetakan benda uji yang digunakan adalah cetakan benda uji silinder dengan dimensi dalam : diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
2. Pengujian yang dilaksanakan pada benda uji silinder adalah uji kuat tekan dan uji kuat tarik belah.
3. Semen yang digunakan adalah semen dengan merk Semen Gresik.
4. *Fly ash* yang digunakan berasal dari took bangunan yang terletak di Kota Malang. Selanjutnya akan dilaksanakan penelitian pada *fly ash* untuk mengetahui kandungan – kandungan mineral.
5. Air yang digunakan berasal dari PDAM Kota Malang.
6. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
7. Alat uji yang digunakan adalah alat *Compression Testing Machine* yang terdapat di Laboatorium Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
8. Pengujian dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari
9. Agregat yang digunakan adalah agregat kasar daur ulang (RCA) dan agregat kasar alam (NCA) dengan ukuran seragam 0,5 cm – 1 cm
10. Komposisi campuran agregat kasar daur ulang (RCA) antara lain : 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap agregat kasar alam (NCA).
11. Komposisi *Fly Ash* yang digunakan pada campuran benda uji antara lain : 0%, 15% dan 25% terhadap semen *Portland Pozzolan*.
12. Proses pengecoran dilakukan bersamaan dengan benda uji kuat lentur dan benda uji kuat tarik belah.
13. Pelepasan bekisting silinder dilakukan pada hari H+1 pengecoran.
14. Perawatan beton (*curing*) dilakukan dengan merendam benda uji silinder di dalam air selama 7 hari.
15. Faktor air semen (FAS) yang digunakan sebesar 0,3.

1.5. Maksud dan Tujuan

Adapun tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui hubungan antara penggunaan agregat kasar daur ulang sebesar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap agregat kasar alam dengan kuat tekan beton porous dengan substitusi *Fly Ash* yang bervariasi sebesar 0%, 15% dan 25%.



4

2. Mengetahui komposisi optimum agregat kasar daur ulang dengan variasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap agregat kasar alam dan *fly ash* dengan variasi 0%, 15% dan 25% untuk mencapai nilai kuat tekan yang memenuhi persyaratan mutu beton.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini di antaranya:

1. Dapat memberikan pengetahuan tentang penggunaan agregat kasar daur ulang (RCA) dengan penambahan *fly ash* terhadap kuat tekan beton porous.
2. Dapat digunakan sebagai salah satu referensi untuk acuan penelitian yang berkaitan dengan beton porous selanjutnya.

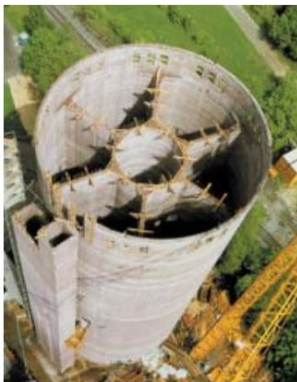


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Beton adalah material komposit yang terdiri dari medium pengikat (pada umumnya campuran semen idrolis dan air), agregat halus (pada umumnya pasir) dan agregat kasar (pada umumnya kerikil) dengan atau tanpa bahan tambahan/campuran/*additives* (Suardi Bahar, 2004). Berdasarkan SNI 03-234-2000, beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat.

Campuran antara semen dan air akan membentuk pasta semen yang berfungsi sebagai bahan ikat. Sedangkan pasir dan kerikil merupakan bahan agregat yang berfungsi sebagai bahan pengisi dan sekaligus sebagai bahan yang diikat oleh pasta semen. Ikatan antara pasta semen dan agregat ini akan menjadi satu kesatuan yang kompak dan akhirnya seiring berjalannya waktu akan menjadi keras dan padat yang disebut beton (Ali Asroni, 2010).



Gambar 2.1 Konstruksi Beton.

Sumber : M.S. Shetty (2009)

Pada bangunan, peranan beton sangat penting yaitu untuk menahan beban yang bekerja. Nilai kuat tarik beton lebih rendah bila dibandingkan nilai kuat tekannya. Nilai kuat tarik beton berkisar 9%-15% dari kuat tekannya (Nawy 1998). Sehingga perlu penambahan tulangan baja sebagai perkuatan yang nantinya diasumsi sebagai penahan gaya lentur yang dialami oleh beton. Tulangan baja dinilai mampu menahan gaya tarik yang terjadi.

Perbandingan campuran antara semen, agregat dan air dapat mempengaruhi besar kekuatan dari beton. Faktor air semen (FAS) merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan beton. Semakin besar nilai FAS maka semakin rendah kuat tekan beton yang dihasilkan. Sebaliknya semakin kecil nilai FAS maka semakin tinggi kuat tekan beton yang dihasilkan (Ali Asroni, 2010).

2.2. Beton *Porous*

Beton *porous* atau beton non-pasir juga dikenal sebagai *pervious concrete* adalah campuran antara semen, air dan agregat kasar yang membentuk suatu material tembus air (Neville dan Brooks, 2010). Agregat kasar yang digunakan memiliki gradasi penyeragaman yang disesuaikan. Beton *porous* tersusun atas agregat kasar yang diselimuti dengan lapisan pasta semen tipis sekitar 1,3 mm (Neville dan Brooks, 2010). *Mix design* dari beton *porous* terdiri dari : semen (270 – 415 kg), agregat kasar (1190 – 1480 kg), faktor air semen (0,27 – 0,34), perbandingan berat pasir dan kerikil sebesar 0 sampai 1 : 1 serta penambahan *chemical admixtures* (ACI 522R-10).



Gambar 2.2 Beton *porous*.

Sumber : Paul D. Tennis et. all (2004)

Pada umumnya beton porous banyak digunakan pada permukaan tanah atau perkerasan tanah. Di Indonesia, penggunaan beton porous masih sangat kurang. Penggunaan *paving block* masih sering dijumpai di Indonesia. *Paving block* memiliki kesamaan sifat dengan beton *porous* yaitu tembus air. Beton *porous* memiliki kelebihan dibandingkan dengan perkerasan menggunakan beton konvensional dan *paving block*, antara lain:

1. Beton *porous* dapat tembus air, sehingga dapat memperlancar drainase pembuangan air permukaan.
2. Air limpasan permukaan yang terserap oleh beton porous dapat menambah kandungan air dalam tanah.
3. Pemasangan lebih mudah bila dibandingkan dengan menggunakan *paving block*.
4. Permukaan beton porous lebih dingin.
5. Peredam kebisingan akibat gesekan antara ban kendaraan dengan permukaan jalan.

2.3. Material Penyusun Beton Porous

Bahan dalam pembuatan beton *porous* sedikit berbeda dengan beton konvensional pada umumnya yaitu semen *Portland*, agregat kasar, air, dan agregat halus atau tanpa agregat halus. Bahan-bahan tersebut berpengaruh pada kekuatan beton *porous* yang diproduksi, sehingga perlu perhatian lebih pada saat proses pembuatan beton *porous*. Seperti *mix design*, komposisi bahan beton *porous* harus mendekati hitungan rencana dan kebersihan dari bahan-bahan tersebut.

2.3.1. Semen Portland

Pada tahun 1824, Joseph Aspdin ialah orang pertama yang memproduksi semen dengan cara memanaskan batu kapur dengan campuran tanah liat halus sehingga mencapai suatu titik panas tertentu yang dapat menghilangkan gas karbon (Murdock, 1981). Kemudian pada tahun 1845, Issac Johnson melakukan pembakaran pada tanah liat halus dan batu kapur sampai melebur dan mengeras kembali, sehingga dihasilkan semen yang sifatnya mirip dengan semen *Portland* modern saat ini.

Menurut SNI 15-2049-2004, semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen Portland yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk Kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan tambahan lain.

Menurut Ali Asroni, 2010, semen di Indonesia terbagi menjadi 5 jenis, yaitu:

1. Jenis I: semen Portland untuk penggunaan umum, tidak memerlukan persyaratan khusus.
2. Jenis II: semen Portland untuk beton tahan sulfat dan mempunyai panas hidrasi sedang.

3. Jenis III: semen Portland untuk beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras).
4. Jenis IV: Semen Portland untuk beton yang memerlukan panas hidrasi rendah.
5. Jenis V: semen Portland untuk beton yang sangat tahan terhadap sulfat.

Semen yang digunakan harus baik kondisinya, tidak menggumpal dan mengeras. Setelah tercampur dengan air, semen akan mengalami 2 (dua) periode reaksi yang berbeda. Periode pertama, periode pengikatan adalah peralihan dari keadaan plastis ke dalam keadaan keras. Periode kedua, periode pengerasan adalah penambahan kekuatan setelah pengikatan selesai.

2.3.2. Semen Portland Pozzoland

Semen Portland pozolan adalah semen Portland yang dicampur dengan pozzolan halus yang bersifat homogen. Proses produksi dari semen jenis ini yaitu dengan mencampur dan menggiling secara merata bubuk semen Portland dan bubuk pozzolan. Komposisi campuran dari pozzolan antara 6% - 40% dari massa semen Portland pozzolan (SNI 15 – 0302 -2004).

Bahan campur pozzolan adalah suatu bahan yang terkandung silica didalamnya yang tidak memiliki sifat seperti semen namun ketika bahan ini tercampur dan bereaksi dengan air akan menyebabkan sifat mengikat akan muncul. Reaksi ini terjadi karena kalsium hidroksida akan membentuk senyawa yang sifatnya mengikat seperti semen. Semen Portland pozzolan memiliki beberapa jenis, antara lain:

- a) Jenis IP – U digunakan untuk semua jenis adukan beton.
- b) Jenis IP – K digunakan untuk semua jenis adukan beton tetapi semen ini tahan terhadap asam (sulfat) sedang dan panas hidrasi yang terjadi sedang.
- c) Jenis P – U digunakan untuk jenis struktur yang tidak memiliki kekuatan awal yang tinggi.
- d) Jenis P – K digunakan untuk jenis struktur yang tidak memiliki kekuatan awal yang tinggi, tidak tahan sulfat dan panas hidrasi yang terjadi sedang.

2.3.3. Agregat Kasar Alam (*Natural Coarse Aggregates*)

Menurut ASTM C-125 agregat kasar adalah seluruh agregat yang masih tertahan pada saringan nomor 4 standar ASTM yang berukuran 4,75 mm.. Menurut SNI 03-2834-2000 *Tata Cara Rencana Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, agregat kasar

alam atau NCA adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm. Fungsi dari agregat kasar adalah untuk memberi kekuatan pada beton.

2.3.4. Agregat Kasar Daur Ulang (*Recycled Coarse Aggregates*)

Kebutuhan batuan sebagai salah satu bahan dalam pembuatan beton akan semakin berkurang sering dengan meningkatnya aktifitas konstruksi. Dengan meningkatnya aktifitas konstruksi, menyebabkan bertambahnya limbah-limbah beton. Limbah beton adalah bahan sisa atau bahan bekas yang diperoleh dari penghancuran dari bangunan konstruksi yang tidak digunakan.

Agregat kasar daur ulang atau RCA adalah agregat kasar yang diperoleh dari beton daur ulang yang telah mengalami proses *pulsed power* (Eva Arifi, 2014). *Pulsed power* akan memisahkan antara pasta semen dengan agregat kasar.

Menurut El – Reddy, 2009 sifat beton dengan RCA jika dibandingkan dengan beton yang menggunakan NA yaitu:

- (a). Kuat tarik lebih rendah tidak lebih dari 10%.
- (b). Kuat tekan menurun sebesar 10% - 30%.
- (c). Modulus elastisitas menurun sebesar 10% - 40 % tergantung dari sumber agregat kasarnya.
- (d). Susut lebih besar 20% - 55% sedangkan rangkai lebih kecil hingga 10%.

2.3.4.1. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Nilai perbandingan antara massa dan volume disebut sebagai berat jenis. Macam – macam berat jenis antara lain:

1. Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

Berat jenis curah adalah berat jenis yang diperhitungkan terhadap seluruh volume yang ada. Volume tersebut mencakup volume pori yang dapat ditembus air dan volume partikel.

2. Berat Jenis Kering Permukaan (*Saturated Surface Dry*)

Berat jenis kering permukaan atau SSD adalah berat jenis yang memperhitungkan hanya volume pori yang dapat ditembus air.

3. Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*)

Berat jenis semu adalah berat jenis yang memperhitungkan volume partikel saja tanpa memperhitungkan volume pori yang dapat dilewati air.

Sedangkan penyerapan air adalah kemampuan agregat untuk menyerap air dalam kondisi kering sampai dengan kondisi jenuh. Agregat yang memiliki penyerapan air tinggi memiliki daya rekat semen yang baik, tetapi juga menyebabkan mineral yang mudah larut dalam air akan cepat hilang sehingga keawetannya menjadi berkurang.

Kadar air dalam agregat mampu berubah bergantung pada kondisi agregatnya. Kondisi agregat dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Kondisi basah

Kondisi ini, terjadi pada agregat yang selalu pada kondisi basah karena terkena air hujan atau terendam air sehingga agregat menjadi jenuh, semua pori agregat terisi air dan permukaan menjadi basah.

2. Kondisi SSD

Pada kondisi ini, di bagian dalam agregat jenuh dengan air, tetapi di bagian permukaannya kering.

3. Kondisi kering udara

Apabila agregat ditempatkan pada ruang terbuka dan air didalam maupun permukaan agregat mengalami penguapan tetapi air yang dikandung di dalam agregat tidak habis.

Biasanya agregat mengalami kondisi ini pada saat musim kemarau.

4. Kondisi kering oven

Kondisi ini dapat diperoleh apabila agregat dikondisikan dalam suhu lebih dari 100⁰C dalam waktu yang cukup lama, sehingga kadar airnya menjadi 0%. Bagian permukaan dan bagian dalam agregat akan kering secara keseluruhan.

2.3.4.2. Gradasi Agregat Kasar

Gradasi agregat adalah persebaran variasi dimensi butir agregat. Gradasi agregat akan mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran beton. Gradasi agregat diperoleh melalui percobaan analisa gradasi agregat dengan ayakan. Ayakan yang digunakan memiliki diameter lubang yang berbeda – beda. Gradasi agregat dibagi menjadi 3 (tiga) jenis, yaitu

1. Gradasi seragam (*uniform graded*)

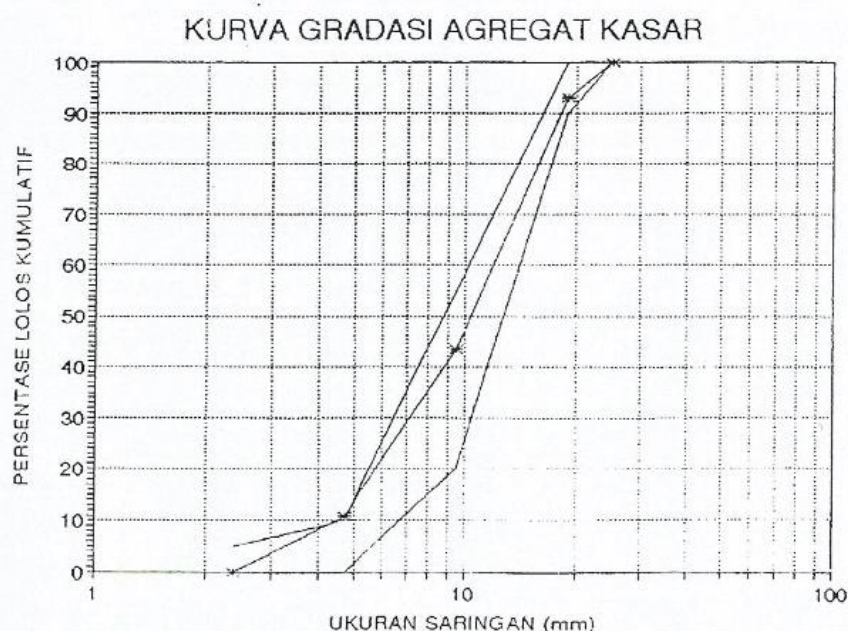
Gradasi seragam adalah gradasi yang memiliki ukuran agregat yang hampir sama. Gradasi ini disebut juga dengan gradasi terbuka karena memiliki sedikit agregat halus sehingga menyebabkan banyak rongga yang terbentuk.

2. Gradasi rapat (*dense graded*)

Gradasi rapat adalah gradasi yang memiliki ukuran agregat yang berbeda – beda. Agregat halus samapai dengan agregat kasar tercampur menjadi satu sehingga kedap air. Grdasi rapat disebut juga gradasi menerus atau gradasi baik (*well graded*) karena distribusi ukuran agregat yang merata.

3. Gradasi senjang (*gap graded*)

Gradasi senjang adalah gradasi agregat yang dimana ukuran agregatnya ada yang tidak lengkap sama sekali.



Gambar 2.3 Contoh Grafik Gradasi Agregat Kasar.

Sumber : Ari Wibowo dan Edhi W. Setyowati (2003)

Pada beton *porous*, jenis gradasi agregat yang digunakan adalah agregat dengan gradasi seragam karena dengan gradasi seragam, distribusi agregat relatif sama yang menciptakan pori – pori pada beton sehingga akan memudahkan air untuk mengalir (porositas tinggi).

2.3.5. Air

Air yang digunakan untuk memproduksi beton harus berkualitas baik. Air yang digunakan selama proses pembuatan beton tidak boleh mengandung mineral yang nantinya akan menurunkan kualitas beton seperti garam, asam alkali, minyak dan bahan-bahan organik. Air minum biasanya digunakan pada campuran beton.

Air berfungsi untuk membasahi agregat dan melumas campuran agar pengerjaan menjadi mudah dan untuk membentuk pasta semen. Pasta semen terbentuk dari reaksi kimia antara semen dan air. Air sangat menentukan kualitas mutu dari beton yang diproduksi sehingga diperlukan perbandingan ideal antara semen dan air. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyak gelembung udara setelah proses hidrasi selesai. Sehingga akan mengakibatkan kekuatan dari beton menjadi berkurang.

2.3.6. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly ash atau biasa disebut sebagai abu terbang merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus berwarna keabu – abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara (Wardani, 2008). Pada pembakaran batubara dalam PLTU menghasilkan 2 (dua) jenis limbah padat yaitu abu layang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel abu yang terbawa gas buang disebut *fly ash*, sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut *bottom ash*.

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun menyebutkan bahwa *Fly ash* dikategorikan sebagai bahan B3. *Fly ash* yang diperoleh dari produksi pembakaran batubara, dengan corong gas dan menyebar ke atmosfer. Hal ini yang menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan karena *fly ash* hasil dari pembakaran batubara dibuang sebagai timbunan.

Dalam usaha untuk menciptakan konstruksi yang berwawasan lingkungan, pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) sebagai bahan pengganti sebagian semen pada campuran beton merupakan salah satu usaha yang efektif dalam pemanfaatan limbah abu terbang. Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilaksanakan diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa penggunaan abu terbang sebagai bahan pengganti sebagian semen dapat memberikan dampak yang sangat baik.

Berdasarkan Michael Thomas (2007), terdapat beberapa dampak positif dari penggunaan abu terbang pada beton adalah sebagai berikut :

1. Mengurangi pemakaian air pada campuran beton dengan kondisi workabilitas yang sama dengan penggunaan semen PC.
2. Mengurangi *bleeding* atau terpisahnya air semen dalam campuran beton.
3. Mengurangi panas hidrasi beton.
4. Meningkatkan kuat tekan beton.
5. Rangkak pada beton mengandung abu terbang cenderung lebih rendah apabila dibandingkan dengan beton yang menggunakan semen PC saja dalam kondisi kekuatan yang sama.

Faktor – faktor yang mempengaruhi sifat fisik, kimia dan teknis dari *fly ash* adalah tipe batubara, kemurnian batubara, tingkat penghancuran, tipe pemanasan dan operasi, metode penyimpanan dan penimbunan (Wardani, 2008). Menurut SNI S-15-1990-F tentang spesifikasi abu terbang sebagai bahan tambahan untuk campuran beton dan Wardani (2008), *fly ash* dikelompokkan menjadi 3 jenis, antara lain :

a. Kelas F

Jenis ini pada umumnya diperoleh dari pembakaran *anthracite* (batubara keras yang mengkilat) atau *bituminous* batubara. Jenis *fly ash* ini bersifat *Pozzolanic*. *Fly ash* kelas ini memiliki kadar kapur rendah sebesar $\text{CaO} < 10\%$.

b. Kelas C

Jenis ini pada umumnya diperoleh dari *lignite* atau batubara subitumen. Jenis *fly ash* ini bersifat pozzolan dan sifat yang menyerupai semen yaitu dapat mengeras dan menambah kekuatan apabila bereaksi dengan air. Kandungan kapur sebesar $\text{CaO} > 20\%$.

c. Kelas N

Jenis ini adalah buangan atau pozzolan alam yang terkalsinasi. Seperti *opalinse chert*, tanah *diatomaceous* dan debu-debu vulkanik.

Tabel 2.1

Klasifikasi Abu Terbang Berdasarkan ASTM C 618 – 05.

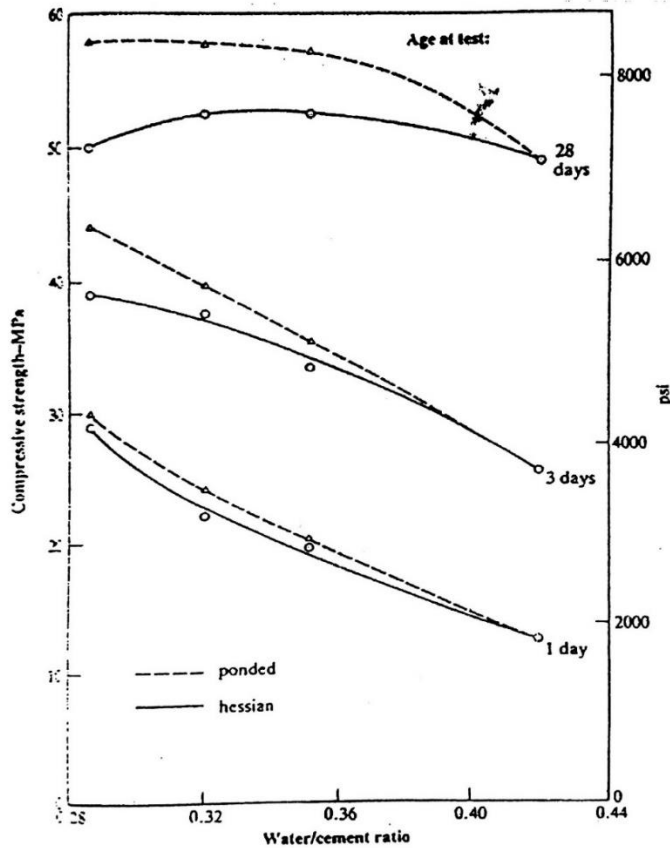
	Class		
	N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min, %	70.0	70.0	50.0
SO ₃ , max, %	4.0	5.0	5.0
Moisture Content, max, %	3.0	3.0	3.0
Loss on ignition, max, %	10.0	6.0 ^A	6.0

2.4. Perawatan Beton (*Curing*)

Perawatan beton (*curing*) adalah suatu usaha yang dilakukan untuk menjaga beton agar memiliki kadar air tetap antara di permukaan beton maupun di dalam beton yang mencukupi. Proses pengerasan beton diakibatkan oleh proses hidrasi semen. *Curing* dilakukan agar beton tidak mengalami retak plastis yang disebabkan oleh proses hidrasi semen. Hidrasi semen terjadi akibat proses reaksi antara semen dan air yang berlangsung terus menerus dan menimbulkan panas. Panas tersebut menyebabkan terjadinya penguapan air secara cepat dari dalam beton, biasanya hal tersebut dapat menimbulkan pori – pori pada beton. Bila proses penguapan air terjadi terlalu cepat, akan mempengaruhi proses pertumbuhan beton dan juga akan mengakibatkan susut beton secara berlebihan. Apabila susut tersebut terjadi secara berlebihan maka akan menimbulkan retak susut pada beton (Supartono, 1997). Karenanya *curing* beton merupakan salah satu prosedur penting dalam proses pelaksanaan pembuatan suatu konstruksi beton.

Pada beton *porous* perawatan tatap dilakukan untuk menjaga sifat permeabilitasnya. Berdasarkan Trisnoyuwono (2014), ada 2 (dua) cara untuk *curing* beton porous, yaitu:

- a) Metode *vacuum* beton, metode ini dilakukan sebanyak 4 kali / tahun tergantung letak konstruksi beton porous didirikan. Proses *vacuum* dilaksanakan untuk mengeluarkan / mengurangi kotoran yang berada di celah – celah pori.
- b) Metode *high pressure water flushing*, metode ini dilakukan sebanyak 2 kali / tahun. Proses ini dimaksudkan untuk membilas kontaminan / bahan polutan agar lolos masuk ke dalam celah pori sehingga tidak menutupi pori – pori beton porous.



Gambar 2.4 Pengaruh Kondisi Perawatan Beton Terhadap Kekuatan Tekan Silinder Uji

Sumber : Ari Wibowo dan Edhi W. Setyowati (2003)

2.5. Uji Kuat Tekan Beton

Berdasarkan SNI 03-1974-1990, kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin.

Besarnya kuat tekan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

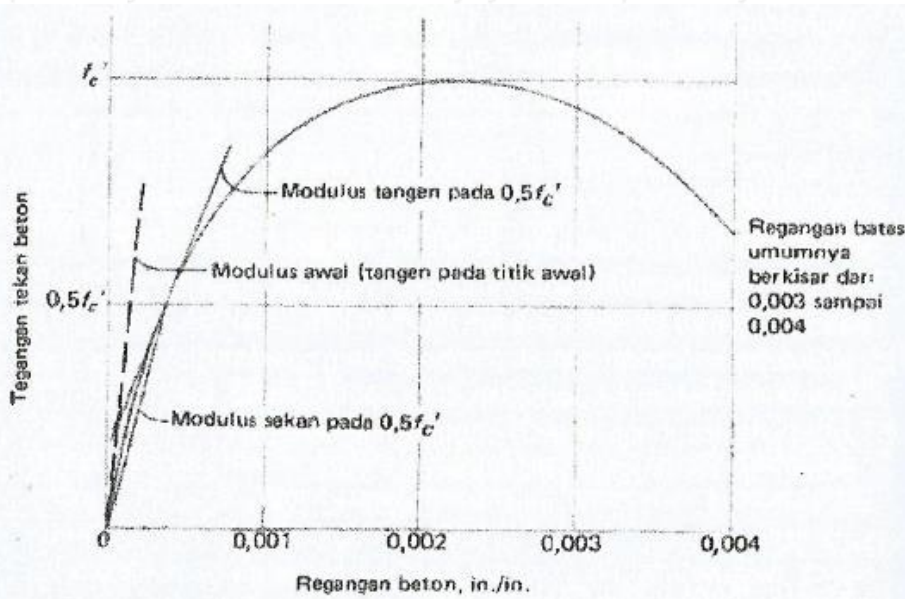
$$f'_c = \frac{P}{A}$$

dengan:

f'_c = kuat tekan beton umur rencana (N/mm^2)

P = beban uniaksial tekan maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm^2)



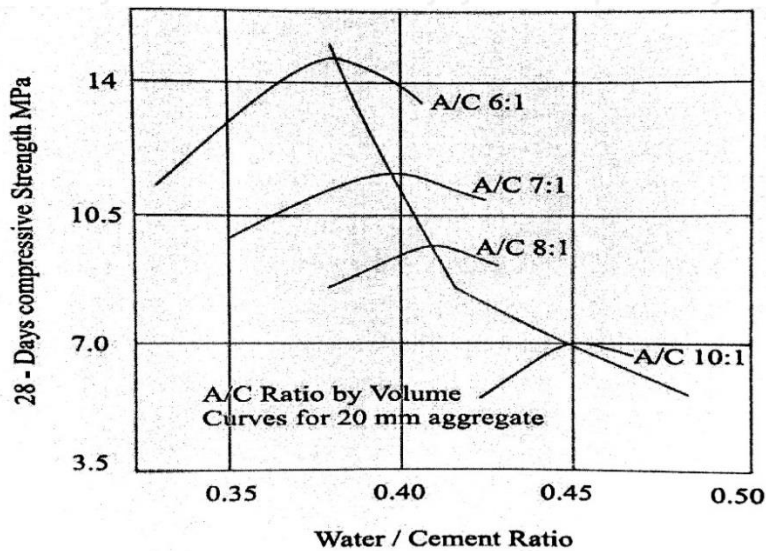
Gambar 2.5 Garfik Hubungan Tegangan – Regangan Beton Normal

Sumber : Siti Nurlina (2008)

Kuat tekan beton konvensional dapat mencapai 80 N/mm^2 (Murdock, 1981). Pada perbandingan semen : agregat kasar : agregat halus sebagai 1 : 4 : 2, beton konvensional memiliki kuat tekan sebesar $40 - 65 \text{ N/mm}^2$ dengan umur beton 28 hari.

Faktor – faktor yang mempengaruhi nilai kuat tekan beton antara lain pengaturan perbandingan antara semen, air, agregat kasar dan halus serta berbagai jenis bahan tambahan *addmixtures*, proses pencampuran atau *mixing* dan pemadatan atau *compacting*, serta proses perawatan beton atau *curing*. Kuat tekan maksimum beton tercapai pada umur 28 hari (PBI 1971).

Beton *porous* diproduksi agar memiliki rongga – rongga yang dapat ditembus air. Rongga – rongga ini yang mengakibatkan nilai kuat tekannya lebih rendah apabila dibandingkan dengan beton biasa. Kuat tekan beton *porous* dapat ditingkatkan dengan mengurangi kemampuan porositasnya. Porositas beton *porous* berbanding terbalik dengan kuat tekannya. Semakin besar kemampuan porositasnya maka kuat tekan beton *porous* semakin berkurang sedangkan semakin kecil kemampuan porositasnya maka semakin besar nilai kuat tekannya. Kuat tekan beton *porous* yang menggunakan RCA lebih rendah daripada beton *porous* yang menggunakan NCA (Sriravindrarajah et al., 2012). Hal ini dikarenakan pori – pori dari RCA lebih besar apabila dibandingkan dengan NCA.



Gambar 2.6 Hubungan Antara Kuat Tekan, w/c ratio, a/c ratio Untuk Beton Non-pasir.

Sumber : M.S. Shetty (2009)

Kuat tekan beton *porous* sebesar 2,8 MPa – 28 MPa (ACI 522R – 10). Hal ini menyebabkan pemanfaatan beton *porous* terbatas. Beton *porous* hanya dapat diaplikasikan pada konstruksi – konstruksi yang tidak menerima beban dengan intensitas tinggi seperti lapangan parkir, rekreasi, dan jalan pejalan kaki.

2.6. Penelitian Yang Telah Dilakukan Sebelumnya

2.6.1. Pemanfaatan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Semen Parsial Untuk Meningkatkan Performa Beton Agregat Daur Ulang (Eva Arifi, 2014)

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini antara lain :

1. Penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen dalam beton dapat mengurangi kekuatan beton. Namun, hal itu dapat mengurangi susut pengeringan beton, terutama pada beton yang menggunakan agregat daur ulang.
2. 25% dari *fly ash* sebagai pengganti semen dalam beton yang terbuat dari agregat daur ulang dapat mengurangi susut pengeringan dengan pengurangan kekuatan beton yang tidak signifikan.
3. Penggunaan metode *Two-Stage Mixing Approach* (TSMa) dalam pembuatan beton akan meningkatkan kuat tekan beton.
4. Penggunaan *fly ash* dan metode TSMa dapat meningkatkan performa beton yang terbuat dari agregat daur ulang

2.6.2. Pengaruh Penambahan Pasir Terhadap Kuat Tekan Dan Porositas Beton Porous (Arusmalem Ginting, Prasetya Adi, Dan Domnicus Obed Messias Costa)

Angka pori yang tinggi dapat menyebabkan rendahnya kuat tekan beton porous, sehingga diperlukan alternative bahan pengisi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pada penelitian ini digunakan bahan agregat halus yaitu pasir sebagai bahan pengisi beton porous. Benda uji yang digunakan yaitu silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. bahan tambahan yaitu sikacim concrete additive dengan dosis 7,5 ml/kg dari berat semen. Pengujian dilaksanakan setelah benda uji mencapai usia 28 hari. Penambahan pasir dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton porous. Pada FAS 0,3 memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi daripada FAS 0,4 dengan nilai kuat tekan maksimum sebesar 14,46 MPa. Berat isi beton porous semakin meningkat seiring dengan penambahan pasir pada campuran beton porous.

2.6.3. Desain Beton Berpori Untuk Perkerasan Jalan Yang Ramah Lingkungan (Daryanto Ari Prabowo, Ary Setyawan, dan Kusno Adi Sambowo, 2013)

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan material beton yang tembus air, sehingga nantinya akan diaplikasikan pada perkerasan jalan. Agregat batu pecah yang dipakai yaitu ukuran seragam 1-2 cm. Agregat halus dalam uji pendahuluan dengan proporsi 5%, 10% dan 30% dari proporsi agregat halus beton normal. Setelah diketahui proporsi yang tepat maka akan diuji dengan variasi FAS 0,30; 0,35; dan 0,40. Kemudian akan diuji kuat tekan, kuat lentur, porositas, permeabilitas dengan metode *falling head water permeability test*. Dari hasil pengujian beton berpori menggunakan 30% pasir dan variasi FAS 0,30; 0,35; dan 0,40 didapat nilai tertinggi yaitu pada campuran 30% pasir dan FAS 0,35 sebesar 5,190 MPa untuk kuat tekan dan 0,383 Mpa untuk kuat lentur. Hasil dari penelitian ini adalah nilai kuat tekan yang diperoleh tidak memenuhi standar untuk badan jalan, sehingga hanya dapat diaplikasikan pada bahan trotoar dan bahu jalan saja.

2.6.4. Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (*Fly Ash*) Dalam Beton Mutu Tinggi (Mardiono)

Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan kuat tekan beton mutu tinggi dan untuk mengetahui pengaruh substitusi semen dengan fly ash terhadap kuat tekan beton. Komposisi substitusi semen dengan fly ash sebanyak 0% ; 10% ; 20% ; 30% ; dan 40% dari berat semen. Bahan tambahan (admixture) yang digunakan yaitu *superplasticize* Sika Visocrete 10 sejumlah 1% dan FAS ditentukan sama pada variasi campuran beton. Banda uji yang digunakan yaitu kubus dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm. Mutu beton yang direncanakan sebesar 40 MPa pada usia 28 hari. Pengujian dilaksanakan pada saat umur beton mencapai usia 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil dari penelitian ini adalah kuat tekan beton tertinggi terdapat pada variasi fly ash 10% dengan nilai sebesar 41,57 MPa sedangkan nilai terendah terdapat pada variasi fly ash 40% dengan nilai sebesar 33,91 MPa. Penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan fly ash dengan takaran tertentu dapat meningkatkan kekuatan beton.

2.6.5. Kuat Tekan Dan Porositas As Beton Porous Dengan Bahan Pengisi *Styrofoam* (Arusmalem Ginting, 2015)

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi permasalahan angka pori yang tinggi yang diakibatkan terlalu tingginya penggunaan factor air semen pada beton porous. Untuk mengatasi permasalahan tersebut digunakan *styrofoam* sebagai bahan pengisi rongga. Pengujian ini menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. bahan pengisi Styrofoam yang digunakan sebanyak 3,4 kg/m³ beton. Pengujian kuat tekan dan porositas dilaksanakan saat beton porous mencapai usia 28 hari. Rasio agregat kasar yang digunakan terhadap semen adalah 3,4 ; 4,0 ; 4,5 dan 5,0 dengan FAS 0,24 dan 0,3. Bahan tambahan yang digunakan yaitu sikacim concrete additive. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah kuat tekan beton porous dengan bahan pengisi *styrofoam* mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya rasio agregat/semen dengan nilai kuat tekan maksimum sebesar 14,97 MPa pada FAS 0,3. Kuat tekan beton porous dengan FAS 0,25 lebih kecil dari FAS 0,3. Berat volume beton porous mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya rasio agregat/semen.

2.6.6. Kuat Tekan Beton Daur Ulang Sebagai Bahan Struktur Pada Bangunan Sederhana (Dahri Kuddu, dan M. Syavir Latif, 2013)

Penelitian ini menggunakan material daur ulang untuk mengurangi penggunaan bahan konvensional. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu agregat pecah beton yang berasal dari limbah tiang pancang dengan mutu K-600. Benda uji yang digunakan yaitu silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Perawatan beton menggunakan 3 (tiga) metode *curing* antara lain *water curing*, *indoor air curing* dan *outdoor air curing*. Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada usia 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Beton daur ulang yang berasal dari limbah bangunan masih memenuhi syarat untuk konstruksi utama karena K-225 yang direncanakan masih memenuhi syarat setelah 28 hari.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada semester VIII tahun 2016-2017.

3.2. Variabel Penelitian

Berikut ini merupakan variabel yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*) adalah faktor-faktor yang perubahannya bebas dilakukan oleh peneliti.
2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*) adalah variabel yang bergantung pada variabel bebas.

Tabel 3.1

Variabel Bebas dan Variabel Terikat Penelitian.

No.	Pengujian	Variabel Bebas	Variabel Terikat
1	Uji Kuat Tekan	<i>Fly Ash</i> 0%, 15% dan 25%	Kuat Tekan Beton
	Beton <i>Porous</i>	RCA 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%.	<i>Porous</i> .

3.3. Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1. Alat Penelitian

Untuk melaksanakan pengujian kuat tekan beton porous diperlukan peralatan (SNI 03-1974-1990) sebagai berikut:

1. Cetakan silinder, diameter 150 mm, tinggi 300 mm;
2. Tongkat pemadat diameter 16 mm, panjang 600 mm, dengan ujung dibulatkan, dibuat dari baja yang bersih dan bebas karat;
3. Mesin pengaduk beton;
4. Timbangan dengan kapasitas 150 kg ketelitian 100 gr;
5. Timbangan dengan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gr;
6. Mesin tekan, kapasitas sesuai kebutuhan;
7. Satu set ayakan untuk analisa gradasi agregat;

8. Ember;
9. Sekop;
10. Obeng;
11. Satu set alat pemeriksa *slump* beton;
12. Jangka sorong dan mistar pengukur;
13. Alat tulis

3.3.2. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Semen *Portland Pozzoland*;
2. Air PDAM Kota Malang;
3. Agregat Kasar Daur Ulang (RCA);
4. Agregat Kasar Alam (NCA);
5. *Fly Ash*;

3.4. Analisa Bahan

3.4.1. Agregat Kasar Alam (NCA)

Agregat kasar alam (NCA) diperoleh dari 2 (dua) sumber. Sumber yang pertama berada di daerah Sawojajar, Kota Malang sedangkan sumber kedua berasal dari daerah Sawojajar, Kota Malang.

3.4.2. Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

RCA yang didapatkan dari hasil daur ulang beton harus bersih dari kotoran organik dan anorganik. Pengujian RCA dilakukan terlebih dahulu sebelum digunakan. Pengujian yang dilakukan antara lain, analisa gradasi agregat, berat jenis agregat dan penyerapan agregat berdasarkan ASTM C-33. RCA berasal dari beton mutu K-175 sampai dengan K-225 yang dihancurkan dan diperoleh dari crusher / alat pemisah antara agregat kasar dan agregat halus yang terletak di daerah Tunggul Wulung, Kota Malang.

3.4.3. Semen *Portland Pozzoland*

Semen yang dipakai dalam penelitian merupakan Semen *Portland Pozzoland* dan tidak melalui proses pengujian. Semen yang digunakan dengan merk Semen Gresik.

3.4.4. Fly Ash

Fly Ash yang dipakai melalui proses pengujian untuk mengetahui bahan-bahan yang terkandung dalam *fly ash*. Hasil pengujian akan dibandingkan dengan aturan ASTM C 618 – 05 untuk mengkategorikan *fly ash* yang akan digunakan.

3.4.5. Air

Air yang digunakan dalam penelitian berasal dari PDAM Kota Malang dan tidak dilakukan pengujian.

3.5. Rancangan Penelitian

3.5.1. Mix Design Beton Porous

Mix design beton *porous* berdasarkan ACI 522R – 10, dengan volume tiap 1 m³ sebagai berikut:

Tabel 3.2

Proporsi material beton berpori

Semen (kg/m ³)	270	415	350
Agregat kasar (kg/m ³)	1190	1480	1400
FAS (w/c)	0.27	0.34	0.30

Pada pengujian beton *porous*, digunakan FAS sebesar 0,3 dan perbandingan semen : Agregat kasar sebesar = 1 : 4, sehingga berat semen dan agregat kasar ditetapkan sebesar 300 kg/m³ dan 1400 kg/m³.

Tabel 3.3

Volume Pekerjaan Dalam 1 Campuran.

No.	Jenis Pengujian	Jenis Benda Uji	Dimensi p (cm)	l (cm)	t (cm)	Ø (cm)	Jumlah Benda Uji	Volume
								Total (cm ³)
1	Kuat Tekan	Silinder			30	15	3	15910.71
2	Tarik Belah	Silinder			30	15	3	15910.71
3	Kuat Lentur	Balok	53	15	15		3	35775
Total Volume 1 Campuran =								67596.43 cm ³
								= 0.067596 m ³
Toleransi dengan slump = 1 silinder =								5303.57 cm ³
								= 0.005304 m ³
								= 0.07290 m ³

$$\begin{aligned} \text{Volume total untuk 15 mix design} &= 15 * 0,07290 \\ &= 1,0935 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berdasarkan ACI 522R – 10

$$\text{Berat semen} = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat agregat kasar} = 1400 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{FAS} = 0,3$$

Sehingga, diperoleh kebutuhan material sebagai berikut,

$$\text{Berat semen} = 1,0935 \times 350 = 383 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat agregat kasar} = 1,0935 \times 1400 = 1531 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{FAS} = 0,3$$

Untuk perhitungan kebutuhan *fly ash*,

$$1 \text{ binder untuk 1 mix design} = \text{fly ash} + \text{semen} = 1,0935 \times 350 = 25,6 \text{ kg}$$

3.5.2. Kebutuhan Material

Berdasarkan hasil perhitungan mix design beton porous, maka diperoleh hasil sebagai berikut,

Tabel 3.4
Kebutuhan Material

RCA	FA	Benda Uji	Agregat (kg)	NCA (kg)	RCA (kg)	Binder (kg)	Semen (kg)	FA (kg)	W/C
0%	0%	a0b0 / a0c0	102.4	102.4	0.0	25.6	25.6	0	7.7
25%	0%	a1b0 / a1c0	102.4	76.8	25.6	25.6	25.6	0	7.7
50%	0%	a2b0 / a2c0	102.4	51.2	51.2	25.6	25.6	0	7.7
75%	0%	a3b0 / a3c0	102.4	25.6	76.8	25.6	25.6	0	7.7
100%	0%	a4b0 / a4c0	102.4	0.0	102.4	25.6	25.6	0	7.7
0%	15%	a0b1	102.4	102.4	0.0	25.6	21.8	3.9	7.7
25%	15%	a1b1	102.4	76.8	25.6	25.6	21.8	3.9	7.7
50%	15%	a2b1	102.4	51.2	51.2	25.6	21.8	3.9	7.7
75%	15%	a3b1	102.4	25.6	76.8	25.6	21.8	3.9	7.7
100%	15%	a4b1	102.4	0.0	102.4	25.6	21.8	3.9	7.7
0%	25%	a0b2	102.4	102.4	0.0	25.6	19.2	6.4	7.7
25%	25%	a1b2	102.4	76.8	25.6	25.6	19.2	6.4	7.7
50%	25%	a2b2	102.4	51.2	51.2	25.6	19.2	6.4	7.7
75%	25%	a3b2	102.4	25.6	76.8	25.6	19.2	6.4	7.7
100%	25%	a4b2	102.4	0.0	102.4	25.6	19.2	6.4	7.7

Contoh perhitungan pada campuran a2b1, sebagai berikut ini :

$$\text{Agregat} = \frac{4}{1} \times 25,6 = 102,4 \text{ kg}$$

$$\text{NCA} = 102,4 \times (100\% - 50\%) = 51,2 \text{ kg}$$

$$\text{RCA} = 102,4 \times (100\% - 50\%) = 51,2 \text{ kg}$$

$$\text{Semen} = 25,6 \times (100\% - 15\%) = 21,8 \text{ kg}$$

$$\text{Fly ash} = 25,6 \times (15\%) = 3,9 \text{ kg}$$

$$\text{W/C} = 0,3 \times 25,6 = 7,7 \text{ L}$$

Tabel 3.5

Rekapitulasi Kebutuhan Material

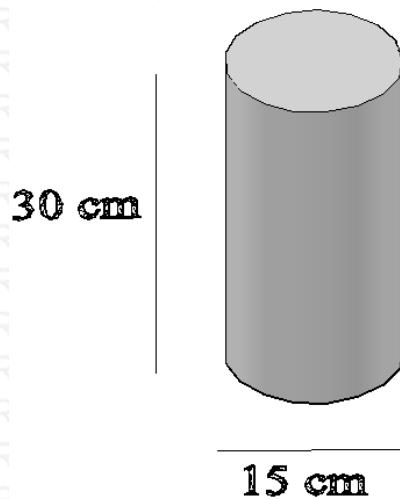
No.	Material	Jumlah (kg)
1	Semen	333
2	Agregat Kasar Alam	768
3	Agregat Kasar Daur Ulang	768
4	<i>Fly Ash</i>	51.5

3.5.3. Rancangan Benda Uji Kuat Tekan

Penelitian menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Variasi campuran pada benda uji antara lain:

1. Faktor A : komposisi RCA 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%.
2. Faktor B : komposisi *Fly Ash* 0%, 15%, dan 25%.

Uji kuat tekan beton *porous* dilakukan untuk mengetahui besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu (SNI 03-1974-1990). Rancangan benda uji kuat tekan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.



Gambar 3.1 Dimensi benda uji kuat tekan.

Tabel 3.6

Faktor Benda Uji Kuat Tekan Umur 28 hari.

Faktor	Indeks	Keterangan
RCA	a0	0%
	a1	25%
	a2	50%
	a3	75%
	a4	100%
Fly ash	b0	0%
	b1	15%
	b2	25%

Tabel 3.7

Variasi Benda Uji Kuat Tekan Umur 28 hari.

	b0	b1	b2
a0	a0b0	a0b1	a0b2
a1	a1b0	a1b1	a1b2
a2	a2b0	a2b1	a2b2
a3	a3b0	a3b1	a3b2
a4	a4b0	a4b1	a4b2

Dari tabel 3.7 maka diperoleh 15 tipe mix design yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini. Setiap mix design akan dibuat 3 buah benda uji kuat tekan. Dari setiap benda uji akan diuji kuat tekan untuk memperoleh beban maksimum yang mampu ditahan

oleh benda uji silinder. Berikut merupakan form penulisan pengujian sesuai dengan tabel 3.8.

Tabel 3.8

Form Pengujian Kuat Tekan Beton *Porous* Umur 28 hari

No.	Benda uji	Beban (kN)	Keterangan
1	a0b0		
2	a1b0		
3	a2b0		
4	a3b0		
5	a4b0		
6	a0b1		
7	a1b1		
8	a2b1		
9	a3b1		
10	a4b1		
11	a0b2		
12	a1b2		
13	a2b2		
14	a3b2		
15	a4b2		

3.6. Prosedur Penelitian

3.6.1. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan, antara lain:

1. Pengujian kandungan *fly ash*
2. Pengujian berat jenis agregat kasar sesuai dengan SNI 03-1969-1990.
3. Pengujian penyerapan air agregat kasar sesuai dengan SNI 03-1969-1990.

3.6.2. Pengujian Kandungan *Fly Ash*

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui isi kandungan mineral *fly ash* dan selanjutnya akan dilakukan pengkategorian sesuai dengan ASTM C 618 – 05. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang dan dilakukan oleh ahlinya.

3.6.3. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan presentase berat air yang mampu diserap pori terhadap berat agregat kasar kering.

A. Pelaksanaan Pengujian.

1. Cuci agregat kasar
2. Keringkan agregat kasar di dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$ sampai beratnya tetap.
3. Dinginkan dalam suhu kamar selama 1 sampai 3 jam, biarkan mengering hingga suhunya kira-kira 50°C . Timbang benda uji dengan ketelitian 0,5 gram.
4. Rendam agregat kasar dalam air pada suhu ruangan selama 24 ± 4 jam.
5. Keluarkan agregat kasar, lap dengan lembaran penyerap air. Lakukan dengan hati-hati untuk menghindari penguapan air dari pori-pori agregat dalam mencapai kondisi SSD.
6. Timbang agregat kasar.
7. Letakan agregat kasar ke dalam keranjang dan masukkan ke dalam air. Guncangkan agregat tersebut untuk mengeluarkan udara dan menentukan beratnya di dalam air.

B. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air.

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gram)

$$\text{Berat jenis (Bulk)} = \frac{Bk}{(Bj - Ba)} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{Bj}{(Bj - Ba)} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{(Bk - Ba)} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(Bj - Bk)}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots(3.4)$$

Tabel 3.9

Form Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat

Nomor Contoh			
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	

Tabel 3.10

Form Perhitungan Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat

Nomor Contoh		
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	Bk/(Bj-Ba)	
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)		Bj/(Bj-Ba)
Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity)	Bk/(Bk-Ba)	
Penyerapan (%) (Absorption)		(Bj-Bk)/Bk x 100%

3.6.4. Pembuatan Benda Uji Kuat Tekan Beton

Langkah-langkah pembuatan benda uji silinder adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk membuat benda uji.
2. Menyiapkan cetakan silinder. Cetakan silinder harus bersih dari kotoran yang kemudian diolesi dengan oli secara merata.
3. Menyiapkan mesin pencampur beton (*concrete mixer*). *Concrete mixer* dalam keadaan telah menyala.
4. Menuangkan agregat kasar kemudian semen *Portland Pozolan* dan *fly ash* sesuai dengan *mix design* yang telah direncanakan.
5. Menambahkan air secara perlahan.
6. Pengadukan dengan *concrete mixer* sampai merata.
7. Selanjutnya campuran beton *porous* segar diuji *slump*. Untuk beton *porous* memiliki nilai *slump* ± 12 cm.
8. Cek nilai *slump* beton *porous*. Apabila nilai *slump* tidak memenuhi syarat maka perlu ditambahkan bahan kembali lalu diaduk hingga nilai *slump* tercapai.
9. Proses pencetakan silinder ke dalam bekisting. Pada proses penuangan beton *porous*, beton ditusuk sebanyak 25 kali agar merata.

3.6.5. Pengujian Kuat Tekan Beton *Porous*

Pengujian dilakukan pada saat umur silinder beton *porous* 28 hari. Tahap-tahap pengujian kuat tekan beton *porous* (SNI 03-1974-1990), antara lain:

A. Tahap Persiapan Pengujian

1. Ambil beda uji kuat tekan yang akan diuji. Bersihkan kotoran yang menempel pada benda uji;
2. Tentukan berat dan ukuran benda uji;
3. Lapislah (*Capping*) permukaan atas benda uji dengan mortar belerang cair dan biarkan hingga mengeras.
4. Benda uji siap untuk diuji.

B. Tahap Pengujian Kuat Tekan

1. Benda uji diletakkan sentris pada mesin tekan.
2. Mesin tekan dijalankan dengan penambahan beban antara 2 sampai 4 kg/cm² per detik.
3. Pembebanan dilakukan sampai benda uji hancur.
4. Catat beban maksimum yang terjadi pada pengujian.
5. Hitung kuat tekan beton.



Gambar 3.2 Alat Uji Kuat Tekan Beton.



C. Perhitungan Kuat Tekan Beton

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Keterangan:

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang (cm²)

3.7. Rancangan Analisis Data

3.7.1. Hasil Penelitian Pendahuluan

Pada penelitian pendahuluan diperoleh data hasil analisa gradasi agregat, berat jenis dan penyerapan agregat. Analisa dilakukan menggunakan nilai rata-rata dari setiap sampel yang diuji.

3.7.2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton *Porous*

Setelah pengujian maka diperoleh data beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji silinder, selanjutnya dianalisis dengan nilai rata-rata dari setiap variasi mix design. Kemudian akan diperoleh komposisi optimum dari variasi *fly ash* dan RCA.

Tabel 3.11

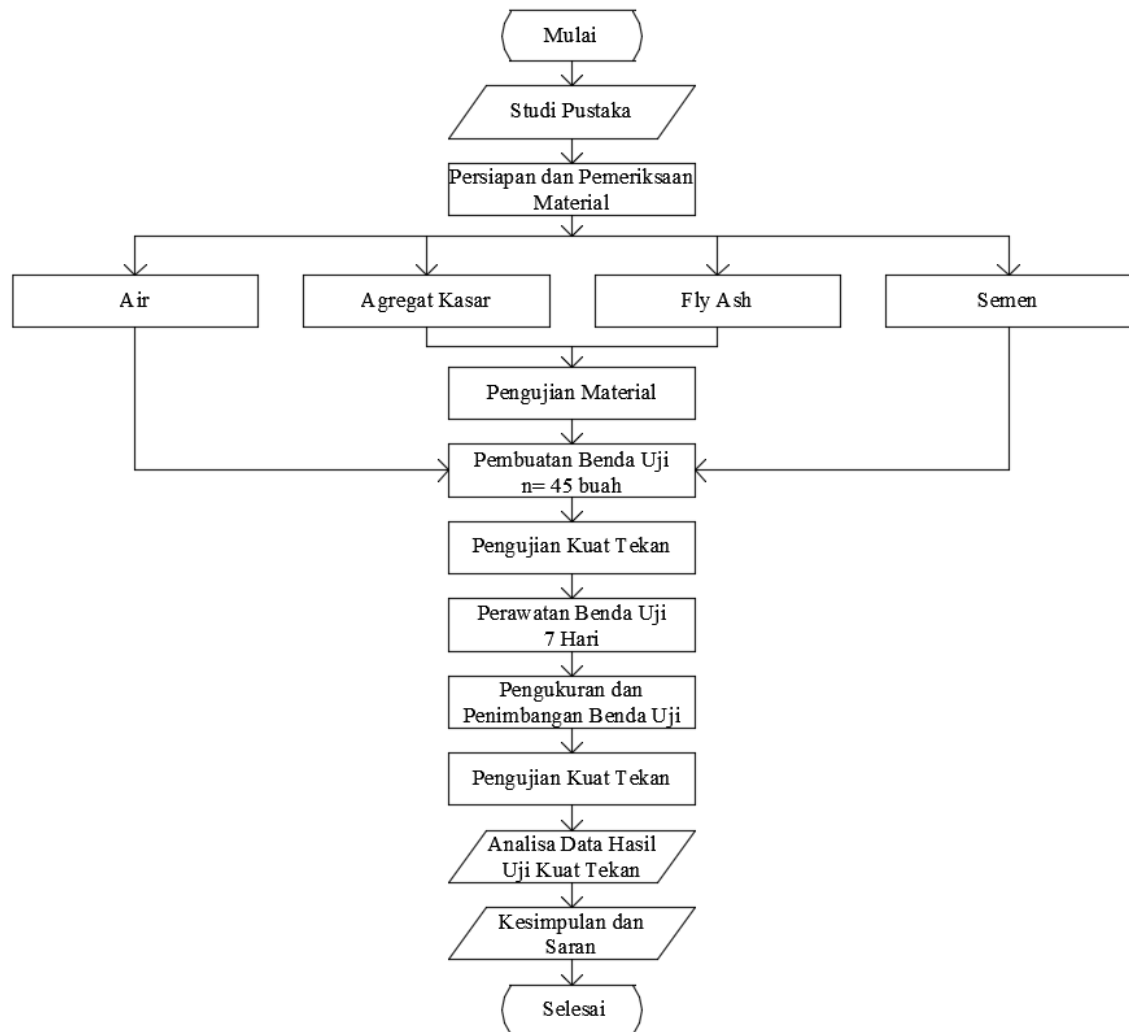
Form Uji Kuat Tekan Beton *Porous*

No. Benda Uji	Massa Benda Uji (kg)	Dimensi		Luas Bidang (mm ²)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)	Keterangan
		L (mm)	D (mm)					

3.8. Hipotesis Penelitian

1. Semakin besar persentase penggunaan RCA maka semakin kecil nilai kuat tekan yang dihasilkan beton *porous*.
2. Komposisi *fly ash* yang yang optimal dapat meningkatkan kualitas beton *porous* berkisar antara 15% sampai dengan 25%.

3.9. Diagram Alir Tahapan Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian.

Halaman ini sengaja dikosongkan





BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Dan Analisa Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilaksanakan untuk mengetahui karakteristik dari bahan yang digunakan, antara lain agregat kasar alam (NCA), agregat kasar daur ulang (RCA), semen dan air. Penelitian dilaksanakan pada agregat kasar meliputi berat jenis agregat dan penyerapan dan pengujian kandungan mineral *fly ash*. Pengujian *fly ash* dilaksanakan di laboratorium Universitas Negeri Malang Fakultas MIPA. Semen tidak melalui pengujian khusus dikarenakan pada penelitian ini menggunakan semen PPC Gresik yang telah memiliki persyaratan khusus dari PT. Semen Gresik. Penggunaan air berasal dari PDAM Kota Malang dan tidak melalui penelitian khusus.

4.1.1. Analisa Spesifikasi *Fly Ash*

Pengujian *fly ash* menggunakan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) yaitu menguji kandungan unsur dari Natrium hingga Uranium. Teknik *X-Ray fluorescence* merupakan suatu teknik analisis yang dapat menganalisa unsur – unsur yang membangun suatu material. Teknik ini dapat digunakan untuk memnentukan konsentrasi unsur berdasarkan pada panjang gelombang dan jumlah sinar X yang dipancarkan kembali setelah suatu material ditembaki sinar X (*Theory Of XRF*, Peter Brouwer, 2010).



Gambar 4.1 *Fly ash*.

Sumber: www.kcflyash.com

Tabel 4.1
 Hasil Pengujian Kandungan Senyawa *Fly ash*

No Filter			Helium		
Compound	Cone (%)	Metode	Compound	Cone (%)	Metode
Al ₂ O ₃	7.500		MgO	0.69	
SiO ₂	20.400		Al ₂ O ₃	3.10	
SO ₃	1.600		SiO ₂	12.50	
K ₂ O	1.200		P ₂ O ₅	0.22	
CaO	25.800		K ₂ O	1.90	
TiO ₂	1.300		CaO	57.50	
V ₂ O ₅	0.050		TiO ₂	3.80	XRF
Cr ₂ O ₃	0.079		V ₂ O ₅	0.71	
MnO	0.320		Cr ₂ O ₃	1.40	
Fe ₂ O ₃	37.770	XRF	MnO	7.60	
NiO	0.913		MoO ₃	3.90	
CuO	0.110		In ₂ O ₃	1.20	
ZnO	0.060		BaO	5.50	
SrO	0.640		Total	100.02	
MoO ₃	1.000				
In ₂ O ₃	0.070				
BaO	0.410				
Eu ₂ O ₃	0.300				
Re ₂ O ₇	0.100				
HgO	0.210				
Total	99.832				

Tabel 4.1 merupakan hasil dari pengujian *fly ash* yang digunakan dalam penelitian beton *porous*. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa *fly ash* yang digunakan memiliki kandungan senyawa SO₃, SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃, masing – masing sebesar 1,6% ; 20,4% ; 7,5% dan 37,77%. Berdasarkan ASTM C 618 – 05, *fly ash* yang dipakai untuk penelitian beton *porous* termasuk ke dalam kelas C dengan rincian sebagai berikut :

$$\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3 = 20,4\% + 7,5\% + 37,77\% = 65,67\%$$

Tabel 4.2
Klasifikasi *Fly ash* Berdasarkan ASTM C 618 – 05

	Class		
	N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min, %	70.0	70.0	50.0
SO ₃ , max, %	4.0	5.0	5.0
Moisture Content, max, %	3.0	3.0	3.0
Loss on ignition, max, %	10.0	6.0 ^A	6.0

Hasil ini menunjukkan bahwa apabila ketiga senyawa tersebut dijumlahkan maka memiliki nilai jumlah (NJ) sebesar 65,67%. Nilai Jumlah (NJ) tersebut masuk ke dalam rentang nilai *fly ash* tipe C, $70\% > NJ > 50\%$ dan kandungan SO₃ *fly ash* kurang dari 5% yang merupakan salah satu syarat *fly ash* tipe C. Berdasarkan ASTM C 618 – 05, *fly ash* tipe C memiliki sifat yang pozolanik dan bersifat *cementitious* sehingga *fly ash* tipe C dapat menggantikan sebagian dari penggunaan semen PPC.

4.1.2. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar menggunakan 3 sampel agregat kasar daur ulang dan 5 agregat kasar alam dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.3
Hasil Pengujian Agregat Kasar Daur Ulang (RCA).

Nomor Contoh		a	b	c
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj (gr)	2000	5000	5000
Berat benda uji kering oven	Bk (gr)	1924.8	4750	4700
Berat benda uji dalam air	Ba (gr)	1222	2958.7	2918.4

Tabel 4.4
Hasil Pengujian Agregat Kasar Daur Ulang (RCA).

Nomor Contoh		a	b	c	Rata-Rata
Berat Jenis Curah	Bk/(Bj-Ba)	2.474	2.327	2.258	2.353
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	Bj/(Bj-Ba)	2.571	2.449	2.402	2.474
Berat Jenis Semu	Bk/(Bk-Ba)	2.739	2.652	2.638	2.676
Penyerapan (%)	$(Bj-Bk) / Bk \times 100\%$	3.907	5.263	6.383	5.184

Dari hasil pengujian berat jenis agregat kasar daur ulang pada tabel 4.3 dan 4.4 diperoleh 3 (tiga) variasi berat jenis antara lain, berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh dan berat jenis semu. Nilai yang diperoleh dari ketiga berat jenis tersebut, yaitu 2,353 ; 2,4474 dan 2,676. nilai berat jenis yang digunakan yaitu nilai berat jenis kering permukaan jenuh karena dalam penelitian beton porous digunakan agregat kasar dalam kondisi kering permukaan jenuh, dengan nilai 2,474. Hal ini menunjukkan agregat kasar daur ulang dapat digolongkan menjadi agregat kasar normal. Pada penyerapan agregat kasar daur ulang memiliki nilai sebesar 5,184%. Nilai penyerapan ini melebihi batas normal yang disyaratkan.



Gambar 4.2 Contoh Agregat Kasar Daur Ulang (RCA).

Tabel 4.5
Hasil Pengujian Agregat Kasar Alam (NCA).

Nomor Contoh		1	2	3	4	5
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh	Bj (gr)	5000	5000	5000	5000	5000
Berat Benda Uji Kering Oven	Bk (gr)	4364.4	4357.8	4452.6	4380	4314.4
Berat Benda Uji Dalam Air	Ba (gr)	2815	2818	2870	2819	2806

Tabel 4.6
Hasil Pengujian Agregat Kasar Alam (NCA).

Nomor Contoh		1	2	3	4	5	Rata-Rata
Berat Jenis Curah	$Bk/(Bj-Ba)$	1.997	1.997	2.090	2.008	1.966	2.012
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	$Bj/(Bj-Ba)$	2.288	2.291	2.347	2.293	2.279	2.300
Berat Jenis Semu	$Bk/(Bk-Ba)$	2.817	2.830	2.813	2.806	2.860	2.825
Penyerapan (%)	$(Bj-Bk) / Bk \times 100\%$	14.563	14.737	12.294	14.155	15.891	14.328

Dari hasil pengujian berat jenis agregat kasar alam pada tabel 4.5 dan 4.6 diperoleh 3 (tiga) variasi berat jenis antara lain, berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh dan berat jenis semu. Nilai rata – rata yang diperoleh dari ketiga berat jenis tersebut, yaitu 2,012 ; 2,300 dan 2,825, nilai berat jenis yang digunakan yaitu nilai berat jenis kering permukaan jenuh karena pada saat penelitian, agregat kasar yang digunakan dikondisikan dalam keadaan kering permukaan jenuh, dengan nilai 2,300. Hal ini menunjukkan agregat kasar alam dapat digolongkan menjadi agregat kasar normal. Pada penyerapan agregat kasar alam memiliki nilai yang tinggi yaitu sebesar 14,328%. Nilai penyerapan ini melebihi batas normal yang disyaratkan.

Tabel 4.7

Rekapitulasi Pengujian Agregat Kasar.

Sampel	RCA	NCA	ASTM C – 33
Berat Jenis Curah	2.353	2.012	2,4 - 2,9
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	2.474	2.300	2,4 - 2,9
Berat Jenis Semu	2.676	2.825	2,4 - 2,9
Penyerapan (%)	5.184	14.328	0,2 – 2,0

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis dari agregat kasar alam dan agregat kasar daur ulang dapat disimpulkan bahwa nilai berat jenis kering permukaan jenuh agregat kasar alam (NCA) sebesar 2,300 lebih rendah dari nilai agregat kasar daur ulang (RCA) sebesar 2,474. Nilai berat jenis kering permukaan jenuh RCA masih memenuhi syarat ASTM C – 33 sedangkan nilai berat jenis kering permukaan jenuh NCA tidak masuk ke dalam rentang nilai ASTM C-33. Nilai penyerapan agregat kasar alam (NCA) sebesar 14,328% lebih besar dari nilai agregat kasar daur ulang (RCA) sebesar 5,184%. Kedua agregat kasar memiliki nilai penyerapan yang tinggi apabila dibandingkan dengan ASTM C – 33.



Gambar 4.3 Contoh Agregat Kasar Alam (NCA).

Nilai penyerapan ini berkaitan dengan pori – pori yang terdapat pada agregat. Data menunjukkan bahwa pori pada agregat kasar alam (NCA) lebih memiliki daya serap yang tinggi, hal ini mengakibatkan sifat penyerapan yang mudah menyerap dan juga mudah hilangnya air yang terserap didalam agregat kasar tersebut sedangkan pada agregat kasar alam (RCA) memiliki nilai penyerapan yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa penyerapan agregat kasar daur ulang (RCA) memiliki kualitas yang lebih baik dari agregat kasar alam (NCA).

4.1.3. Berat Isi Agregat Kasar

Tabel 4.8

Hasil Uji Berat Isi Agregat Kasar.

		RCA	NCA
Berat wadah	(gr)	1050	1050
Berat wadah + Air	(gr)	3100	3100
Berat air = (2) - (1)	(gr)	2050	2050
Volume air = (3) / ρ air	(cm ³)	2050	2050
Berat wadah + sampel	(gr)	4050	4150
Berat sampel = (5) - (1)	(gr)	3000	3100
Berat isi agregat kasar = (6) / (4)	(gr/cc)	1.46341	1.5122

Berdasarkan tabel 4.8 menunjukkan bahwa berat isi agregat kasar RCA sebesar 1,46341 gr/cc sedangkan berat isi agregat kasar NCA sebesar 1,5122 gr/cc. Hal ini menunjukkan bahwa butiran NCA memiliki kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan RCA. Hasil ini sesuai dengan kondisi fisik alami NCA yang berasal dari batu pecah alam sedangkan RCA yang berasal dari hasil daur ulang beton sehingga sebagian permukaan RCA tertutup dengan mortar semen. Namun hasil berat isi ini berbanding terbalik dengan hasil penyerapan agregat. Nilai penyerapan RCA lebih rendah dibandingkan dengan nilai penyerapan NCA. Seharusnya nilai berat isi RCA dan penyerapan agregat RCA berbanding lurus.

4.2. Hasil Pengujian Beton *Porous*

4.2.1. Berat Isi Beton *Porous*

Tabel 4.9

Hasil Berat Isi Beton *Porous*.

No. Benda Uji	Diameter (mm)			Tinggi (mm)			Volume Benda Uji (m ³)	Massa Benda Uji (kg)	Berat Isi (kg/m ³)	Berat Isi Rata-Rata (kg/m ³)	Keterangan
	Titik 1	Titik 2	Rata-Rata	Titik 1	Titik 2	Rata-Rata					
a0b0	(1)	150	148	149	300	300	300	0.00523	9.7	1855.275	1927.305 FA 0% ; RCA 0%
	(2)	150	148	149	300	300	300	0.00523	9.9	1893.5281	
	(3)	150	149.5	149.75	300	300	300	0.00528	10.55	1997.689	
	(4)	150	150	150	300	300	300	0.00530	10.4	1962.7271	
a1b0	(1)	149	148	148.5	304	304	304	0.00526	9	1710.1979	1748.568 FA 0% ; RCA 25%
	(2)	147	149	148	304	304	304	0.00523	9.15	1750.469	
	(3)	149	147	148	303	303	303	0.00521	9.3	1785.037	
a2b0	(1)	148	144	146	305	305	305	0.00510	9.75	1910.4224	1833.106 FA 0% ; RCA 50%
	(2)	148	148	148	303	305	304	0.00523	9.55	1826.9922	
	(3)	149	149	149	304	305	304.5	0.00531	9.35	1761.9035	
a3b0	(1)	148	149	148.5	300	299	299.5	0.00518	9.25	1784.1129	1749.463 FA 0% ; RCA 75%
	(2)	149	148	148.5	302	302	302	0.00523	9.15	1750.2157	
	(3)	149	148	148.5	305	305	305	0.00528	9.05	1714.0606	
a4b0	(1)	148	148	148	302	303	302.5	0.00520	9.65	1855.2774	1878.958 FA 0% ; RCA 100%
	(2)	147	149	148	304	305	304.5	0.00524	9.85	1881.2904	
	(3)	147	148	147.5	303	304	303.5	0.00518	9.85	1900.3073	
a0b1	(1)	148	149	148.5	301	300	300.5	0.00520	9.25	1778.1758	1775.172 FA 15% ; RCA 0%
	(2)	150	148	149	302	303	302.5	0.00527	9.4	1783.0367	
	(3)	148	149	148.5	304	305	304.5	0.00527	9.3	1764.3027	
a1b1	(1)	147	150	148.5	304	303	303.5	0.00525	9.7	1846.2499	1811.092 FA 15% ; RCA 25%
	(2)	149	147	148	304	304	304	0.00523	9.55	1826.9922	
	(3)	147	149	148	304	304	304	0.00523	9.2	1760.0344	
a2b1	(1)	149	148	148.5	305	304	304.5	0.00527	9.8	1859.1576	1866.546 FA 15% ; RCA 50%
	(2)	149	148	148.5	305	306	305.5	0.00529	9.75	1843.6176	
	(3)	148	148	148	301	303	302	0.00519	9.85	1896.864	
a3b1	(1)	147	149	148	304	305	304.5	0.00524	9.9	1890.8401	1849.483 FA 15% ; RCA 75%
	(2)	149	148	148.5	304	304	304	0.00526	9.45	1795.7078	
	(3)	149	148	148.5	303	302	302.5	0.00524	9.75	1861.9014	
a4b1	(1)	148	148	148	304	303	303.5	0.00522	9.95	1906.6514	1892.798 FA 15% ; RCA 100%
	(2)	149	148	148.5	303	304	303.5	0.00525	9.95	1893.8336	
	(3)	148	148	148	303	304	303.5	0.00522	9.8	1877.9079	
a0b2	(1)	148	149	148.5	304	303	303.5	0.00525	10	1903.3504	1908.564 FA 25% ; RCA 0%
	(2)	147	149	148	302	303	302.5	0.00520	9.8	1884.1159	
	(3)	149	148	148.5	304	304	304	0.00526	10.2	1938.2243	

Tabel 4.10
Hasil Berat Isi Beton *Porous* (lanjutan).

No. Benda Uji	Diameter (mm)			Tinggi (mm)			Volume Benda Uji (m ³)	Massa Benda Uji (kg)	Berat Isi (kg/m ³)	Berat Isi Rata-Rata (kg/m ³)	KET
	Titik 1	Titik 2	Rata-Rata	Titik 1	Titik 2	Rata-Rata					
a1b1	(1)	147	150	148.5	304	303	303.5	0.00526	9.7	1846.2499	FA 15% ; RCA 25%
	(2)	149	147	148	304	304	304	0.00523	9.55	1826.9922	
	(3)	147	149	148	304	304	304	0.00523	9.2	1760.0344	
a1b2	(1)	148	149	148.5	304	304	304	0.00526	9.45	1795.7078	FA 25% ; RCA 25%
	(2)	149	149	149	302	301	301.5	0.00525	9.35	1779.4349	
	(3)	148	147	147.5	302	303	302.5	0.00517	9.25	1790.4519	
a2b1	(1)	149	148	148.5	305	304	304.5	0.00527	9.8	1859.1576	FA 15% ; RCA 50%
	(2)	149	148	148.5	305	306	305.5	0.00529	9.75	1843.6176	
	(3)	148	148	148	301	303	302	0.00519	9.85	1896.864	
a2b2	(1)	149	149	149	301	303	302	0.00526	9.6	1823.9885	FA 25% ; RCA 50%
	(2)	148	149	148.5	302	303	302.5	0.00524	9.75	1861.9014	
	(3)	148	149	148.5	305	299	302	0.00523	8.25	1578.0634	
a3b1	(1)	147	149	148	304	305	304.5	0.00524	9.9	1890.8401	FA 15% ; RCA 75%
	(2)	149	148	148.5	304	304	304	0.00526	9.45	1795.7078	
	(3)	149	148	148.5	303	302	302.5	0.00524	9.75	1861.9014	
a3b2	(1)	149	150	149.5	300	303	301.5	0.00529	10	1890.4302	FA 25% ; RCA 75%
	(2)	149	149	149	302	302	302	0.00526	10.5	1994.9874	
	(3)	148	148	148	305	305	305	0.00524	9.75	1859.1383	
a4b1	(1)	148	148	148	304	303	303.5	0.00522	9.95	1906.6514	FA 15% ; RCA 100%
	(2)	149	148	148.5	303	304	303.5	0.00525	9.95	1893.8336	
	(3)	148	148	148	303	304	303.5	0.00529	9.8	1877.9079	
a4b2	(1)	148	148	148	301	301	301	0.00518	9.4	1816.2192	FA 25% ; RCA 100%
	(2)	149	148	148.5	303	301	302	0.00523	9.05	1731.0877	
	(3)	148	148	148	302	303	302.5	0.00521	9.55	1836.0517	

Pada tabel 4.9 dan 4.10 terdapat beberapa variasi hasil dari berat isi walaupun di satu jenis benda uji. Hal ini dikarenakan beberapa hal antara lain perlakuan yang berbeda pada saat proses pemadatan benda uji dan disebabkan adanya pengaruh dari material yang digunakan, seperti agregat kasar alam (NCA) dan agregat kasar daur ulang (RCA), penyusutan beton, dan komposisi ukuran agregat yang kurang merata antara ukuran 0,5 cm hingga 1 cm. Nilai berat isi ini nantinya akan mempengaruhi kuat tekan pada beton *porous* yang diujikan.

Tabel 4.11
Rekapitulasi Hasil Berat Isi Beton *Porous*.

No.	Benda Uji	Berat Isi (kg/m ³)	Keterangan
1	a0b0	1927.305	FA 0%, RCA 0%
2	a1b0	1748.568	FA 0%, RCA 25%
3	a2b0	1833.106	FA 0%, RCA 50%
4	a3b0	1749.463	FA 0%, RCA 75%
5	a4b0	1878.958	FA 0%, RCA 100%
6	a0b1	1775.172	FA 15%, RCA 0%
7	a1b1	1811.092	FA 15%, RCA 25%
8	a2b1	1866.546	FA 15%, RCA 50%
9	a3b1	1849.483	FA 15%, RCA 75%
10	a4b1	1892.798	FA 15%, RCA 100%
11	a0b2	1908.564	FA 25%, RCA 0%
12	a1b2	1788.532	FA 25%, RCA 25%
13	a2b2	1754.651	FA 25%, RCA 50%
14	a3b2	1914.852	FA 25%, RCA 75%
15	a4b2	1794.453	FA 25%, RCA 100%

Berdasarkan tabel 4.11 diperoleh bahwa pada komposisi *fly ash* 0% memiliki nilai berat isi terbesar pada benda uji a0b0 dengan nilai 1927,305 kg/m³ sedangkan nilai terendah terdapat pada benda uji a1b0 dengan nilai 1748,568 kg/m³. Pada komposisi *fly ash* 15% memiliki nilai berat isi terbesar pada benda uji a4b1 dengan nilai 1892,798 kg/m³ sedangkan nilai terendah terdapat pada benda uji a0b1 dengan nilai 1775,172 kg/m³. Pada komposisi *fly ash* 25% memiliki nilai berat isi terbesar pada benda uji a3b2 dengan nilai 1914,852 kg/m³ sedangkan nilai terendah terdapat pada benda uji a2b2 dengan nilai 1754,651 kg/m³.



Gambar 4.4 Pengujian Kuat Tekan Beton *Porous* Pada Umur 28 Hari.

4.2.2. Kuat Tekan Beton *Porous*

Tabel 4.12
Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton *Porous*

No. Benda Uji	Dimensi		Luas Bidang Tekan (mm ²)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (Mpa)	Rata-Rata (Mpa)	KET
	T (mm)	D (mm)					
a0b0	(1)	300	149	17427.785	81	4.648	5.4594 FA 0% ; RCA 0%
	(2)	300	149	17427.785	93	5.336	
	(3)	300	149.75	17603.674	109	6.192	
	(4)	300	150	17662.500	100	5.662	
a1b0	(1)	304	148.5	17311.016	130	7.510	7.0977 FA 0% ; RCA 25%
	(2)	304	148	17194.640	103	5.990	
	(3)	303	148	17194.640	134	7.793	
a2b0	(1)	305	146	16733.060	234	13.984	11.0736 FA 0% ; RCA 50%
	(2)	304	148	17194.640	166	9.654	
	(3)	304.5	149	17427.785	167	9.582	
a3b0	(1)	299.5	148.5	17311.016	164	9.474	7.4326 FA 0% ; RCA 75%
	(2)	302	148.5	17311.016	100	5.777	
	(3)	305	148.5	17311.016	122	7.048	
a4b0	(1)	302.5	148	17194.640	185	10.759	9.3837 FA 0% ; RCA 100%
	(2)	304.5	148	17194.640	144	8.375	
	(3)	303.5	147.5	17078.656	154	9.017	
a0b1	(1)	300.5	148.5	17311.016	157	9.069	10.0262 FA 15% ; RCA 0%
	(2)	302.5	149	17427.785	195	11.189	
	(3)	304.5	148.5	17311.016	170	9.820	
a1b1	(1)	303.5	148.5	17311.016	185	10.687	9.5525 FA 15% ; RCA 25%
	(2)	304	148	17194.640	196	11.399	
	(3)	304	148	17194.640	113	6.572	
a2b1	(1)	304.5	148.5	17311.016	223	12.882	11.6930 FA 15% ; RCA 50%
	(2)	305.5	148.5	17311.016	198	11.438	
	(3)	302	148	17194.640	185	10.759	
a3b1	(1)	304.5	148	17194.640	216	12.562	10.2721 FA 15% ; RCA 75%
	(2)	304	148.5	17311.016	145	8.376	
	(3)	302.5	148.5	17311.016	171	9.878	
a4b1	(1)	303.5	148	17194.640	164	9.538	9.8809 FA 15% ; RCA 100%
	(2)	303.5	148.5	17311.016	194	11.207	
	(3)	303.5	148	17194.640	153	8.898	
a0b2	(1)	303.5	148.5	17311.016	266	15.366	13.6208 FA 25% ; RCA 0%
	(2)	302.5	148	17194.640	202	11.748	
	(3)	304	148.5	17311.016	238	13.748	

Tabel 4.13

Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton *Porous* (lanjutan)

No. Benda Uji	Dimensi		Luas Bidang (mm ²)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)	KET
	L (mm)	D (mm)					
a1b1	(1)	303.5	148.5	17311.016	185	10.687	FA 15% ; RCA 25%
	(2)	304	148	17194.640	196	11.399	
	(3)	304	148	17194.640	113	6.572	
a1b2	(1)	304	148.5	17311.016	156	9.012	FA 25% ; RCA 25%
	(2)	301.5	149	17427.785	155	8.894	
	(3)	302.5	147.5	17078.656	158	9.251	
a2b1	(1)	304.5	148.5	17311.016	223	12.882	FA 15% ; RCA 50%
	(2)	305.5	148.5	17311.016	198	11.438	
	(3)	302	148	17194.640	185	10.759	
a2b2	(1)	302	149	17427.785	204	11.705	FA 25% ; RCA 50%
	(2)	302.5	148.5	17311.016	142	8.203	
	(3)	302	148.5	17311.016	60	3.466	
a3b1	(1)	304.5	148	17194.640	216	12.562	FA 15% ; RCA 75%
	(2)	304	148.5	17311.016	145	8.376	
	(3)	302.5	148.5	17311.016	171	9.878	
a3b2	(1)	301.5	149.5	17544.946	254	14.477	FA 25% ; RCA 75%
	(2)	302	149	17427.785	245	14.058	
	(3)	305	148	17194.640	200	11.632	
a4b1	(1)	303.5	148	17194.640	164	9.538	FA 15% ; RCA 100%
	(2)	303.5	148.5	17311.016	194	11.207	
	(3)	303.5	148	17194.640	153	8.898	
a4b2	(1)	301	148	17194.640	101	5.874	FA 25% ; RCA 100%
	(2)	302	148.5	17311.016	161	9.300	
	(3)	302.5	148	17194.640	102	5.932	

Tiap 1 (satu) variasi *mix design* dibuat 3 (tiga) benda uji yang memiliki ukuran bekisting yang sama, yaitu bekisting silinder baja. Pengujian dilakukan setelah umur beton porous mencapai 28 hari. Setelah pelepasan bekisting dilanjutkan penimbangan berat silinder dan pengukuran dimensi silinder beton porous namun hasil dari penimbangan dan pengukuran diperoleh hasil yang berbeda – beda.

Pada tabel 4.12 dan 4.13 terdapat beberapa variasi hasil kuat tekan walaupun terletak pada satu jenis benda uji. Hal ini dikarenakan beberapa hal anantara lain perlakuan yang berbeda pada saat proses pemadatan benda uji dan disebabkan adanya perbedaan kualitas dari agregat kasar yang digunakan, dan pengaruh dari perbedaan berat isi masing – masing benda uji.



Gambar 4.5 Benda Uji Kuat Tekan Beton *Porous* Pada Umur 28 Hari.

Tabel 4.14
Rekapitulasi Kuat Tekan Rata – Rata Silinder Beton *Porous*

No.	Benda Uji	Kuat tekan (MPa)	Keterangan
1	a0b0	5.459	FA 0%, RCA 0%
2	a1b0	7.098	FA 0%, RCA 25%
3	a2b0	11.074	FA 0%, RCA 50%
4	a3b0	7.433	FA 0%, RCA 75%
5	a4b0	9.384	FA 0%, RCA 100%
6	a0b1	10.026	FA 15%, RCA 0%
7	a1b1	9.553	FA 15%, RCA 25%
8	a2b1	11.693	FA 15%, RCA 50%
9	a3b1	10.272	FA 15%, RCA 75%
10	a4b1	9.881	FA 15%, RCA 100%
11	a0b2	13.621	FA 25%, RCA 0%
12	a1b2	9.052	FA 25%, RCA 25%
13	a2b2	7.791	FA 25%, RCA 50%
14	a3b2	13.389	FA 25%, RCA 75%
15	a4b2	7.035	FA 25%, RCA 100%

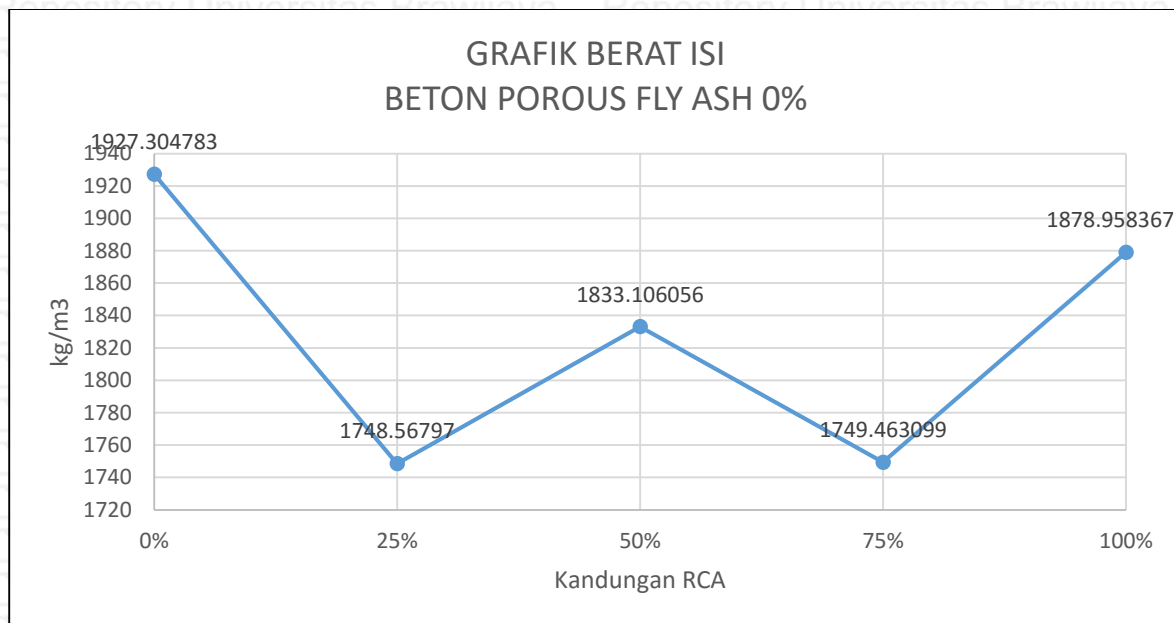
Berdasarkan tabel 4.14 diperoleh bahwa pada komposisi *fly ash* 0% memiliki nilai kuat tekan terbesar pada benda uji a2b0 dengan nilai 11,074 MPa sedangkan nilai terendah terdapat pada benda uji a0b0 dengan nilai 5,459 MPa. Pada komposisi *fly ash* 15% memiliki nilai kuat tekan terbesar pada benda uji a2b1 dengan nilai 11,693 sedangkan nilai terendah terdapat pada benda uji a1b1 dengan nilai 9,553. Pada komposisi *fly ash* 25% memiliki nilai berat isi terbesar pada benda uji a0b2 dengan nilai 13,621 MPa sedangkan nilai terendah terdapat pada benda uji a4b2 dengan nilai 7,035 MPa.

4.2.3. Grafik Berat Isi Beton *Porous*

Tabel 4.15

Hasil Berat Isi Rata – Rata *Fly ash* 0%

Benda Uji	Berat Isi (kg/m ³)	<i>Fly ash</i> (%)	RCA (%)
a0b0	1927.304783	0	0
a1b0	1748.56797	0	25
a2b0	1833.106056	0	50
a3b0	1749.463099	0	75
a4b0	1878.958367	0	100

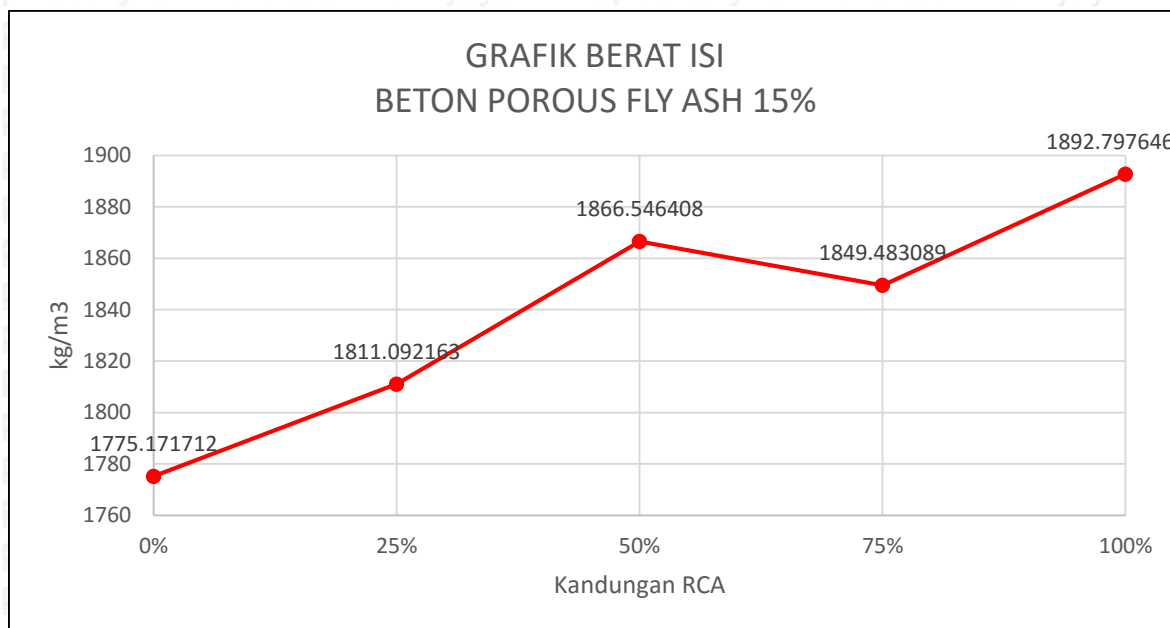


Gambar 4.6 Hubungan Kandungan RCA Terhadap Berat Isi.

Dari tabel 4.15 dan gambar 4.6 diperoleh berat isi rata – rata campuran *fly ash* 0%. Nilai berat isi terbesar terletak pada campuran *fly ash* 0% dan RCA 0%, sedangkan nilai terendah terletak pada campuran *fly ash* 0% dan RCA 25%. Pada grafik terlihat ketidak konsisten an hasil berat isi. Pada campuran awal (0% *fly ash* – 0% RCA) memiliki nilai terbesar selanjutnya menurun pada campuran kedua (0% *fly ash* – 25% RCA) lalu pada campuran ketiga (0% *fly ash* – 50% RCA) mengalami kenaikan hasil kemudian terjadi penurunan pada campuran ke empat (0% *fly ash* – 75% RCA) dan naik kembali pada campuran ke lima (0% *fly ash* – 100% RCA).

Tabel 4.16
Hasil Berat Isi Rata – Rata *Fly ash* 15%

Benda Uji	Berat Isi (kg/m ³)	<i>Fly ash</i> (%)	RCA (%)
a0b1	1775.171712	15	0
a1b1	1811.092163	15	25
a2b1	1866.546408	15	50
a3b1	1849.483089	15	75
a4b1	1892.797646	15	100

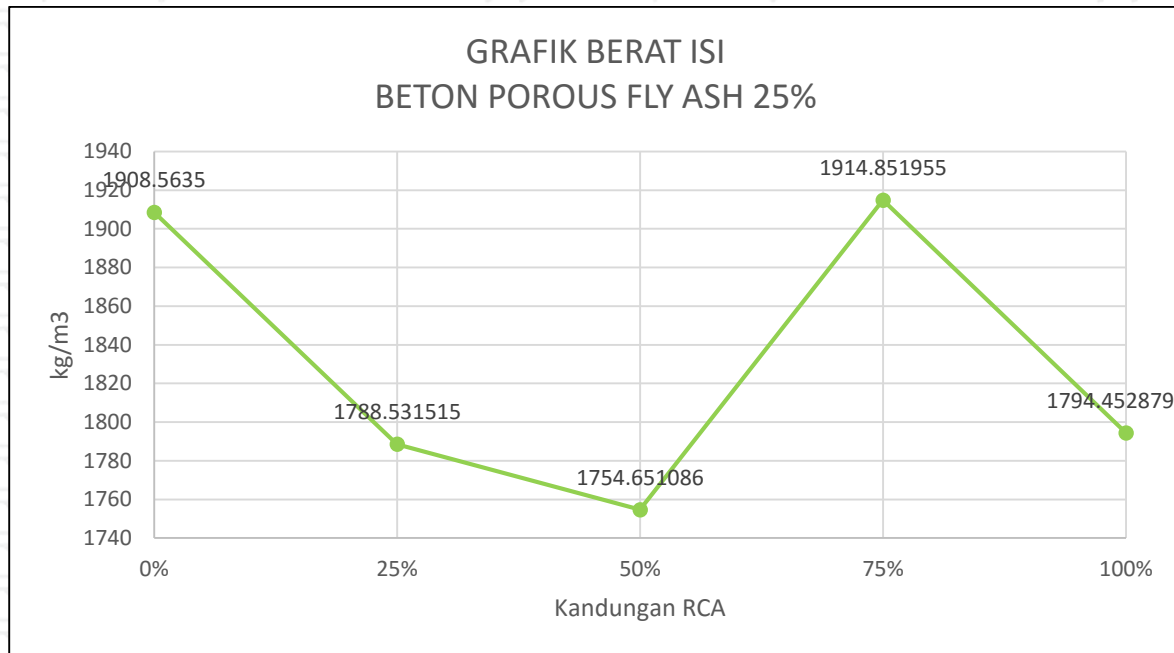


Gambar 4.7 Hubungan Kandungan RCA Terhadap Berat Isi.

Dari tabel 4.16 dan gambar 4.7 diperoleh berat isi rata – rata campuran *fly ash* 15%. Nilai berat isi terbesar terletak pada campuran *fly ash* 15% – RCA 100%, sedangkan nilai terendah terletak pada campuran *fly ash* 15% – RCA 0%. Pada grafik terlihat kenaikan dari campuran awal (15% *fly ash* – 0% RCA) menuju campuran kedua (15% *fly ash* – 25% RCA) hingga campuran ketiga (15% *fly ash* – 50% RCA) setelah itu terjadi penurunan pada campuran ke empat (15% *fly ash* – 75% RCA) dan mengalami kenaikan kembali pada campuran ke lima (15% *fly ash* – 100% RCA).

Tabel 4.17
Hasil Berat Isi Rata – Rata *Fly ash* 25%

Benda Uji	Berat Isi (kg/m ³)	<i>Fly ash</i> (%)	RCA (%)
a0b2	1908.5635	25	0
a1b2	1788.531515	25	25
a2b2	1754.651086	25	50
a3b2	1914.851955	25	75
a4b2	1794.452879	25	100

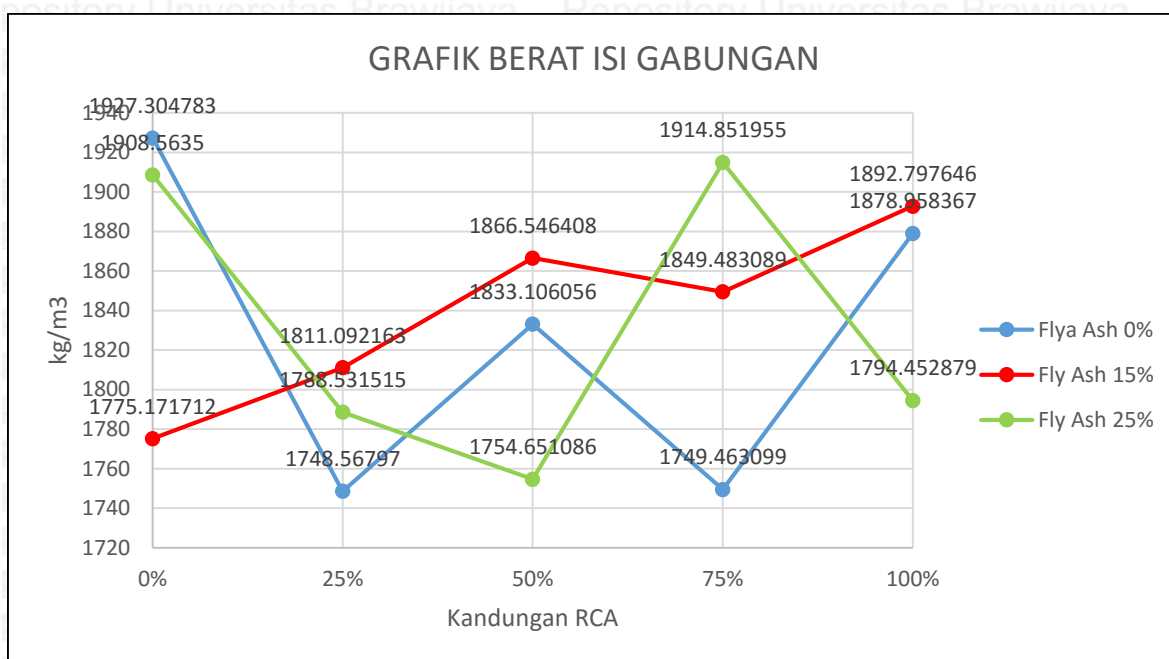


Gambar 4.8 Hubungan Kandungan RCA Terhadap Berat Isi.

Dari tabel 4.17 dan gambar 4.8 diperoleh berat isi rata – rata campuran *fly ash* 25%. Nilai berat isi terbesar terletak pada campuran *fly ash* 25% – RCA 75%, sedangkan nilai terendah terletak pada campuran *fly ash* 25% – RCA 50%. Pada grafik terlihat penurunan dari campuran awal (25% *fly ash* – 0% RCA) menuju campuran kedua (25% *fly ash* – 25% RCA) hingga menuju hasil terendah pada campuran ketiga (25% *fly ash* – 50% RCA) setelah itu terjadi kenaikan tertinggi pada campuran ke empat (25% *fly ash* – 75% RCA) dan kembali mengalami penurunan pada campuran ke lima (25% *fly ash* – 100% RCA).



Gambar 4.8 Benda Uji Kuat Tekan Beton Porous



Gambar 4.9 Hubungan Kandungan RCA Terhadap Berat Isi.

Berdasarkan gambar 4.9 menunjukkan bahwa grafik *fly ash* 0%, *fly ash* 15% dan *fly ash* 25% saling memotong satu sama lain. Bentuk grafik menunjukkan ketidak konsistenan hasil dari berat isi sehingga hasil berat isi belum dapat ditentukan hasil yang lebih spesifik.

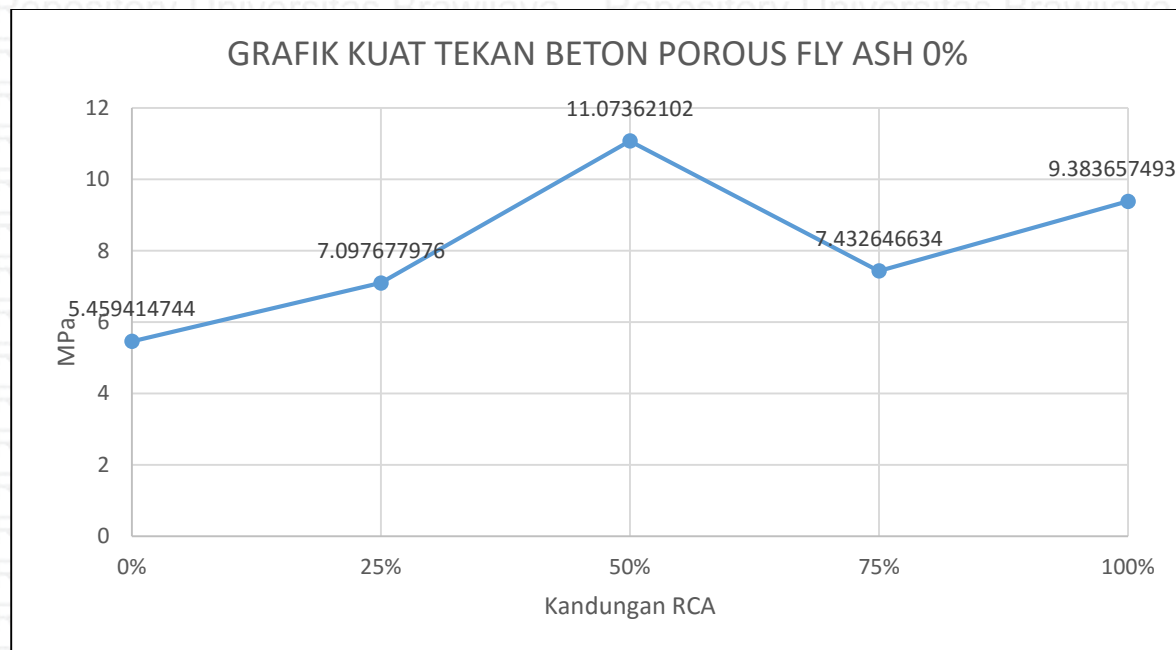
Hasil ini disebabkan oleh kekurangan – kekurangan pada saat penelitian, seperti factor pemadatan, kurang teliti dalam pembuatan bekisting, penyusutan beton, dan penggunaan agregat kasar yang kurang merata dari ukuran 0,5 cm hingga 1 cm serta kualitas agregat kasar daur ulang (RCA) yang lebih baik dari kualitas agregat kasar alam (NCA).

4.2.4. Grafik Kuat Tekan Beton *Porous*

Tabel 4.18

Hasil Kuat Tekan Rata – Rata *Fly ash* 0%

Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	<i>Fly ash</i> (%)	RCA (%)
a0b0	5.459414744	0	0
a1b0	7.097677976	0	25
a2b0	11.07362102	0	50
a3b0	7.432646634	0	75
a4b0	9.383657493	0	100

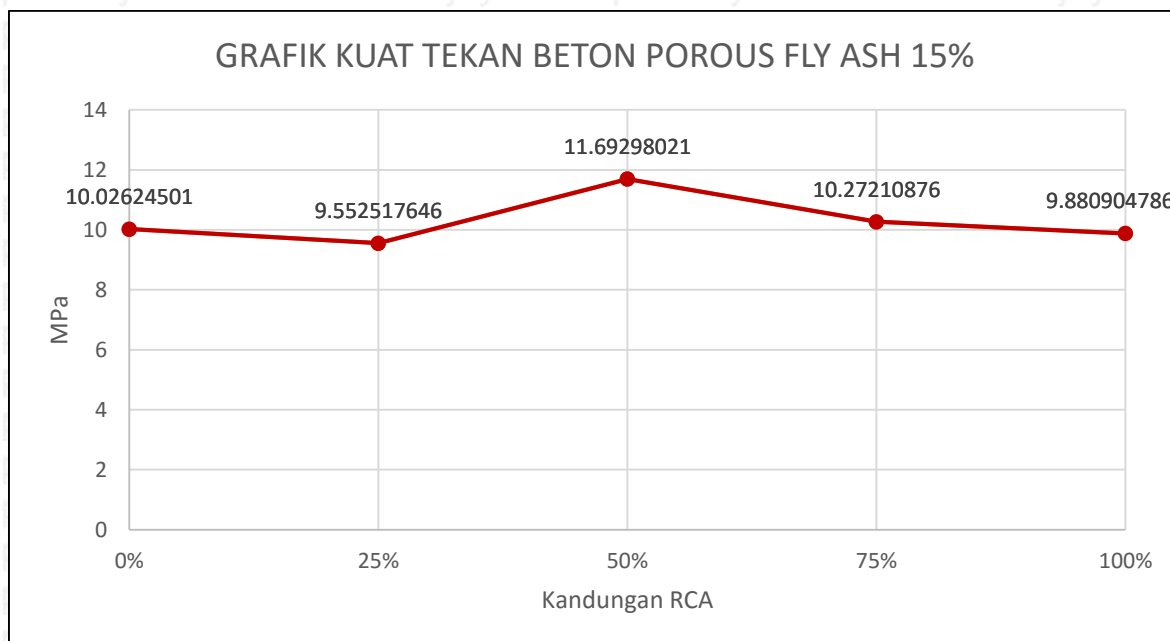


Gambar 4.10 Hubungan Kandungan RCA Terhadap Kuat Tekan (MPa).

Dari tabel 4.18 dan gambar 4.10 diperoleh kuat tekan rata – rata campuran *fly ash* 0%. Nilai kuat tekan rata – rata terbesar terletak pada campuran *fly ash* 0% dan RCA 50%, sedangkan nilai terendah terletak pada campuran *fly ash* 0% dan RCA 0%. Pada grafik terlihat kenaikan pada campuran awal (0% *fly ash* – 0% RCA) menuju campuran kedua (0% *fly ash* – 25% RCA) hingga paling besar yaitu campuran ketiga (0% *fly ash* – 50% RCA), selanjutnya mengalami penurunan hasil pada campuran ke empat (0% *fly ash* – 75% RCA) dan naik kembali pada campuran ke lima (0% *fly ash* – 100% RCA).

Tabel 4.19
Hasil Kuat Tekan Rata – Rata *Fly ash* 15%

Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	<i>Fly ash</i> (%)	RCA (%)
a0b1	10.02624501	15	0
a1b1	9.552517646	15	25
a2b1	11.69298021	15	50
a3b1	10.27210876	15	75
a4b1	9.880904786	15	100

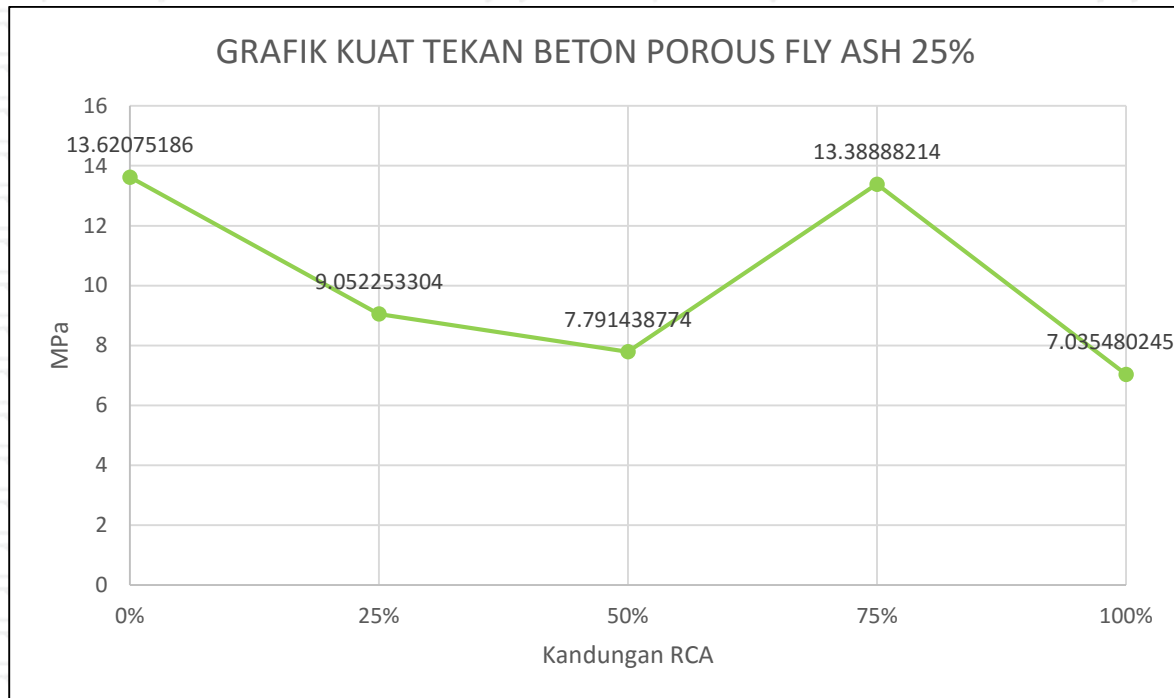


Gambar 4.11 Hubungan Kandungan RCA Terhadap Kuat Tekan (MPa).

Dari tabel 4.19 dan gambar 4.11 diperoleh kuat tekan rata – rata campuran *fly ash* 15%. Nilai kuat tekan rata – rata terbesar terletak pada campuran *fly ash* 15% dan RCA 50%, sedangkan nilai terendah terletak pada campuran *fly ash* 15% dan RCA 25%. Pada grafik terlihat penurunan pada campuran awal (15% *fly ash* – 0% RCA) menuju campuran kedua (15% *fly ash* – 25% RCA) kemudian mengalami kenaikan hingga paling besar yaitu campuran ketiga (15% *fly ash* – 50% RCA), selanjutnya mengalami penurunan hasil pada campuran ke empat (15% *fly ash* – 75% RCA) hingga campuran ke lima (15% *fly ash* – 100% RCA).

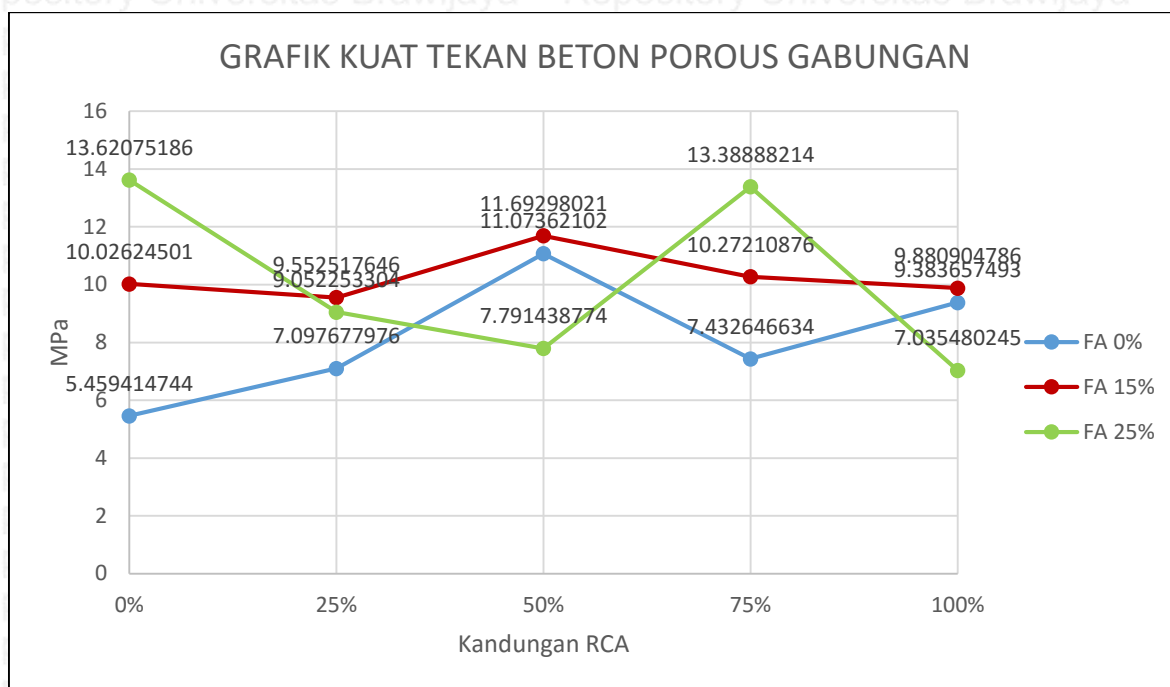
Tabel 4.20
Hasil Kuat Tekan Rata – Rata *Fly ash* 25%

Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	<i>Fly ash</i> (%)	RCA (%)
a0b2	13.62075186	25	0
a1b2	9.052253304	25	25
a2b2	7.791438774	25	50
a3b2	13.38888214	25	75
a4b2	7.035480245	25	100



Gambar 4.12 Hubungan Kandungan RCA Terhadap Kuat Tekan (MPa).

Dari tabel 4.20 dan gambar 4.12 diperoleh kuat tekan rata – rata campuran *fly ash* 25%. Nilai kuat tekan rata – rata terbesar terletak pada campuran *fly ash* 25% dan RCA 0%, sedangkan nilai terendah terletak pada campuran *fly ash* 25% dan RCA 50%. Pada grafik terlihat penurunan pada campuran awal (25% *fly ash* – 0% RCA) menuju campuran kedua (25% *fly ash* – 25% RCA) hingga campuran ketiga (25% *fly ash* – 50% RCA), selanjutnya mengalami penurunan hasil pada campuran ke empat (25% *fly ash* – 75% RCA) dan kembali mengalami penurunan pada campuran ke lima (25% *fly ash* – 100% RCA).



Gambar 4.13 Hubungan Kandungan RCA Terhadap Kuat Tekan.

Berdasarkan gambar 4.13 menunjukkan bahwa grafik *fly ash* 0% dan *fly ash* 15% tidak saling memotong. Hasil kuat tekan *fly ash* 15% lebih baik apabila dibandingkan dengan kuat tekan *fly ash* 0%, namun pada kuat tekan *fly ash* 25% terjadi ketidak konsistenan hasil sehingga penelitian tidak dapat diperoleh hasil yang spesifik. Pada kandungan RCA 50% dicapai nilai kuat tekan tertinggi, hal ini terdapat pada *fly ash* 0% dan 15%, namun nilai kuat tekan pada saat *fly ash* 25% mengalami penurunan. Pada benda uji variasi *fly ash* 0% RCA 0% memiliki nilai terendah dikarenakan kualitas agregat kasar daur ulang (RCA) lebih baik dibandingkan dengan kualitas agregat kasar alam (NCA).

Selanjutnya pengaruh penggunaan RCA terhadap nilai kuat tekan beton porous. Berdasarkan gambar 4.13 nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada RCA 0% lalu mengalami penurunan pada RCA 25% dan kembali mengalami kenaikan pada RCA 50%. Pola grafik *fly ash* 0% lebih rendah dibandingkan pola grafik *fly ash* 15%. Pada kedua pola grafik tersebut, kandunga RCA 25% mengalami kenaikan hingga kandungan RCA 50% dan mengalami penurunan kembali pada RCA 75%. Hal ini dikarenakan pada RCA 50% memiliki komposisi ideal yaitu RCA dan NCA memiliki kuantitas yang sama sedangkan pada saat RCA 25% dan RCA 75% terdapat ketimpangan komposisi RCA dan NCA.

Hasil ini juga dipengaruhi oleh kekurangan – kekurangan pada saat pelaksanaan penelitian, seperti faktor pemadatan yang beragam, kurang teliti dalam pembuatan bekisting, penyusutan beton, dan penggunaan agregat kasar yang kurang merata dari ukuran 0,5 cm hingga 1 cm.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisa dari hasil penelitian pengaruh komposisi *fly ash* terhadap kuat tekan beton porous dengan variasi komposisi agregat kasar daur ulang (RCA) diperoleh beberapa kesimpulan, antara lain :

1. Kualitas agregat kasar daur ulang (RCA) memiliki kualitas yang lebih baik dari kualitas agregat kasar alam (NCA). Hal ini ditunjukkan dari hasil penyerapan RCA sebesar 5,184% sedangkan NCA sebesar 14,328%.
2. Pada analisa hasil nilai kuat tekan beton porous diperoleh hasil nilai kuat tekan tertinggi pada variasi campuran *fly ash* 25%, RCA 0% dengan nilai 13,621 MPa. Nilai kuat tekan terendah terdapat pada variasi campuran *fly ash* 0%, RCA 0% dengan nilai 5,459 MPa. Nilai kuat tekan meningkat seiring dengan penambahan *fly ash* terhadap kadar substitusi semen, pada *fly ash* 0%, RCA 50% memiliki nilai kuat tekan 11,074 MPa, *fly ash* 15%, RCA 50% memiliki nilai kuat tekan 11,693 MPa dan *fly ash* 25%, RCA 0% memiliki nilai kuat tekan 13,621 MPa.
3. Analisa hasil nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada benda uji variasi campuran *fly ash* 25%, RCA 0% dengan nilai 13,621 MPa. Namun nilai ini belum dapat dijadikan nilai kuat tekan optimum dikarenakan terdapat keberagaman hasil. Secara keseluruhan berdasarkan hasil berat isi beton porous menunjukkan pola grafik yang sama dengan pola grafik nilai kuat tekan namun sedikit terdapat perbedaan pola grafik pada variasi RCA 0%. Pengaruh penambahan kandungan RCA memiliki nilai yang sebanding dengan nilai kuat tekan beton porous.

5.2. Saran

Pada saat penelitian dilaksanakan tidak tertutup kemungkinan terjadi kesalahan – kesalahan dalam proses persiapan awal, pengecoran, pengujian dan pengambilan data.

Dikarenakan hal tersebut diberikan beberapa saran untuk perbaikan, antara lain :

1. Benda uji yang berjumlah 3 (tiga) silinder tiap variasi campuran menyebabkan kurang maksimalnya hasil saat pengujian sehingga perlu adanya penambahan jumlah benda uji untuk tiap variasi campuran.
2. Kurangnya pengawasan kualitas material yang dipakai sehingga kualitas agregat kasar daur ulang (RCA) lebih baik dibandingkan dengan kualitas agregat kasar alam (NCA).
3. Tidak adanya standar dan prosedur mengenai pemadatan beton sehingga pelaksanaan pemadatan berdasarkan perkiraan kebutuhan. Hal ini menyebabkan hasil berat isi yang berbeda – beda, terdapat benda uji yang terlalu padat ataupun kurang padat.
4. Adanya penelitian – penelitian selanjutnya dengan beberapa pengembangan atau modifikasi dari penelitian sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee. (2010). ACI 522R-10, *Report on Pervious Concrete*, USA: American Concrete Institute.
- Arifi, E. (2015). *Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen Parsial Untuk Meningkatkan Performa Beton Agregat Daur Ulang*. Jurnal: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Arifi, E., Zacoeb, Achfas. & Shigeishi, Mitsuhiro. (2014). *Effect Of Fly Ash On The Strength Of Concrete Made From Recycled Aggregate By Pulsed Power*. Jurnal: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Asroni, Ali., (2010), *Balok Pelat Beton Bertulang*, Edisi Pertama, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.
- ASTM C 618 – 05. (2005). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. ASTM International.
- ASTM C-125. (1995). *Standard Definition of Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregate*. ASTM International.
- Bahar, Suardi & Suhanda, Rahman. (2004). *Pedoman Pekerjaan Beton*, Jakarta: PT. Wijaya Karya (PT. WIKA).
- Brouwer, Peter. (2010), *Theory of XRF : Getting Acquainted With The Principles* Netherlands: PANalytical BV.
- Departemen Pekerjaan Umum, SNI 03-0692-1996, *Bata Beton*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Departemen Pekerjaan Umum, SNI 03-1969-1990, *Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Departemen Pekerjaan Umum, SNI 03-1974-1990, *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Departemen Pekerjaan Umum, SNI 03-2834-2000, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Departemen Pekerjaan Umum, SNI 15-2049-2004, *Semen Portland*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- El-Reedy, M. A. (2009). *Advanced Materials and Techniques for Reinforced Concrete Structures*. Dunfermline, UK: CRC Press.

- Harber, P.J. (2005). *Applicability of No-Fines Concrete as a Road Pavement*, Research Project, Bachelor of Engineering, Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland.
- Murdock, L. J. & Brook, K. M. (1986). *Bahan dan Praktek Kerja Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Nawy, Edward G., (1998). *Beton Bertulang (Suatu Pendekatan Dasar)*. Penerbit PT. Rafika Aditama, Bandung
- Neville, A.M., Brooks, J.J. (2010). *Concrete Technology*, Second Edition, Pearson Education Limited, Essex, England.
- NRMCA Committee. (2004). “*What, Why, and How? Pervious Concrete*” *Concrete in Practice series, CIP 38*. NRMCA (National Ready Mixed Concrete Association). Silver Spring. Maryland.
- Nurlina, Siti. (2008). *Struktur Beton*. Malang: Bargie Media.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun
- Shetty, M.S. (2000). *Concrete Technology-Theory And Practice*. India: S. Chand Limited.
- Sriravindrajah, R., Wang, N. D. H. & Ervin, L. J. W. (2012), Mix Design for Pervious Recycled Aggregate Concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. VI (4): 239-246.
- Tennis, Paul D., Leming, Michael L. & Akers, David J. (2004). *Pervious Concrete Pavements*. USA: Portland Cement Association.
- Thomas, Michael. (2007). *Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete*. Washington DC: Portland Cement Association.
- Trisnoyuwono, Diarto. (2014). *Beton Non-Pasir*. Jakarta: Graha Ilmu
- Wangsadinata, Wiratman. (1971), *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI – 1971)*, Bandung: Departemen Pekerjaan Umum Dan Tenaga Listrik.
- Wardani, Sri Prabandiyani Retno. (2008). *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Jurnal: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Wibowo, Ari & Setyowati, Edhi W. (2003). *Buku Diktat Teknologi Beton*. Malang: Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya



LAMPIRAN

Halaman ini sengaja dikosongkan



Lampiran 1. data hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar daur ulang

RCA.

Sampel 1

Nomor Contoh			
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	2000
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	1924.8
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	1222

Nomor Contoh			
Berat Jenis Curah (Bulk Spesific Grafity)	Bk/(Bj-Ba)		2.474
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Spesific Grafity Saturated Surface Dry)	Bj/(Bj-Ba)		2.571
Berat Jenis Semu Apparent Spesific Gravity)	Bk/(Bk-Ba)		2.739
Penyerapan (%) (Absorption)	(Bj-Bk)/Bkx100%		3.907

Sampel 2

Nomor Contoh			
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	5000
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	4750
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	2958.7

Nomor Contoh			
Berat Jenis Curah (Bulk Spesific Grafity)	Bk/(Bj-Ba)		2.327
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Spesific Grafity Saturated Surface Dry)	Bj/(Bj-Ba)		2.449
Berat Jenis Semu Apparent Spesific Gravity)	Bk/(Bk-Ba)		2.652
Penyerapan (%) (Absorption)	(Bj-Bk)/Bkx100%		5.263

Sampel 3

Nomor Contoh			
Berat benda uji kering permukaan jenuh	B _j	(gr)	5000
Berat benda uji kering oven	B _k	(gr)	4700
Berat benda uji dalam air	B _a	(gr)	2918.4

Nomor Contoh		
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	B _k /(B _j -B _a)	2.258
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	B _j /(B _j -B _a)	2.402
Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity)	B _k /(B _k -B _a)	2.638
Penyerapan (%) (Absorption)	(B _j - B _k)/B _k x 100%	6.383



Lampiran 2. data hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar alam NCA.

Sampel 1

Nomor Contoh			
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	5000
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	4364.4
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	2815

Nomor Contoh			
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Grafity)	Bk/(Bj-Ba)		1.997
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Grafity Saturated Surface Dry)	Bj/(Bj-Ba)		2.288
Berat Jenis Semu Apparent Spesific Gravity)	Bk/(Bk-Ba)		2.817
Penyerapan (%) (Absorption)	(Bj-Bk)/Bkx100%		14.563

Sampel 2

Nomor Contoh			
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	5000
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	4357.8
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	2818

Nomor Contoh			
Berat Jenis Curah (Bulk Spesific Grafity)	Bk/(Bj-Ba)		1.997
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Spesific Grafity Saturated Surface Dry)	Bj/(Bj-Ba)		2.291
Berat Jenis Semu Apparent Spesific Gravity)	Bk/(Bk-Ba)		2.830
Penyerapan (%) (Absorption)	(Bj-Bk)/Bkx100%		14.737

Sampel 3

Nomor Contoh			
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	5000
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	4452.6
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	2870

Nomor Contoh			
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	Bk/(Bj-Ba)		2.090
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	Bj/(Bj-Ba)		2.347
Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity)	Bk/(Bk-Ba)		2.813
Penyerapan (%) (Absorption)	(Bj-Bk)/Bkx100%		12.294

Sampel 4

Nomor Contoh			
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	5000
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	4380
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	2819

Nomor Contoh			
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	Bk/(Bj-Ba)		2.008
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	Bj/(Bj-Ba)		2.293
Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity)	Bk/(Bk-Ba)		2.806
Penyerapan (%) (Absorption)	(Bj-Bk)/Bkx100%		14.155



**Sampel 5**

Nomor Contoh			
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	5000
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	4314.4
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	2806

Nomor Contoh			
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	Bk/(Bj-Ba)		1.966
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	Bj/(Bj-Ba)		2.279
Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity)	Bk/(Bk-Ba)		2.860
Penyerapan (%) (Absorption)	(Bj-Bk)/Bkx100%		15.891

Lampiran 3. data hasil pengujian kandungan fly ash.

No Filter		
Compound	Cone (%)	Metode
Al ₂ O ₃	7.500	XRF
SiO ₂	20.400	
SO ₃	1.600	
K ₂ O	1.200	
CaO	25.800	
TiO ₂	1.300	
V ₂ O ₅	0.050	
Cr ₂ O ₃	0.079	
MnO	0.320	
Fe ₂ O ₃	37.770	
NiO	0.913	
CuO	0.110	
ZnO	0.060	
SrO	0.640	
MoO ₃	1.000	
In ₂ O ₃	0.070	
BaO	0.410	
Eu ₂ O ₃	0.300	
Re ₂ O ₇	0.100	
HgO	0.210	
Total	99.832	

Helium		
Compound	Cone (%)	Metode
MgO	0.69	XRF
Al ₂ O ₃	3.10	
SiO ₂	12.50	
P ₂ O ₅	0.22	
K ₂ O	1.90	
CaO	57.50	
TiO ₂	3.80	
V ₂ O ₅	0.71	
Cr ₂ O ₃	1.40	
MnO	7.60	
MoO ₃	3.90	
In ₂ O ₃	1.20	
BaO	5.50	
Total	100.02	



UNIVERSITAS NEGERI MALANG
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL)

Jalan Semarang 5, Malang 65145
Telp. 0341-551312 (psw 200) / 574895 / 085106001088
E-mail : laboratoriumsentralum@yahoo.co.id
Website : central-laboratory.um.ac.id

LAPORAN HASIL UJI

No. LSUM.LHU.E.00126.2017

Nomor Pengujian : LSUM.P.00110.2017
Nomor Sampel : Fly ash (E111)
Nama Pelanggan : Akbar Maulana
Instansi Pelanggan : UB
Jenis Karakterisasi : XRF
Sampel Diterima Tanggal : 02 Mei 2017
Nama Operator : Mailinda Ayu Hana M, S.Si
Nama Analis : Drs. Abdulloh Fuad, M.Si

Hasil

No filter			Helium		
Compound	Conc (%)	Metode	Compound	Conc (%)	Metode
Al ₂ O ₃	7.5	XRF	MgO	0.69	XRF
SiO ₂	20.4		Al ₂ O ₃	3.1	
SO ₃	1.6		SiO ₂	12.5	
K ₂ O	1.2		P ₂ O ₅	0.22	
CaO	25.8		K ₂ O	1.9	
TiO ₂	1.3		CaO	57.5	
V ₂ O ₅	0.05		TiO ₂	3.8	
Cr ₂ O ₃	0.079		V ₂ O ₅	0.71	
MnO	0.32		Cr ₂ O ₃	1.4	
Fe ₂ O ₃	37.77		MnO	7.6	
NiO	0.913		MoO ₃	3.90	
CuO	0.11		In ₂ O ₃	1.2	
ZnO	0.06		BaO	5.5	
SrO	0.64				
MoO ₃	1				
In ₂ O ₃	0.07				
BaO	0.41				
Eu ₂ O ₃	0.3				
Re ₂ O ₇	0.1				
HgO	0.21				

Keterangan :

1. Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang diuji
2. Dilarang menggandakan sebagian laporan hasil pengujian tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Mineral dan Material Maju.

Malang, 03 Mei 2017

Dekan
Kepala Lab. Mineral dan Material Maju



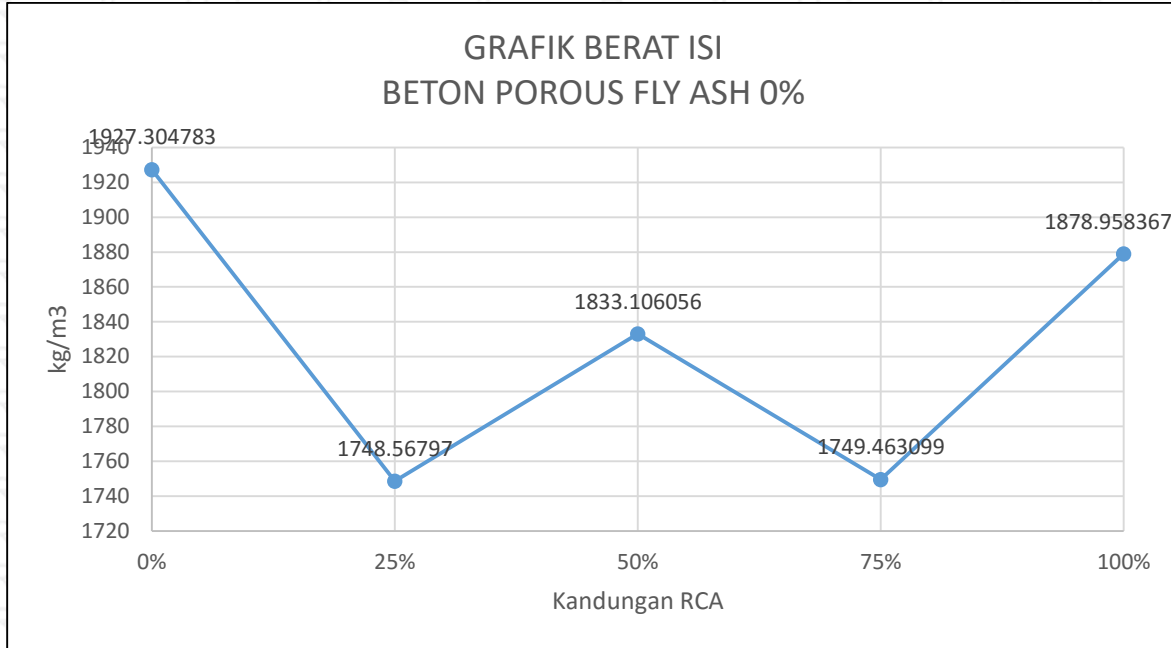
Drs. Abdulloh Fuad, M.Si
NIP. 1963022219881211002

Lampiran 4. data hasil pengujian berat isi beton porous.

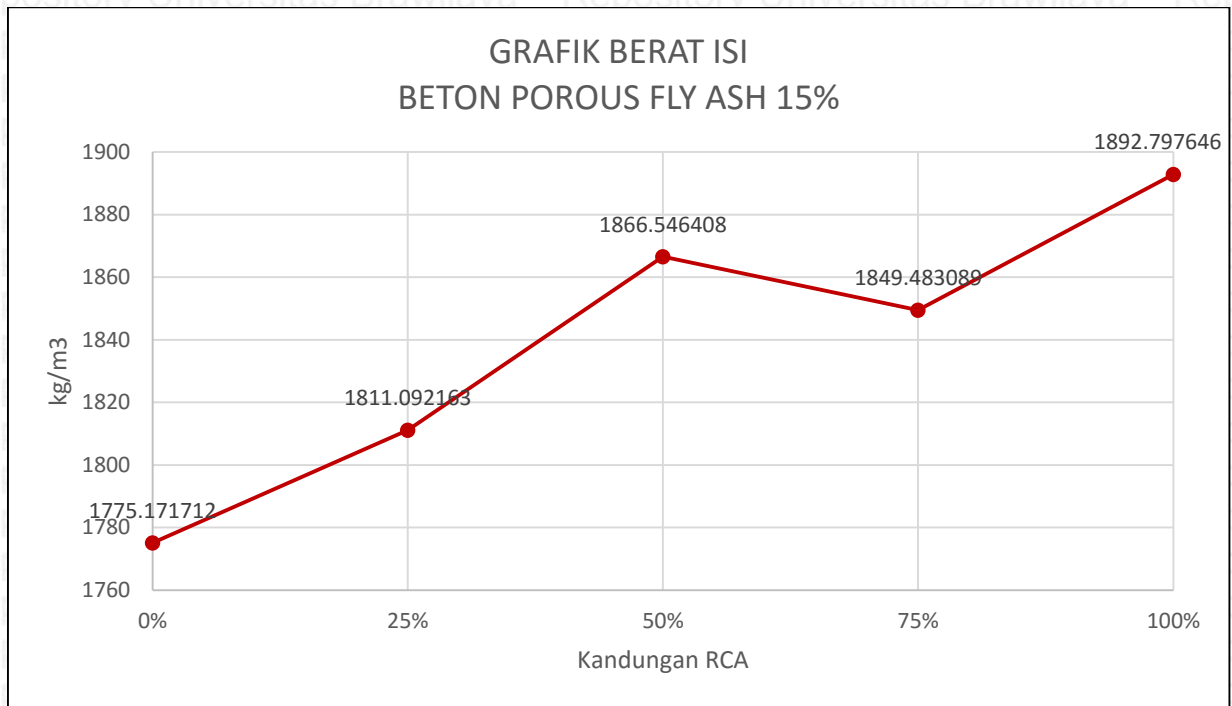
No. Benda Uji	Diameter (mm)			Tinggi (mm)			Volume Benda Uji (mm ³)	Volume Benda Uji (m ³)	Massa Benda Uji (kg)	Berat Isi (kg/m ³)	Berat Isi Rata-Rata (kg/m ³)	Keterangan	
	Titik 1	Titik 2	Rata-Rata	Titik 1	Titik 2	Rata-Rata							
a0b0	(1)	150	148	149	300	300	300	5228335.5	0.00523	9.7	1855.275	1927.305	FA 0% ; RCA 0%
	(2)	150	148	149	300	300	300	5228335.5	0.00523	9.9	1893.5281		
	(3)	150	149.5	149.75	300	300	300	5281102.219	0.00528	10.55	1997.689		
	(4)	150	150	150	300	300	300	5298750	0.00530	10.4	1962.7271		
a1b0	(1)	149	148	148.5	304	304	304	5262548.94	0.00526	9	1710.1979	1748.568	FA 0% ; RCA 25%
	(2)	147	149	148	304	304	304	5227170.56	0.00523	9.15	1750.469		
	(3)	149	147	148	303	303	303	5209975.92	0.00521	9.3	1785.037		
a2b0	(1)	148	144	146	305	305	305	5103583.3	0.00510	9.75	1910.4224	1833.106	FA 0% ; RCA 50%
	(2)	148	148	148	303	305	304	5227170.56	0.00523	9.55	1826.9922		
	(3)	149	149	149	304	305	304.5	5306760.533	0.00531	9.35	1761.9035		
a3b0	(1)	148	149	148.5	300	299	299.5	5184649.367	0.00518	9.25	1784.1129	1749.463	FA 0% ; RCA 75%
	(2)	149	148	148.5	302	302	302	5227926.908	0.00523	9.15	1750.2157		
	(3)	149	148	148.5	305	305	305	5279859.956	0.00528	9.05	1714.0606		
a4b0	(1)	148	148	148	302	303	302.5	5201378.6	0.00520	9.65	1855.2774	1878.958	FA 0% ; RCA 100%
	(2)	147	149	148	304	305	304.5	5235767.88	0.00524	9.85	1881.2904		
	(3)	147	148	147.5	303	304	303.5	5183372.172	0.00518	9.85	1900.3073		
a0b1	(1)	148	149	148.5	301	300	300.5	5201960.383	0.00520	9.25	1778.1758	1775.172	FA 15% ; RCA 0%
	(2)	150	148	149	302	303	302.5	5271904.963	0.00527	9.4	1783.0367		
	(3)	148	149	148.5	304	305	304.5	5271204.448	0.00527	9.3	1764.3027		
a1b1	(1)	147	150	148.5	304	303	303.5	5253893.432	0.00525	9.7	1846.2499	1811.092	FA 15% ; RCA 25%
	(2)	149	147	148	304	304	304	5227170.56	0.00523	9.55	1826.9922		

	(3)	147	149	148	304	304	304	5227170.56	0.00523	9.2	1760.0344		
a2b1	(1)	149	148	148.5	305	304	304.5	5271204.448	0.00527	9.8	1859.1576	1866.546	FA 15% ; RCA 50%
	(2)	149	148	148.5	305	306	305.5	5288515.464	0.00529	9.75	1843.6176		
	(3)	148	148	148	301	303	302	5192781.28	0.00519	9.85	1896.864		
a3b1	(1)	147	149	148	304	305	304.5	5235767.88	0.00524	9.9	1890.8401	1849.483	FA 15% ; RCA 75%
	(2)	149	148	148.5	304	304	304	5262548.94	0.00526	9.45	1795.7078		
	(3)	149	148	148.5	303	302	302.5	5236582.416	0.00524	9.75	1861.9014		
a4b1	(1)	148	148	148	304	303	303.5	5218573.24	0.00522	9.95	1906.6514	1892.798	FA 15% ; RCA 100%
	(2)	149	148	148.5	303	304	303.5	5253893.432	0.00525	9.95	1893.8336		
	(3)	148	148	148	303	304	303.5	5218573.24	0.00522	9.8	1877.9079		
a0b2	(1)	148	149	148.5	304	303	303.5	5253893.432	0.00525	10	1903.3504	1908.564	FA 25% ; RCA 0%
	(2)	147	149	148	302	303	302.5	5201378.6	0.00520	9.8	1884.1159		
	(3)	149	148	148.5	304	304	304	5262548.94	0.00526	10.2	1938.2243		
a1b2	(1)	148	149	148.5	304	304	304	5262548.94	0.00526	9.45	1795.7078	1788.532	FA 25% ; RCA 25%
	(2)	149	149	149	302	301	301.5	5254477.178	0.00525	9.35	1779.4349		
	(3)	148	147	147.5	302	303	302.5	5166293.516	0.00517	9.25	1790.4519		
a2b2	(1)	149	149	149	301	303	302	5263191.07	0.00526	9.6	1823.9885	1754.651	FA 25% ; RCA 50%
	(2)	148	149	148.5	302	303	302.5	5236582.416	0.00524	9.75	1861.9014		
	(3)	148	149	148.5	305	299	302	5227926.908	0.00523	8.25	1578.0634		
a3b2	(1)	149	150	149.5	300	303	301.5	5289801.294	0.00529	10	1890.4302	1914.852	FA 25% ; RCA 75%
	(2)	149	149	149	302	302	302	5263191.07	0.00526	10.5	1994.9874		
	(3)	148	148	148	305	305	305	5244365.2	0.00524	9.75	1859.1383		
a4b2	(1)	148	148	148	301	301	301	5175586.64	0.00518	9.4	1816.2192	1794.453	FA 25% ; RCA 100%
	(2)	149	148	148.5	303	301	302	5227926.908	0.00523	9.05	1731.0877		
	(3)	148	148	148	302	303	302.5	5201378.6	0.00520	9.55	1836.0517		

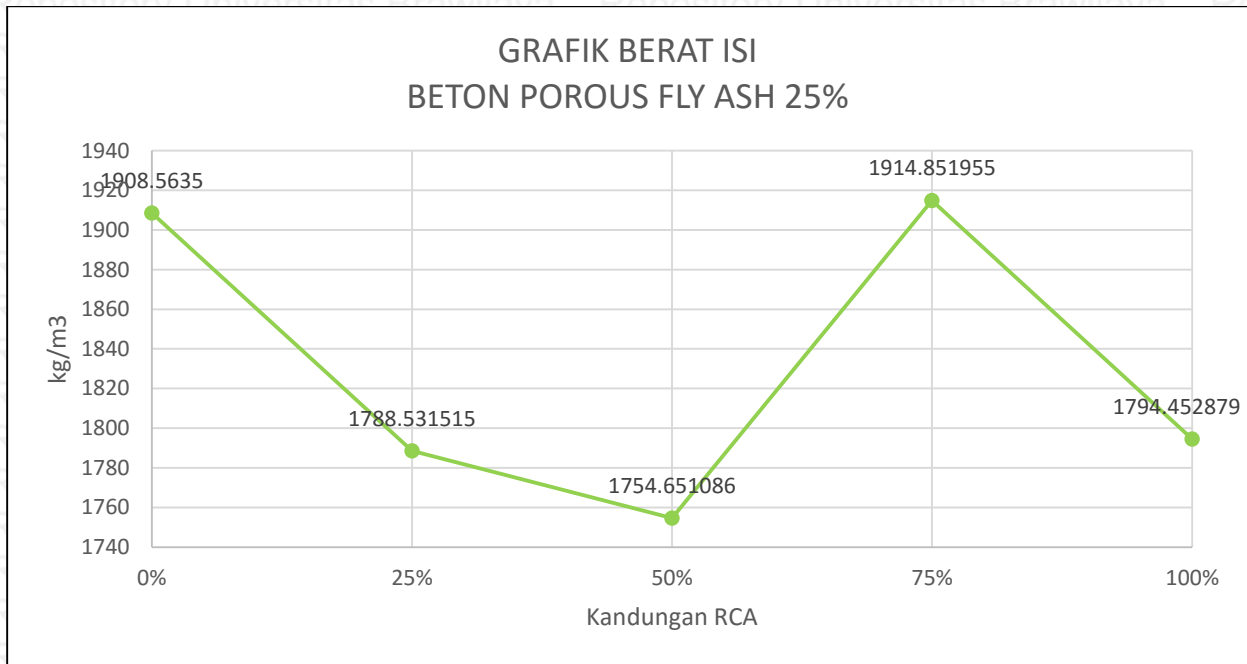
Benda Uji	Berat Isi (kg/m ³)	Fly Ash (%)	RCA (%)
a0b0	1927.304783	0	0
a1b0	1748.56797	0	25
a2b0	1833.106056	0	50
a3b0	1749.463099	0	75
a4b0	1878.958367	0	100



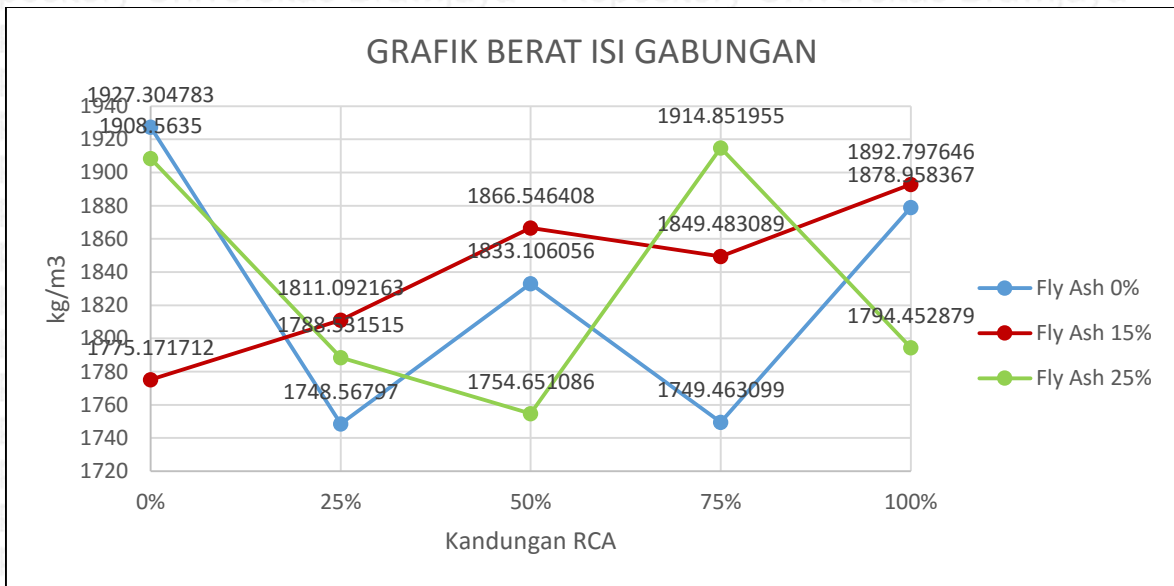
Benda Uji	Berat Isi (kg/m ³)	Fly Ash (%)	RCA (%)
a0b1	1775.171712	15	0
a1b1	1811.092163	15	25
a2b1	1866.546408	15	50
a3b1	1849.483089	15	75
a4b1	1892.797646	15	100



Benda Uji	Berat Isi (kg/m ³)	Fly Ash (%)	RCA (%)
a0b2	1908.5635	25	0
a1b2	1788.531515	25	25
a2b2	1754.651086	25	50
a3b2	1914.851955	25	75
a4b2	1794.452879	25	100



RCA	Berat Isi (kg/m ³)	
0%	1927.3048	FA 0%
25%	1748.5680	
50%	1833.1061	
75%	1749.4631	
100%	1878.9584	
0%	1775.1717	FA 15%
25%	1811.0922	
50%	1866.5464	
75%	1849.4831	
100%	1892.7976	
0%	1908.5635	FA 25%
25%	1788.5315	
50%	1754.6511	
75%	1914.8520	
100%	1794.4529	

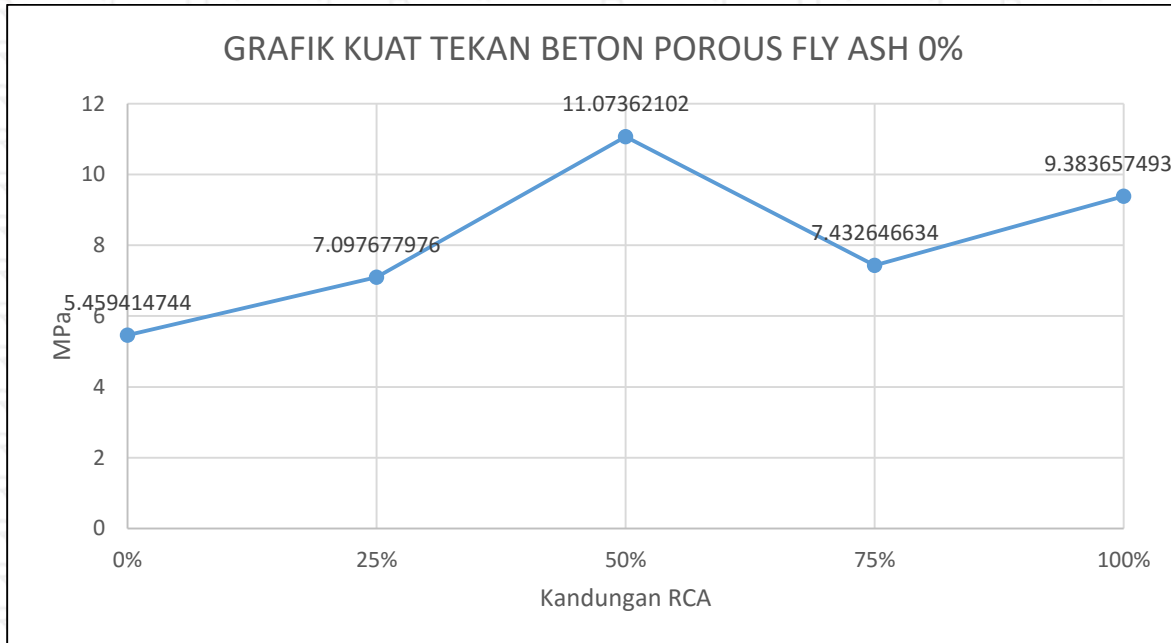


Lampiran 5. data hasil pengujian kuat tekan beton porous.

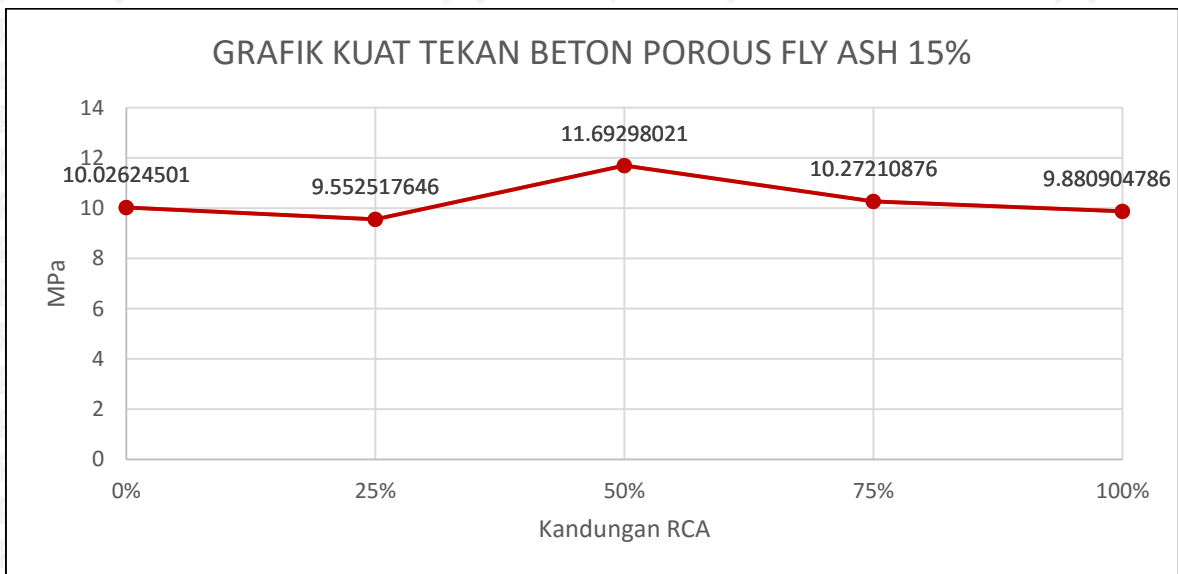
No. Benda Uji	Massa Benda Uji (kg)	Dimensi		Luas Bidang (mm ²)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)	Keterangan
		L (mm)	D (mm)					
a0b0	(1)	9.7	300	149	17427.785	81	5.4594	FA 0% ; RCA 0%
	(2)	9.9	300	149	17427.785	93		
	(3)	10.55	300	149.75	17603.674	109		
	(4)	10.4	300	150	17662.500	100		
a1b0	(1)	9	304	148.5	17311.016	130	7.0977	FA 0% ; RCA 25%
	(2)	9.15	304	148	17194.640	103		
	(3)	9.3	303	148	17194.640	134		
a2b0	(1)	9.75	305	146	16733.060	234	11.0736	FA 0% ; RCA 50%
	(2)	9.55	304	148	17194.640	166		
	(3)	9.35	304.5	149	17427.785	167		
a3b0	(1)	9.25	299.5	148.5	17311.016	164	7.4326	FA 0% ; RCA 75%
	(2)	9.15	302	148.5	17311.016	100		
	(3)	9.05	305	148.5	17311.016	122		
a4b0	(1)	9.65	302.5	148	17194.640	185	9.3837	FA 0% ; RCA 100%
	(2)	9.85	304.5	148	17194.640	144		
	(3)	9.85	303.5	147.5	17078.656	154		
a0b1	(1)	9.25	300.5	148.5	17311.016	157	10.0262	FA 15% ; RCA 0%
	(2)	9.4	302.5	149	17427.785	195		
	(3)	9.3	304.5	148.5	17311.016	170		
a1b1	(1)	9.7	303.5	148.5	17311.016	185	9.5525	FA 15% ; RCA 25%
	(2)	9.55	304	148	17194.640	196		

	(3)	9.2	304	148	17194.640	113	6.572		
a2b1	(1)	9.8	304.5	148.5	17311.016	223	12.882	11.6930	FA 15% ; RCA 50%
	(2)	9.75	305.5	148.5	17311.016	198	11.438		
	(3)	9.85	302	148	17194.640	185	10.759		
a3b1	(1)	9.9	304.5	148	17194.640	216	12.562	10.2721	FA 15% ; RCA 75%
	(2)	9.45	304	148.5	17311.016	145	8.376		
	(3)	9.75	302.5	148.5	17311.016	171	9.878		
a4b1	(1)	9.95	303.5	148	17194.640	164	9.538	9.8809	FA 15% ; RCA 100%
	(2)	9.95	303.5	148.5	17311.016	194	11.207		
	(3)	9.8	303.5	148	17194.640	153	8.898		
a0b2	(1)	10	303.5	148.5	17311.016	266	15.366	13.6208	FA 25% ; RCA 0%
	(2)	9.8	302.5	148	17194.640	202	11.748		
	(3)	10.2	304	148.5	17311.016	238	13.748		
a1b2	(1)	9.45	304	148.5	17311.016	156	9.012	9.0523	FA 25% ; RCA 25%
	(2)	9.35	301.5	149	17427.785	155	8.894		
	(3)	9.25	302.5	147.5	17078.656	158	9.251		
a2b2	(1)	9.6	302	149	17427.785	204	11.705	7.7914	FA 25% ; RCA 50%
	(2)	9.75	302.5	148.5	17311.016	142	8.203		
	(3)	8.25	302	148.5	17311.016	60	3.466		
a3b2	(1)	10	301.5	149.5	17544.946	254	14.477	13.3889	FA 25% ; RCA 75%
	(2)	10.5	302	149	17427.785	245	14.058		
	(3)	9.75	305	148	17194.640	200	11.632		
a4b2	(1)	9.4	301	148	17194.640	101	5.874	7.0355	FA 25% ; RCA 100%
	(2)	9.05	302	148.5	17311.016	161	9.300		
	(3)	9.55	302.5	148	17194.640	102	5.932		

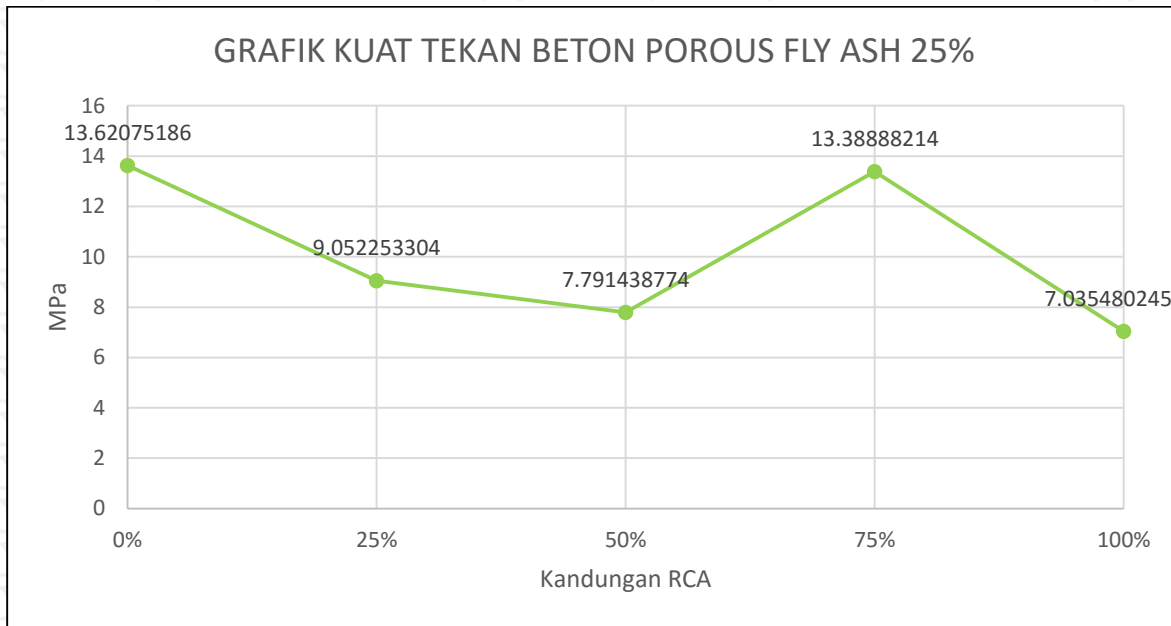
Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Fly Ash (%)	RCA (%)
a0b0	5.459414744	0	0
a1b0	7.097677976	0	25
a2b0	11.07362102	0	50
a3b0	7.432646634	0	75
a4b0	9.383657493	0	100



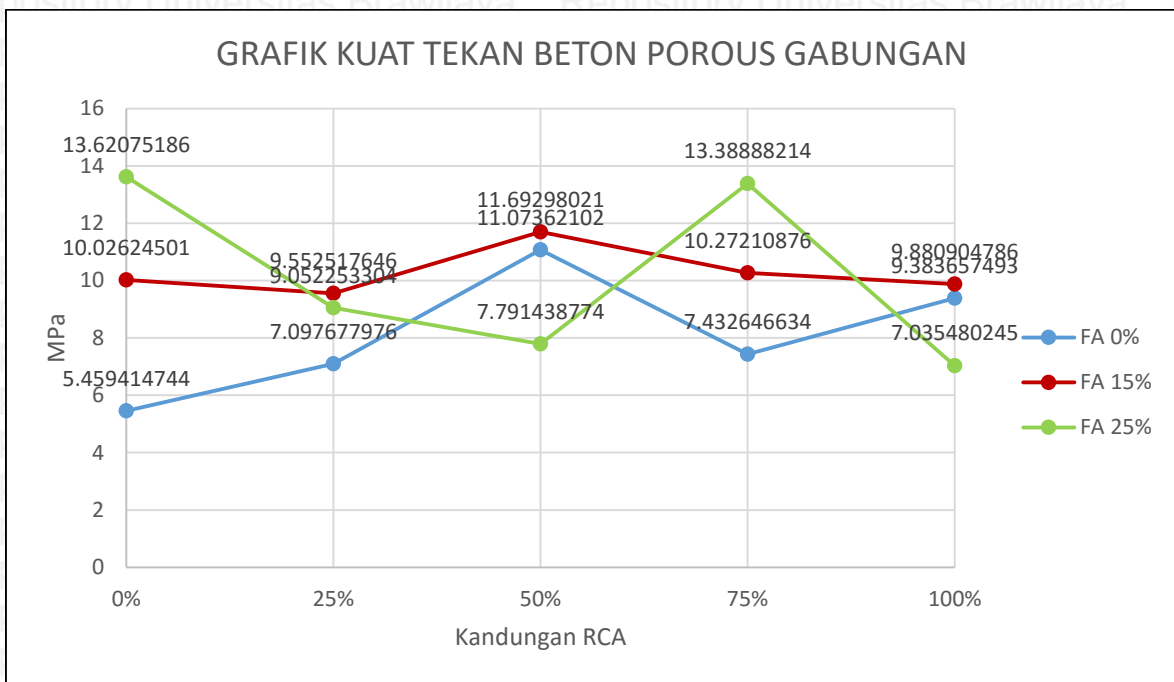
Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Fly Ash (%)	RCA (%)
a0b1	10.02624501	15	0
a1b1	9.552517646	15	25
a2b1	11.69298021	15	50
a3b1	10.27210876	15	75
a4b1	9.880904786	15	100



Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Fly Ash (%)	RCA (%)
a0b2	13.62075186	25	0
a1b2	9.052253304	25	25
a2b2	7.791438774	25	50
a3b2	13.38888214	25	75
a4b2	7.035480245	25	100









RCA	Kuat Tekan (MPa)	
0%	5.4594	FA 0%
25%	7.0977	
50%	11.0736	
75%	7.4326	
100%	9.3837	
0%	10.0262	FA 15%
25%	9.5525	
50%	11.6930	
75%	10.2721	
100%	9.8809	
0%	13.6208	FA 25%
25%	9.0523	
50%	7.7914	
75%	13.3889	
100%	7.0355	











Lampiran 6. Dokumentasi pengujian kuat tekan beton porous.

No.	Benda Uji	Tanggal Pengcoran	Tanggal Pengujian	Gaya Tekan (kN)	Dokumentasi		KETERANGAN
					Pengujian	Setelah Pengujian	
1	a0b0/a0c0/a0c1 (1)	07 Maret 2017	04 April 2017	81			NMA 0% RCA
2	a0b0/a0c0/a0c1 (2)	07 Maret 2017	04 April 2017	93			NMA 0% RCA
3	a0b0/a0c0/a0c1 (3)	07 Maret 2017	04 April 2017	109			NMA 0% RCA
4	a0b0/a0c0/a0c1 (4)	07 Maret 2017	04 April 2017	100			NMA 0% RCA







No.	Benda Uji	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Gaya Tekan (kN)	Dokumentasi		KETERANGAN
					Pengujian	Setelah Pengujian	
1	a1b0 / a1c0 (1)	10 Maret 2017	07 April 2017	130			FA 0% ; RCA 25%
2	a1b0 / a1c0 (2)	10 Maret 2017	07 April 2017	103			FA 0% ; RCA 25%
3	a1b0 / a1c0 (3)	10 Maret 2017	07 April 2017	134			FA 0% ; RCA 25%









No.	Benda Uji	Tanggal Pengcoran	Tanggal Pengujian	Gaya Tekan (kN)	Dokumentasi		KETERANGAN
					Pengujian	Setelah Pengujian	
1	a2b0 / a2c0 (1)	13 Maret 2017	10 April 2017	234			FA 0% ; RCA 50%
2	a2b0 / a2c0 (2)	13 Maret 2017	10 April 2017	166			FA 0% ; RCA 50%
3	a2b0 / a2c0 (3)	13 Maret 2017	10 April 2017	167			FA 0% ; RCA 50%

No.	Benda Uji	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Gaya Tekan (kN)	Dokumentasi		KETERANGAN
					Pengujian	Setelah Pengujian	
1	a3b0 / a3c0 (1)	14 Maret 2017	11 April 2017	164			FA 0% ; RCA 75%
2	a3b0 / a3c0 (2)	14 Maret 2017	11 April 2017	100			FA 0% ; RCA 75%
3	a3b0 / a3c0 (3)	14 Maret 2017	11 April 2017	122			FA 0% ; RCA 75%







No.	Benda Uji	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Gaya Tekan (kN)	Dokumentasi		KETERANGAN
					Pengujian	Setelah Pengujian	
1	a4b0 / a4c0 (1)	14 Maret 2017	11 April 2017	185			FA 0% ; RCA 100%
2	a4b0 / a4c0 (2)	14 Maret 2017	11 April 2017	144			FA 0% ; RCA 100%
3	a4b0 / a4c0 (3)	14 Maret 2017	11 April 2017	154			FA 0% ; RCA 100%



No.	Benda Uji	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Gaya Tekan (kN)	Dokumentasi		KETERANGAN
					Pengujian	Setelah Pengujian	
1	a0b1 (1)	15 Maret 2017	12 April 2017	157			FA 15% ; RCA 0%
2	a0b1 (2)	15 Maret 2017	12 April 2017	195			FA 15% ; RCA 0%
3	a0b1 (3)	15 Maret 2017	12 April 2017	170			FA 15% ; RCA 0%







No.	Benda Uji	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Gaya Tekan (kN)	Dokumentasi		KETERANGAN
					Pengujian	Setelah Pengujian	
1	a0b2 (1)	15 Maret 2017	12 April 2017	266			wijaya wijaya wijaya FA 25% ; RCA 0%
2	a0b2 (2)	15 Maret 2017	12 April 2017	202			wijaya wijaya wijaya FA 25% ; RCA 0%
3	a0b2 (3)	15 Maret 2017	12 April 2017	238			wijaya wijaya wijaya FA 25% ; RCA 0%

No.	Benda Uji	Tanggal Pengcoran	Tanggal Pengujian	Gaya Tekan (kN)	Dokumentasi		KETERANGAN
					Pengujian	Setelah Pengujian	
1	a1b1 (1)	16 Maret 2017	13 April 2017	185			FA 15% ; RCA 25%
2	a1b1 (2)	16 Maret 2017	13 April 2017	196			FA 15% ; RCA 25%
3	a1b1 (3)	16 Maret 2017	13 April 2017	113			FA 15% ; RCA 25%





No.	Benda Uji	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Gaya Tekan (kN)	Dokumentasi		KETERANGAN
					Pengujian	Setelah Pengujian	
1	a1b2 (1)	16 Maret 2017	13 April 2017	156			FA 25% ; RCA 25%
2	a1b2 (2)	16 Maret 2017	13 April 2017	155			FA 25% ; RCA 25%
3	a1b2 (3)	16 Maret 2017	13 April 2017	158			FA 25% ; RCA 25%

No.	Benda Uji	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Gaya Tekan (kN)	Dokumentasi		KETERANGAN
					Pengujian	Setelah Pengujian	
1	a2b1 (1)	17 Maret 2017	14 April 2017	223			FA 15% ; RCA 50%
2	a2b1 (2)	17 Maret 2017	14 April 2017	198			FA 15% ; RCA 50%
3	a2b1 (3)	17 Maret 2017	14 April 2017	185			FA 15% ; RCA 50%





No.	Benda Uji	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Gaya Tekan (kN)	Dokumentasi		KETERANGAN
					Pengujian	Setelah Pengujian	
1	a2b2 (1)	17 Maret 2017	14 April 2017	204			FA 25% ; RCA 50%
2	a2b2 (2)	17 Maret 2017	14 April 2017	142			FA 25% ; RCA 50%
3	a2b2 (3)	17 Maret 2017	14 April 2017	60			FA 25% ; RCA 50%






No.	Benda Uji	Tanggal Pegecoran	Tanggal Pengujian	Gaya Tekan (kN)	Dokumentasi		KETERANGAN
					Pengujian	Setelah Pengujian	
1	a3b1 (1)	20 Maret 2017	17 April 2017	216			FA 15% ; RCA 75%
2	a3b1 (2)	20 Maret 2017	17 April 2017	145			FA 15% ; RCA 75%
3	a3b1 (3)	20 Maret 2017	17 April 2017	171			FA 15% ; RCA 75%




No.	Benda Uji	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Gaya Tekan (kN)	Dokumentasi		KETERANGAN
					Pengujian	Setelah Pengujian	
1	a3b2 (1)	20 Maret 2017	17 April 2017	254			FA 25% ; RCA 75%
2	a3b2 (2)	20 Maret 2017	17 April 2017	245			FA 25% ; RCA 75%
3	a3b2 (3)	20 Maret 2017	17 April 2017	200			FA 25% ; RCA 75%



No.	Benda Uji	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Gaya Tekan (kN)	Dokumentasi		KETERANGAN
					Pengujian	Setelah Pengujian	
1	a4b1 (1)	21 Maret 2017	18 April 2017	164			FA 15% ; RCA 100%
2	a4b1 (2)	21 Maret 2017	18 April 2017	194			FA 15% ; RCA 100%
3	a4b1 (3)	21 Maret 2017	18 April 2017	153			FA 15% ; RCA 100%



No.	Benda Uji	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Gaya Tekan (kN)	Dokumentasi		KETERANGAN
					Pengujian	Setelah Pengujian	
1	a4b2 (1)	21 Maret 2017	18 April 2017	101			FA 25% ; RCA 100%
2	a4b2 (2)	21 Maret 2017	18 April 2017	161			FA 25% ; RCA 100%
3	a4b2 (3)	21 Maret 2017	18 April 2017	102			FA 25% ; RCA 100%



Lampiran 7. Dokumentasi pembuatan benda uji beton porous.







Lampiran 8. Logbook pembuatan benda uji

Hari ke-	Tanggal	Jam	Kegiatan	Pelaksanaan	Hasil
1	7 Maret 2017	15:00	<p>Pengecoran mix design $a_0c_1/ a_0b_1/a_0c_0$ 0% RCA, 100%NCA, <i>Normal Mixing</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> Penggunaan material : NCA = 150 kg RCA = - Semen = 37,5 kg Air = 11 kg (+ 2 kg) Mixer belum miring Terlalu banyak air (ditambah 2 kg) Kelebihan banyak material Memakai vibrator Pasta semen banyak keluar dari bekisting Bekisting balok melar Cara SSD salah Pemadatan $\frac{1}{2}$ tinggi bekisting Bekisting 3 silinder dibuka sebelum 24 jam. 	<ol style="list-style-type: none"> 8 silinder $\phi 15 \times 30$ cm Bagian bawah silinder tidak <i>porous</i>. 3 balok $15 \times 15 \times 53$ cm Bagian bawah balok tidak <i>porous</i>.



2	8 Maret 2017	11:00	<p>Pengecoran mix design a₁c₁ 25% RCA, 75%NCA, T SMA</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penggunaan material : <ul style="list-style-type: none"> NCA = 88 kg RCA = 30 kg Semen = 30 kg Air = 8,8 kg (- 2,2 kg) 2. Kelebihan banyak material 3. Cara SSD salah 4. Jumlah air dikurangi 2,2 kg dari 8,8 kg kebutuhan semula 5. <i>Workability</i> pas 6. Bekisting balok melar 7. Tidak pakai vibrator 8. Mesin mixer tidak sengaja dimatikan 9. Cetok masuk ke dalam mixer. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 6 silinder ϕ15 x 30 cm 2. 3 balok 15 x 15 x 53 cm
3	9 Maret 2017	11:00	<p>Pengecoran mix design a₃c₁ 75% RCA, 25%NCA, T SMA</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penggunaan material : <ul style="list-style-type: none"> NCA = 26 kg RCA = 77 kg Semen = 25 kg Air = 7,7 kg 2. Bekisting balok melar 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 6 silinder ϕ15 x 30 cm 2. 3 balok 15 x 15 x 53 cm



				<p>3. Tidak pakai vibrator</p> <p>4. Agregat sudah SSD.</p>	
		15:30	<p>Pengecoran mix design a₂c₁</p> <p>50% RCA, 50%NCA, TSMa</p>	<p>1. Penggunaan material :</p> <p>NCA = 51 kg</p> <p>RCA = 51 kg</p> <p>Semen = 26 kg</p> <p>Air = 7,7 kg</p> <p>2. Material kurang karena banyak menempel pada mixer</p> <p>3. Kurang campuran pada 1 balok (sekitar 15%)</p> <p>4. Membuat campuran beton baru menggunakan NCA dan dimasukkan pada 1 balok tersebut</p> <p>5. Bekisting balok melar</p> <p>6. Tidak pakai vibrator</p> <p>7. Agregat sudah SSD</p>	<p>1. 6 silinder $\phi 15 \times 30$ cm</p> <p>2. 3 balok 15 x 15 x 53 cm</p>
4	10 Maret 2017	15:00	<p>Pengecoran mix design a₁b₀ / a₁c₀</p>	<p>1. Penggunaan material :</p> <p>NCA = 77 kg</p> <p>RCA = 26 kg</p>	<p>1. 6 silinder $\phi 15 \times 30$ cm</p> <p>2. 3 balok 15 x 15 x 53 cm</p>



			<p>25% RCA, 75%NCA, 0% FA <i>Normal Mixing</i></p>	<p>Semen = 26 kg Air = 7,7 kg FA = -</p> <ol style="list-style-type: none"> Bekisting balok melar Tidak pakai vibrator Agregat sudah SSD. 	
5	13 Maret 2017	11:00	<p>Pengecoran mix design a₄c₁ 100% RCA, 0%NCA, TSMA</p>	<p>1. Penggunaan material : NCA = - RCA = 103 kg Semen = 26 kg Air = 7,7 kg</p> <ol style="list-style-type: none"> Bekisting balok melar Tidak pakai vibrator Agregat sudah SSD Mulai dicampur dengan RCA yang lebih besar ukuran sekitar 1 cm. 	<ol style="list-style-type: none"> 6 silinder ϕ15 x 30 cm 3 balok 15 x 15 x 53 cm
		15:30	<p>Pengecoran mix design a₂b₀ / a₂c₀ 50% RCA, 50%NCA, 0% FA</p>	<p>1. Penggunaan material : NCA = 51 kg RCA = 51 kg Semen = 26 kg</p>	<ol style="list-style-type: none"> 6 silinder ϕ15 x 30 cm 3 balok 15 x 15 x 53 cm



			<p><i>Normal Mixing</i></p>	<p>Air = 7,7 kg FA = 0 kg</p> <ol style="list-style-type: none"> Bekisting balok melar Tidak pakai vibrator Agregat sudah SSD. 1 balok hampir terjatuh. Memakai RCA ukuran yang lebih besar. 	
6	14 Maret 2017	11:00	<p>Pengecoran mix design a_{3b0} / a_{3c0} 75% RCA, 25%NCA, 0% FA <i>Normal Mixing</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> Penggunaan material : NCA = 26 kg RCA = 77 kg Semen = 26 kg Air = 7,7 kg FA = 0 kg Bekisting balok melar Tidak pakai vibrator Agregat sudah SSD. Memakai RCA ukuran yang lebih besar. 	<ol style="list-style-type: none"> 6 silinder $\phi 15 \times 30$ cm 3 balok 15 x 15 x 53 cm

		15:00	<p>Pengecoran mix design a_4b_0 / a_4c_0 100% RCA, 0%NCA, 0% FA <i>Normal Mixing</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penggunaan material : NCA = - RCA = 103 kg Semen = 26 kg Air = 7,7 kg FA = 0 kg 2. Bekisting balok melar 3. Tidak pakai vibrator 4. Agregat sudah SSD. 5. Memakai RCA ukuran yang lebih besar. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 6 silinder $\phi 15 \times 30$ cm 2. 3 balok $15 \times 15 \times 53$ cm
7	15 Maret 2017	13:50	<p>Pengecoran mix design a_0b_1 0% RCA, 100%NCA, 15% FA <i>Normal Mixing</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penggunaan material : NCA = 103 kg RCA = - Semen = 22 kg Air = 7,7 kg FA = 4 kg 2. Bekisting balok melar 3. Tidak pakai vibrator 4. Agregat sudah SSD. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 6 silinder $\phi 15 \times 30$ cm 2. 3 balok $15 \times 15 \times 53$ cm 3. 2 kubus



		16:00	<p>Pengecoran mix design a₀b₂ 0% RCA, 100%NCA, 25% FA <i>Normal Mixing</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> Penggunaan material : NCA = 103 kg RCA = - Semen = 19,5 kg Air = 7,7 kg FA = 6,5 kg Bekisting balok melar Tidak pakai vibrator Agregat sudah SSD. 	<ol style="list-style-type: none"> 6 silinder ϕ15 x 30 cm 3 balok 15 x 15 x 53 cm
8	16 Maret 2017	16:30	<p>Pengecoran mix design a₁b₁ 25% RCA, 75%NCA, 15% FA <i>Normal Mixing</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> Penggunaan material : NCA = 77 kg RCA = 26 kg Semen = 22 kg Air = 7,7 kg FA = 4 kg Bekisting balok melar Tidak pakai vibrator Agregat sudah SSD Memakai RCA ukuran yang lebih besar. 	<ol style="list-style-type: none"> 6 silinder ϕ15 x 30 cm 3 balok 15 x 15 x 53 cm
		17:00	<p>Pengecoran mix design a₁b₂</p>	<ol style="list-style-type: none"> Penggunaan material : NCA = 77 kg RCA = 26 kg 	<ol style="list-style-type: none"> 6 silinder ϕ15 x 30 cm 3 balok 15 x 15 x 53 cm



			<p>25% RCA, 75%NCA, 25% FA <i>Normal Mixing</i></p>	<p>Semen = 19,5 kg Air = 7,7 kg FA = 6,5 kg</p> <ol style="list-style-type: none"> Bekisting balok melar Tidak pakai vibrator Agregat sudah SSD. Memakai RCA ukuran yang lebih besar. 1 bekisting ada sisi yang belum dibor, sudah diatasi Gerimis saat pengecoran, tetapi sepertinya tidak mempengaruhi. 	
9	17 Maret 2017	16:00	<p>Pengecoran mix design a2b1 50% RCA, 50%NCA, 15% FA <i>Normal Mixing</i></p>	<p>1. Penggunaan material : NCA = 51 kg RCA = 51 kg Semen = 22 kg Air = 7,7 kg FA = 4 kg</p> <ol style="list-style-type: none"> Bekisting balok melar Tidak pakai vibrator Agregat sudah SSD 	<ol style="list-style-type: none"> 6 silinder $\phi 15 \times 30$ cm 3 balok $15 \times 15 \times 53$ cm



				5. Memakai RCA ukuran yang lebih besar.	
		16:30	<p>Pengecoran mix design a₂b₂</p> <p>50% RCA, 50%NCA, 25% FA</p> <p><i>Normal Mixing</i></p>	<p>1. Penggunaan material :</p> <p>NCA = 51 kg RCA = 51 kg</p> <p>Semen = 19,5 kg Air = 7,7 kg</p> <p>FA = 6,5 kg</p> <p>2. Bekisting balok melar</p> <p>3. Tidak pakai vibrator</p> <p>4. Agregat sudah SSD.</p> <p>5. Memakai RCA ukuran yang lebih besar.</p>	<p>1. 6 silinder $\phi 15 \times 30$ cm</p> <p>2. 3 balok 15 x 15 x 53 cm</p>

10	20 Maret 2017	15:30	<p>Pengecoran mix design a₃b₁ 75% RCA, 25%NCA, 15% FA <i>Normal Mixing</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> Penggunaan material : RCA = 77 kg NCA = 26 kg Semen = 22 kg Air = 7,7 kg FA = 4 kg Bekisting balok melar Tidak pakai vibrator Agregat sudah SSD Memakai RCA ukuran yang lebih besar Gerimis saat pengecoran Kurang air Semen menggumpal. 	<ol style="list-style-type: none"> 6 silinder $\phi 15 \times 30$ cm 3 balok 15 x 15 x 53 cm
		16:00	<p>Pengecoran mix design a₃b₂ 75% RCA, 25%NCA, 25% FA <i>Normal Mixing</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> Penggunaan material : RCA = 77 kg NCA = 26 kg Semen = 19,5 kg Air = 7,7 kg FA = 6,5 kg Bekisting balok melar Tidak pakai vibrator Agregat sudah SSD. 	<ol style="list-style-type: none"> 6 silinder $\phi 15 \times 30$ cm 3 balok 15 x 15 x 53 cm

				5. Memakai RCA ukuran yang lebih besar.	
11	21 Maret 2017	14:30	Pengecoran mix design a_4b_1 100% RCA, 0%NCA, 15% FA <i>Normal Mixing</i>	1. Penggunaan material : RCA = 103 kg NCA = - Semen = 22 kg Air = 7,7 kg FA = 4 kg 2. Bekisting balok melar 3. Tidak pakai vibrator 4. Agregat sudah SSD 5. Memakai RCA ukuran yang lebih besar 6. Mulai hujan saat pemadatan.	1. 6 silinder $\phi 15 \times 30$ cm 2. 3 balok $15 \times 15 \times 53$ cm
		15:00	Pengecoran mix design a_4b_2 100% RCA, 0%NCA, 25% FA	1. Penggunaan material : RCA = 103 kg NCA = - Semen = 19,5 kg Air = 7,7 kg kg	1. 6 silinder $\phi 15 \times 30$ cm 2. 3 balok $15 \times 15 \times 53$ cm

			<p><i>Normal Mixing</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. FA = 6,5 kg 2. Bekisting balok melar 3. Tidak pakai vibrator 4. Agregat sudah SSD. 5. Memakai RCA ukuran yang lebih besar. 	
--	--	--	---	--



Halaman ini sengaja dikosongkan