



**PENGARUH VARIASI UKURAN GRADASI AGREGAT KASAR
TERHADAP KUAT TEKAN BETON BERPORI**

OLEH :

AHMAD SAID MUSTHOFA
NIM. 111910301080

DOSEN KONSULTASI :

Ir. HERNU SUYOSO, M.T.
ERNO WIDAYANTO, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015



**PENGARUH VARIASI UKURAN GRADASI AGREGAT
KASAR TERHADAP KUAT TEKAN
BETON BERPORI**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 Teknik
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Ahmad Said Musthofa
NIM 111910301080**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua Orang Tuaku yang telah bekerja keras demi mewujudkan keinginan dan membahagiakan anak-anakmu. Terima kasih atas semua cinta dan kasih sayang serta doa yang tidak pernah putus demi kesuksesanku,
2. Kakak-kakakku tersayang, terima kasih atas segala hal yang telah dikorbankan dan diberikan kepadaku sehingga aku dapat menyelesaikan skripsiku ini,
3. Seluruh keluarga besar, terima kasih atas semua nasehat, doa, semangat, dan bimbingannya,
4. Keluarga besar Teknik Sipil 2011 yang telah banyak membantu serta bekerja sama untuk mencapai kesuksesan bersama sama.
5. Guru-guru sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi,
6. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“Barangsiapa menjalani suatu jalan untuk menuntut ilmu, maka dianugerahi Allah kepadanya jalan ke sorga”
(HR. Muslim)

“Allah mengangkat orang-orang beriman di antara kamu dan juga orang-orang yang dikaruniai ilmu pengetahuan hingga beberapa derajat.”
(QS. Al-Mujadalah : 11)

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Hendaknya kita tidak mudah menyerah dalam menghadapi kesulitan karena Allah SWT akan memberikan kemudahan setelahnya.”
(QS. Al Insiroh : 6 – 7)

“Ilmu lebih utama daripada harta. Sebab ilmu warisan para nabi adapun harta adalah warisan Qorun, Firaun dan lainnya. Ilmu lebih utama dari harta karena ilmu itu menjaga kamu, kalau harta kamulah yang menjaganya.”
(Ali bin Abi Thalib)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ahmad Said Musthofa

NIM : 111910301080

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Pengaruh Variasi Ukuran Gradasi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Berpori" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 29 Juni 2015

Yang menyatakan

Ahmad Said Musthofa
NIM 111910301080

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI UKURAN GRADASI AGREGAT
KASAR TERHADAP KUAT TEKAN
BETON BERPORI**

Oleh

Ahmad Said Musthofa
NIM 111910301080

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Hernu Suyoso, MT.

Dosen Pembimbing Anggota : Erno Widayanto, ST., MT.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul **“Pengaruh Variasi Ukuran Gradasi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Berpori”**. Telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

hari : Senin
tanggal : 29 Juni 2015
tempat : Ruang Sidang Jurusan Teknik Sipil

Tim Penguji

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Ir. Hernu Suyoso, MT.
NIP.19551112 198702 1 001

Erno Widayanto, ST.,MT.
NIP.19700419 199803 1 002

Penguji I,

Penguji II,

Jojok Widodo S, ST., MT.
NIP.19720527 200003 1 001

Dr. Anik Ratnaningsih, ST., MT.
NIP.19700530 199803 2 001

Mengesahkan
Fakultas Teknik
Universitas Jember
Dekan,

Ir. Widyono Hadi, MT.
NIP. 19610414 198902 1 001

RINGKASAN

Pengaruh Variasi Ukuran Gradasi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Berpori; Ahmad Said Musthofa, 111910301080; 2015; 32 halaman; Jurusan Teknik Sipil; Fakultas Teknik; Universitas Jember.

Pertumbuhan jumlah penduduk Indonesia sangat pesat sehingga menuntut kebutuhan sarana/prasarana infrastruktur yang memadai seperti pemukiman, jalan, taman dan sebagainya. Hal tersebut berakibat terhadap berkurangnya lahan hijau yang tersedia sebagai media penyerapan air. Solusi untuk mengurangi dampak negatif tersebut adalah penggunaan beton berpori yang selain mampu menjalankan fungsinya dalam konstruksi tetapi juga berfungsi sebagai media penyerapan air kedalam tanah yang ramah lingkungan. Beton berpori adalah suatu elemen bahan bangunan yang mempunyai rongga udara didalamnya terdiri dari campuran agregat kasar, semen, air, sedikit atau tidak sama sekali agregat halus serta bahan tambah lainnya. Dengan adanya rongga didalamnya membuat kuat tekan dari beton berpori menjadi rendah. Gradasi sebuah beton sangat berpengaruh terhadap kuat tekan sehingga diperlukan kombinasi ukuran agregat kasar untuk mencapai kuat tekan yang direncanakan.

Dalam penelitian ini, dicoba untuk menganalisis pengaruh komposisi ukuran agregat kasar sebagai material penyusun beton terhadap kuat tekan beton berpori. Sehingga didapat hasil analisa yang menyimpulkan bahwa semakin banyak penggunaan ukuran agregat kecil akan menurunkan nilai porositas dan *flow rate* beton berpori. Dengan penggunaan agregat kecil yang banyak akan menyebabkan beton semakin rapat dan menyebabkan kuat tekan beton berpori meningkat. Pada beton berpori campuran G diperoleh kuat tekan tertinggi dengan nilai porositas dan *flow rate* paling kecil dibandingkan dengan beton berpori campuran A, B, C, D, E dan F.

Dalam penelitian eksperimental ini, diperhitungkan porositas dan *flow rate* sebagai acuan dari ACI 522R sebagai syarat beton berpori sehingga didapat hasil

analisa yang menyimpulkan bahwa pada campuran G memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran A, B, C, D, E dan F. Namun pada nilai porositas dan *flow rate*, campuran G memiliki porositas dan *flow rate* paling kecil dibandingkan campuran A, B, C, D, E dan F. Hal tersebut dikarenakan beton berpori pada campuran G lebih rapat gradasinya dan memiliki pori lebih kecil menjadikan beton berpori pada campuran G memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan campuran sebelumnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perbandingan komposisi ukuran agregat penyusun beton berpori memiliki pengaruh terhadap kekuatan beton berpori.

SUMMARY

The Variations Effect of Coarse Aggregate Size Due to the Compressive Strength of Pervious Concrete; Ahmad Said Musthofa, 111910301080; 2015; 32 pages; the Civil Engineering Department; the Faculty of Engineering; Jember University.

Indonesian population growth is very rapid so demanding needs of facilities / infrastructure adequate infrastructure such as housing, roads, parks and so on. This causes a reduction of available green space as a medium water absorption. Solutions to reduce the negative impact is the use of porous concrete that besides being able to function in construction but also serves as a medium of water absorption into the soil that are environmentally friendly. Porous concrete is a building material that has the element of air cavity therein comprises a mixture of coarse aggregate, cement, water, little or no fine aggregate and other added ingredients. With the cavity therein made of porous concrete compressive strength is low. Gradation of a concrete influence on compressive strength so that the required combination of size coarse aggregate to reach the planned compressive strength.

In this research study, tried to analyze the influence of coarse aggregate size composition as a constituent material of compressive strength of concrete porous concrete Thus obtained results of the analysis concluded that more use of small aggregate size will decrease the porosity value and the flow rate of porous concrete. With the use of small aggregates that many more meetings will lead to concrete and causing increased compressive strength of porous concrete. On porous concrete mixture G obtained the highest compressive strength with porosity values and the smallest flow rate compared to porous concrete mixture A, B, C, D, E and F.

In this experimental study, calculated porosity and flow rate as a reference of ACI 522R as porous concrete terms in order to get the results of the analysis concluded that the mixture G has a higher compressive strength compared with a mixture of A, B, C, D, E and F. However, the value of porosity and flow rate, the mixture G has porosity

and the smallest flow rate compared to a mixture of A, B, C, D, E and F. This is because the porous concrete mixture gradation G tighter and have smaller pores made of porous concrete the mixture G has a higher compressive strength than the previous mix. It can be concluded that the composition ratio of constituent porous concrete aggregate size has an influence on the strength of porous concrete.



PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Ukuran Gradasi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan beton Berpori”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

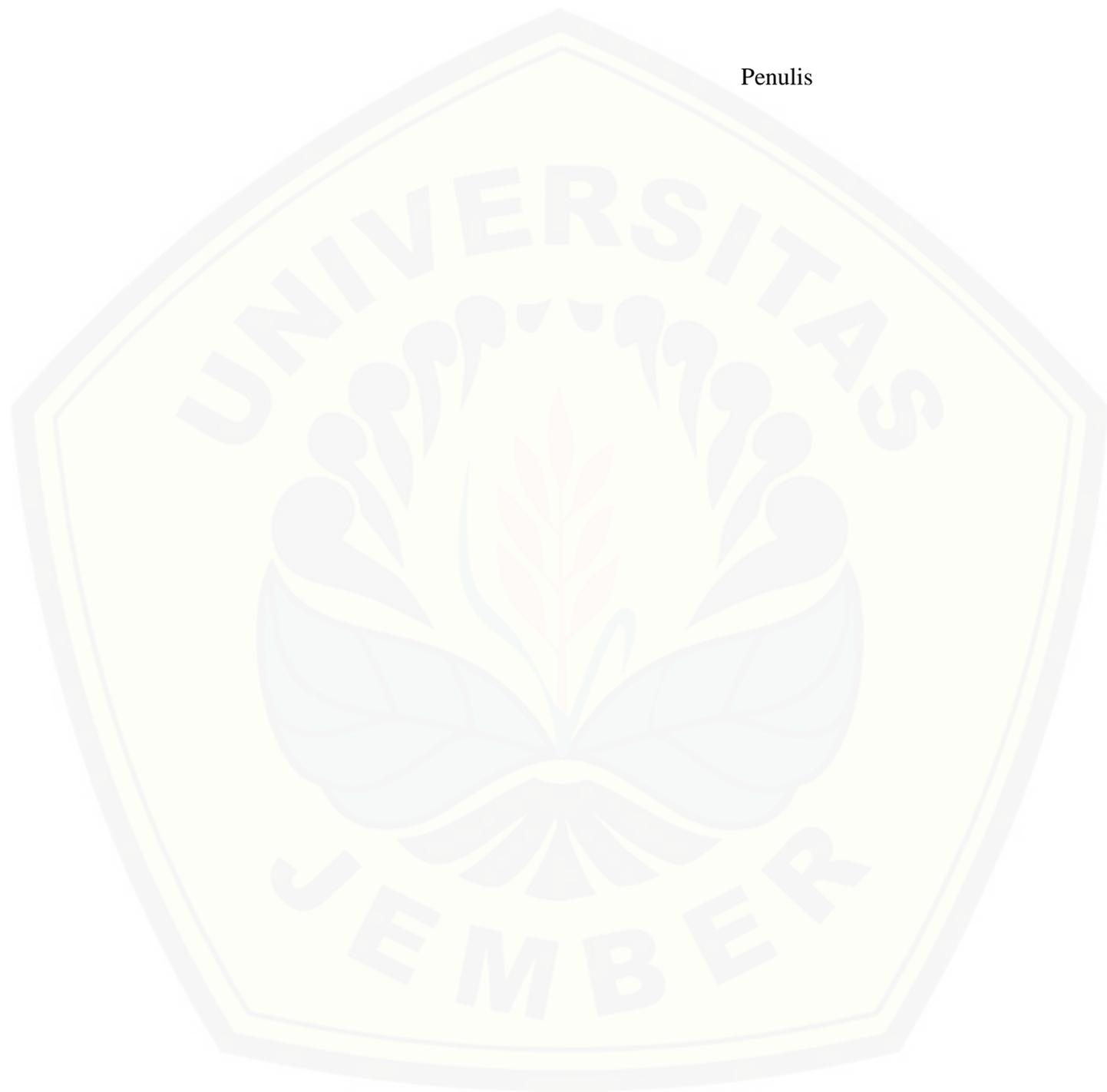
Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Widyono Hadi, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,
2. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember,
3. Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember,
4. Ir. Hernu Suyoso, M.T. dan Erno Widayanto, ST., M.T. selaku Dosen Pembimbing,
5. Jajok Widodo S, ST., M.T. dan Dr. Anik Ratnaningsih, ST., M.T. selaku Dosen Penguji,
6. Kedua orang tua yang telah mencintai, merawat, dan mendidik dari lahir sampai saat ini,
7. Keluarga Besar Teknik Sipil 2011 yang selalu ada di setiap suka duka selama penulis di Jember dengan segala dukungan, semangat dan doanya,
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu,
9. Almamater Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik.

Segala kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca sekalian.

Jember, 29 Juni 2015

Penulis

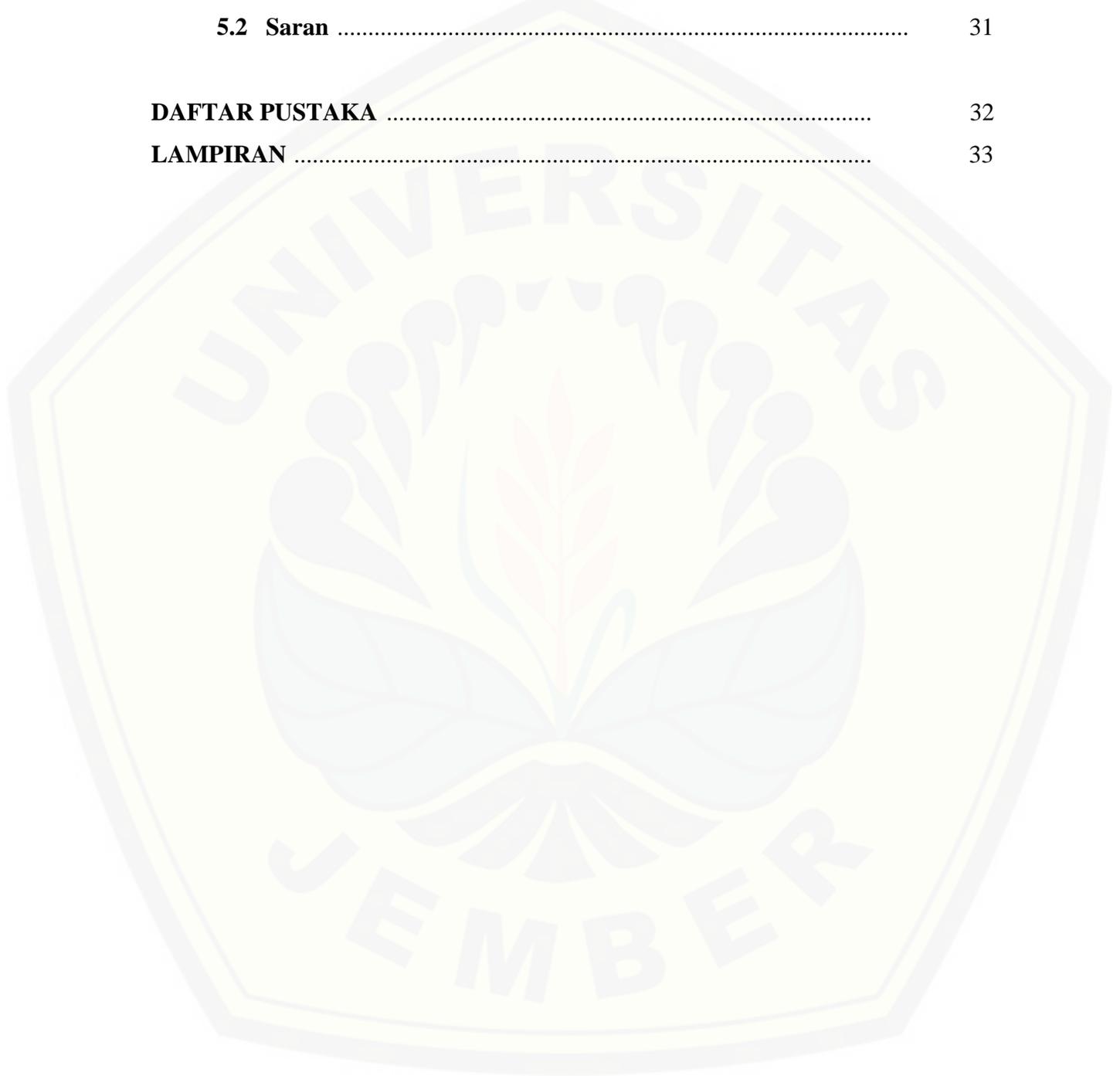


DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Beton Berpori	4
2.2 Material Beton Berpori	5
2.2.1 Semen	5
2.2.2 Agregat Kasar	5
2.2.3 Air	5
2.2.4 <i>Viscocrete 10</i>	6

2.3	Kuat Tekan Beton	6
2.4	Porositas Beton Beton Berpori	7
2.5	<i>Flow Rate</i> Beton Berpori	7
2.6	Kontrol Kualias Beton Berpori	8
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN		9
3.1	Studi Pustaka	9
3.2	Pengujian Material	9
3.3	Perbandingan Proporsi Campuran	9
3.4	Pembuatan Benda Uji	10
3.5	Perawatan Benda Uji	11
3.6	Pengujian Benda Uji	11
3.6.1	Pengujian Porositas	11
3.6.2	Pengujian <i>Flow Rate</i>	11
3.6.3	Pengujian Kuat Tekan	12
3.7	Analisa dan Pembahasan	12
3.8	Kesimpulan	12
3.9	Bagan Alur Metodologi	13
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		14
4.1	Hasil Pengujian Material	14
4.2	Proporsi Campuran	15
4.3	Hasil Pengujian Benda Uji	16
4.3.1	Berat Volume	16
4.3.2	Porositas	18
4.3.3	<i>Flow Rate</i>	20
4.3.4	Kuat Tekan	24
4.4	Deviasi Standar	29

BAB 5. PENUTUP	31
5.1 Kesimpulan	31
5.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN	33



DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Perbandingan Proporsi Campuran Ukuran Agregat	10
3.2 Campuran Kebutuhan Benda Uji	10
4.1 Hasil Uji Material	14
4.2 Proporsi Campuran	15
4.3 Kebutuhan Air Setelah Dikoreksi	15
4.4 Hasil Pengujian Benda Uji	16
4.5 Nilai Deviasi Standar Campuran	29
4.6 Faktor Pengali Nilai Standar Deviasi	29
4.7 Nilai Deviasi Standar Setelah Dikalikan Faktor Pengali	29
4.8 Nilai Deviasi Standar Untuk Tingkat Pengendalian Mutu.....	30
4.9 Hasil Nilai Standar Deviasi Untuk Semua Campuran	30

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
4.1 Pengujian Berat Volume	16
4.2 Grafik Hubungan Berat Volume Dengan Proporsi Campuran.....	17
4.3 Pengujian Porositas.....	18
4.4 Grafik Hubungan Porositas dengan Proporsi Campuran.....	18
4.5 Grafik Hubungan Porositas dengan Berat Volume.....	19
4.6 Pengujian <i>Flow Rate</i>	20
4.7 Grafik Hubungan <i>Flow Rate</i> dengan Proporsi Campuran	20
4.8 Grafik Hubungan Berat Volume dengan <i>Flow Rate</i>	21
4.9 Grafik Hubungan <i>Flow Rate</i> dengan Porositas	22
4.10 Pengujian Kuat Tekan	22
4.11 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Proporsi Campuran	23
4.12 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Berat Volume	24
4.13 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Porositas	25
4.14 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan <i>Flow Rate</i>	26
4.15 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan mutu beton	26

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pertumbuhan jumlah penduduk Indonesia rata-rata setiap tahunnya sebesar 1,49 % sehingga menuntut kebutuhan sarana/prasarana infrastruktur yang memadai seperti perumahan, jalan, tempat parkir, taman bermain dan sebagainya. Hal tersebut berakibat terhadap berkurangnya lahan hijau yang tersedia. Lahan hijau yang berkurang karena pemanfaatan untuk pemukiman dan lapis perkerasan (aspal) yang kedap air tersebut akan mengakibatkan proses infiltrasi air ke dalam tanah terhambat sehingga akan menimbulkan limpasan permukaan yang berakibat banjir terutama pada musim hujan. Solusi untuk mengurangi dampak negatif tersebut adalah penggunaan beton berpori yang selain mampu menjalankan fungsinya dalam konstruksi tetapi juga berfungsi sebagai media penyerapan air ke dalam tanah yang ramah lingkungan. Jumlah pori minimum yang disyaratkan untuk memenuhi kriteria sebagai beton berpori adalah 15%.

Menurut Samekto (2001) kekuatan beton berpori ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar, agregat halus dan air. Perbandingan air terhadap semen merupakan faktor utama dalam penentuan kekuatan beton. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Daryanto Ari Prabowo dkk (2013) yang meneliti perbandingan faktor air semen beton berpori dengan menggunakan agregat seragam. Studi tersebut menyebutkan bahwa penggunaan faktor air semen sebesar 0,35 pada beton berpori memiliki kuat tekan, kuat lentur, porositas dan flow rate lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan faktor air semen 0,3 dan 0,4.

Penggunaan agregat halus atau *fly ash* pada beton berpori bertujuan untuk meningkatkan kuat tekan. Namun jika semakin banyak penggunaan agregat halus menyebabkan menurunnya porositas pada beton berpori. Untuk meningkatkan kuat tekan tanpa menggunakan *fly ash* adalah penggunaan zat aditif. Hal ini terbukti dengan adanya studi yang dilakukan oleh Frandy Ferdian dkk (2012) yang membandingkan beton berpori yang menggunakan zat aditif tanpa *fly ash* dan sebaliknya. Studi tersebut menyebutkan bahwa penggunaan zat aditif tanpa *fly ash* meningkatkan kuat tekan sebesar 18,33 % dalam komposisi semen 325 kg/m³; FAS 0,4; air 130 kg/m³; zat aditif 1-3 %.

Penggunaan zat aditif pada beton berpori sangat berpengaruh terhadap kuat tekan dan kekentalan pasta. Jika pasta terlalu encer dapat mengakibatkan pengendapan pasta dan menurunnya kuat tekan. Pada penelitian beton berpori yang dilakukan Prima Ramadhani (2009) dengan menggunakan perbandingan dosis zat aditif (*superplasticizer*) sebesar 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa kuat tekan paling tinggi pada dosis zat aditif sebesar 0,2 liter per 100 kg semen.

Dalam penelitian ini adalah melakukan pengembangan terhadap penelitian sebelumnya dengan melakukan perbandingan proporsi campuran beton berpori dengan 3 jenis ukuran agregat yang berbeda untuk meningkatkan kuat tekan beton dengan perbandingan semen dan agregat yang sama pada penelitian sebelumnya. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang beton berpori dengan berbagai perbandingan komposisi ukuran agregat kasar yang bervariasi untuk mendapatkan kuat tekan yang optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu :

1. Manakah perbandingan proporsi campuran agregat kasar yang optimal untuk memenuhi kriteria sebagai beton berpori?
2. Manakah campuran yang menghasilkan porositas, *flow rate* dan kuat tekan yang maksimal?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

Secara umum penelitian ini bertujuan :

1. Untuk mengetahui perbandingan proporsi campuran agregat kasar yang memenuhi kriteria sebagai beton berpori.
2. Untuk mengetahui campuran yang menghasilkan porositas, *flow rate*, dan kuat tekan yang maksimal.

1.3.2 Manfaat

- a Memberikan bahan kajian, beton berpori mengenai perbandingan proporsi agregat kasar dengan perbedaan ukuran agregat terhadap porositas, *flow rate* dan kuat tekan.
- b Dapat digunakan acuan sebagai alternatif material konstruksi yang ramah lingkungan untuk diaplikasikan sebagai area parkir terbuka, jalan lokal, trotoar dan area taman perumahan sesuai dengan mutu yang disyaratkan.
- c Sebagai pertimbangan dan masukan untuk penelitian selanjutnya.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini perlu beberapa batasan-batasan masalah yang bertujuan agar penelitian ini tidak jauh menyimpang dari topik yang telah dijelaskan. Adapun batasan-batasan masalah tersebut adalah :

1. Tidak melakukan pengujian karakteristik semen.
2. Tidak menggunakan agregat halus.
3. Tidak melakukan pengujian agregat kasar.
4. Agregat yang digunakan memiliki 3 jenis ukuran,
 - Agregat lolos saringan 38 mm dan tertahan pada saringan 19 mm
 - Agregat lolos saringan 19 mm dan tertahan pada saringan 9,5 mm
 - Agregat lolos saringan 9,5 mm dan tertahan pada saringan 4,8 mm
5. Nilai slump pada campuran beton berpori diabaikan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Berpori

Beton Berpori merupakan beton tidak normal, dikarenakan beton berpori dibuat dari jumlah air dengan pengawasan ketat dan bahan semen yang digunakan untuk menciptakan pasta berbentuk padatan yang menyelimuti sekitar butir agregat. Tidak seperti beton konvensional, campurannya tidak terdapat pasir. Tujuannya adalah menciptakan kandungan rongga udara yang banyak, antara 15 – 35 % (*ACI 522R-10*).

Umumnya, rasio perbandingan agregat dan semen antara 4.0 sampai 4.5 dalam massa. Jika rasio agregat /semen besar, artinya jumlah pasta semen dalam adukan beton sedikit, maka daya rekat antar butir agregat lemah, sehingga diperoleh kuat tekan beton yang rendah (*ACI 211.3R-97*).

Rasio air semen sangat perlu dipertimbangkan untuk menjaga kekuatan dan porositas dalam beton. Rasio air semen yang tinggi mengurangi daya ikat pasta antar agregat, dan menyebabkan pasta mengalir dan mengisi rongga dalam beton. Rasio air semen yang kecil cenderung menyebabkan butir-butir agregat membentuk seperti bola yang terselimuti pasta. Pengalaman telah menunjukkan cakupan rekomendasi antara 0,32 sampai 0,45 akan menyediakan penyalutan agregat yang terbaik dan stabilitas pasta. Hubungan antara kekuatan dan rasio air semen tidaklah jelas untuk beton berpori, sebab tidak sama dengan beton konvensional, total isi pasta kurang dari isi rongga di antara agregat. Oleh karena itu, membuat pasta yang lebih kuat tidak selalu yang didorong ke arah peningkatan keseluruhan kekuatan. Isi air harus dengan ketat dikendalikan. Kandungan air yang benar telah dijelaskan yaitu diberikan pada saat pencampuran (*ACI 211.3R-97*).

Komposisi yang digunakan untuk beton berpori tidak jauh berberda seperti beton normal, perbedaan yang ada adalah dalam pembuatan beton berpori tidak atau sedikit sekali digunakan agregat halus pada campuran betonnya dikarenakan beton berpori yang terbentuk memiliki rongga – rongga untuk porositas air. Sehingga untuk menciptakan pori pada beton berpori, bahan penyusun utama adalah semen portland, agregat kasar, air dan bahan tambah lainnya dengan komposisi tertentu.

2.2 Material Beton Berpori

2.2.1 Semen

Semen adalah suatu jenis bahan yang memiliki sifat adhesif (*adhesive*) dan kohesif (*cohesive*) yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu masa yang padat. Semen yang dimaksudkan untuk konstruksi beton bertulang adalah bahan yang jadi dan mengeras dengan adanya air atau disebut juga semen hidrolis (*hidraulic cement*).

2.2.2 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat dengan butiran yang tertinggal di atas ayakan dengan lubang diameter 4,8 mm, tetapi lolos ayakan 4,0 mm. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kekasaran permukaan jenis tertentu dari agregat kasar, menambah kekuatan tarik maupun kekuatan lentur beton. Hal ini disebabkan karena adanya tambahan gesekan antara pasta semen dan permukaan butir-butir agregat.

Agregat merupakan komponen yang paling berperan dalam menentukan besarnya beton biasanya terdapat 70-75 % volume agregat. Agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi 16 mm. Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, mempunyai gradasi baik sesuai dengan standart analisa saringan dari ASTM. Memiliki modulus halus butir 6.0 sampai 8.0.

2.2.3 Air

Air yang digunakan untuk campuran beton biasanya sesuai dengan yang dipakai untuk minum. Biasanya jumlah air yang diperlukan dalam pembuatan beton berkisar antara 25 % dari jumlah berat semen. Kelebihan air dalam adukan beton normal dapat membahayakan karena air bersama-sama semen akan bergerak ke atas permukaan beton, dan ini dinamakan *Bleeding*. Sedangkan pada beton berpori kelebihan air dapat menyebabkan pengendapan pasta semen. Air yang mengandung kotoran akan mempengaruhi waktu ikatan awal adukan beton dan mengakibatkan lemahnya kekuatan beton setelah mengeras dan daya tahannya menurun.

2.2.4 Viscocrete 10

Viscocrete 10 adalah bahan tambahan untuk mempercepat proses pengerasan beton.

Kegunaan dan kelebihan *Viscocrete 10 Additive* :

1. Mempercepat pengerasan beton dengan pengurangan air sampai 20%
2. Mengurangi keropos / meningkatkan daya tahan terhadap karbonasi
3. Memudahkan pada saat pengecoran

Cara Pemakaian *Viscocrete 10 Additive*

Viscocrete 10 Additive dituangkan kedalam gelas ukur sesuai dengan kebutuhan. Untuk memperoleh manfaat optimal dari pengurangan air dalam jumlah besar, disarankan pengadukan dalam kondisi basah minimal 60 detik. Penambahan air takaran yang tersisa (untuk memperoleh konsistensi beton yang baik) hanya dapat dimulai setelah 2/3 waktu pengadukan dalam kondisi basah, untuk menghindari jumlah air yang berlebihan dalam beton.

2.3 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton dinyatakan dengan berapa besar kemampuan beton menerima beban maksimum sampai beton tersebut retak atau pecah. Kuat tekan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan : σ = kuat tekan beton (kg/cm²)
P = Beban maksimum yang tertera di alat (kN)
A = Luas bidang tekan (cm²)

Menurut ACI 522R-10 mengenai kuat tekan beton berpori berkisar antara 2,8 – 28 Mpa. Persyaratan standar mengenai mutu beton berpori belum terdapat pada SNI, sehingga nilai kuat tekan beton penelitian yang dilakukan berdasarkan pada SNI 03-0691-2002 tentang bata beton dimana klasifikasi bata beton dibagi menjadi 4 jenis menurut penggunaannya, yaitu :

- a. Bata beton mutu A : digunakan untuk jalan
- b. Bata beton mutu B : digunakan untuk pelataran parkir
- c. Bata beton mutu C : digunakan untuk pejalan kaki (*sidewalk*)
- d. Bata beton mutu D : digunakan untuk taman dan penggunaan lain

Persyaratan mutu bata beton berdasarkan kuat tekan minimum sebagai berikut :

Mutu	Kuat Tekan (Mpa)		Ketahanan Aus		Penyerapan Air
	Rata – rata	Minimum	Rata – rata	Minimum	%
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

2.4 Porositas Beton Berpori

Porositas adalah ukuran dari proporsi total volume yang ditempati oleh pori – pori dan biasanya dinyatakan sebagai persentase dari volume sampel. Porositas dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$n = \frac{T-D}{T} \times 100 \dots\dots\dots(2.2)$$

- Keterangan :
- n = Porositas (%)
 - T = Volume total beton (ml)
 - D = Volume yang dipindahkan (ml)

Persyaratan standar mengenai syarat batasan pori yang harus dimiliki beton berpori belum terdapat pada SNI, sehingga nilai kuat tekan beton penelitian yang dilakukan berdasarkan pada ACI 522R-10 tentang beton berpori. Menurut ACI 522R-10 mengenai porositas beton berpori berkisar antara 15 – 35 %. Porositas pada beton berpori tergantung pada gradasi agregat kasar yang digunakan dan secara umum berkisar antara 60 – 75 % dari kepadatan beton normal.

2.5 Flow Rate Beton Berpori

Flow rate adalah banyaknya atau jumlah fluida yang mengalir yang diukur persatuan waktu. Kuat tekan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q = V \times A \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan : Q = Flow rate (L/m²/mnt)
 V = Kecepatan aliran air (m/s)
 A = Luas bidang yang dialiri (m²)

Persyaratan standar mengenai syarat batas kemampuan beton berpori dalam mengalirkan air (*flow rate*) belum terdapat pada SNI, sehingga nilai *flow rate* pada penelitian yang dilakukan berdasarkan pada ACI 522R-10 tentang *pervious concrete*. Menurut ACI 522R-10 mengenai *flow rate* pada beton berpori berkisar antara 2 – 18 gal/min/ft² atau 81 – 730 liter/mnt/m².

2.6 Kontrol Kualitas Beton Berpori

Kontrol kualitas pekerjaan beton dimaksudkan untuk melihat apakah pekerjaan yang dilakukan telah memenuhi syarat seperti yang telah disyaratkan oleh peraturan. Kualitas beton harus dipertimbangkan dalam hubungannya dengan kualitas yang dituntut untuk pekerjaan konstruksi. Kontrol kualitas pekerjaan beton seringkali menggunakan aplikasi statistika, seperti Standart Deviasi (Sd). Apabila sejumlah benda uji diperiksa kekuatannya, maka hasilnya akan menyebar sekitar suatu nilai rata-rata tertentu. Penyebaran ini tergantung pada tingkat kesempurnaan dari pelaksanaannya. Ukuran dari besar kecilnya penyebaran disebut standart deviasi. Makin kecil nilai stadar deviasinya, makin baik mutu pelaksanaannya. Standar deviasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_1^n (fc - fcr)^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan : fc = Kuat tekan beton individu (kg/cm²)
 fcr = Kuat tekan beton rata – rata (kg/cm²)
 n = Jumlah data hasil uji tekan

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Kepustakaan

Studi pustaka adalah segala upaya yang dilakukan untuk memperoleh data – data atau informasi yang berhubungan dengan pengujian atau penelitian. Studi pustaka ini dilakukan supaya memperoleh dasar – dasar yang kuat sebelum dilakukan pengujian. Informasi atau data – data tersebut didapat dari berbagai sumber, antara lain : Buku, buku panduan praktikum, jurnal, internet, skripsi terdahulu dan masih banyak yang lain.

3.2 Pengujian Material

Tidak dilakukan pengujian material karena data-data material mengambil dari hasil penelitian sebelumnya yang menggunakan spesifikasi material yang sama.

3.3 Perbandingan Proporsi Campuran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Prima Ramadhani (2009) dengan penambahan *superplasticizer*, hasil optimal dicapai dengan data spesifikasi perbandingan proporsi material sebagai berikut :

Semen : Agregat	= 1 : 6
Ukuran Agregat	= 0,9 – 1,27 cm
Semen	= 1178 Kg
Faktor Air Semen	= 0,35
Air	= 477,01 liter
<i>Superplasticizer</i>	= 0,003 liter

Didapat hasil pengujian sebagai berikut :

Berat volume	= 1801,43 kg/m ³
Porositas	= 20,84 %
<i>Flow Rate</i>	= 571,09 liter/m ² /menit
Kuat Tekan	= 3,246 Mpa

Permasalahan yang ditinjau adalah ukuran agregat yang digunakan adalah ukurannya seragam, karena gradasi agregat kasar sangat berpengaruh terhadap hasil kuat tekan dari suatu beton berpori, sehingga diperlukan kombinasi ukuran agregat

kasar untuk mendapatkan hasil kuat tekan yang maksimal. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Frandy Ferdian (2012) bahwa didapat hasil permukaan yang baik dan ikatan semen agregat lebih kuat dengan menggunakan perbandingan proporsi agregat sebesar 30% agregat kasar yang lolos saringan 38 mm dan tertahan pada saringan 19 mm (ukuran agregat 2-3 cm), 40 % agregat kasar yang lolos saringan 19 mm dan tertahan pada saringan 9,6 mm (ukuran agregat 1-2 cm) dan 30% agregat kasar yang lolos saringan 9,6 mm dan tertahan pada saringan 4,8 mm (ukuran agregat 0,5-1 cm). Pada penelitian ini, dengan mengacu pada perbandingan proporsi diatas, tiga jenis ukuran agregat tersebut dikombinasikan untuk mencapai kuat tekan yang yang tinggi, maka proporsi campuran direncanakan pada tabel berikut :

Tabel 3.1 Perbandingan Proporsi Campuran Ukuran Agregat

Campuran	Ukuran Agregat Kasar			Perbandingan Agregat (%)
	2 – 3cm (kg/m ³)	1 – 2cm (kg/ m ³)	0,5 – 1cm (kg/ m ³)	
A	480	480	240	40 : 40 : 20
B	360	600	240	30 : 50 : 20
C	360	480	360	30 : 40 : 30
D	360	360	480	30 : 30 : 40
E	240	720	240	20 : 60 : 20
F	240	600	360	20 : 50 : 30
G	240	480	480	20 : 40 : 40

3.4 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji menggunakan cetakan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 15x15x15 cm. Jumlah benda uji dari masing-masing campuran adalah sebanyak 10 buah pada masing – masing campuran, dengan perincian sebagai berikut :

Tabel 3.2 Campuran Kebutuhan Benda Uji

Campuran	Perbandingan Agregat (%)	Jumlah Benda Uji
A	40 : 40 : 20	10
B	30 : 50 : 20	10
C	30 : 40 : 30	10
D	30 : 30 : 40	10
E	20 : 60 : 20	10
F	20 : 50 : 30	10
G	20 : 40 : 40	10
Total benda uji		70

3.5 Perawatan Benda Uji

Setelah beton lebih dari 24 jam, beton dilepas dari bekisting dan direndam di kolam perendaman sampai pengujian umur rencana yang ditentukan yaitu 28 hari untuk kemudian dilakukan uji porositas, uji *flow rate* dan uji kuat tekan.

3.6 Pengujian Benda Uji

Pengujian dilakukan dengan 3 jenis macam tahapan pengujian pada 10 benda uji tersebut dari masing – masing campuran.

3.6.1 Pengujian Porositas

Untuk mengetahui porositas yang maksimal dari masing-masing proporsi campuran, dilakukan pengujian porositas untuk mendapatkan analisa yang akurat.

Pengujian porositas dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Mula-mula memastikan bahwa benda uji dalam keadaan SSD
2. Mengukur volume air pada akuarium pengetesan.
3. Setelah diukur benda uji dimasukkan ke akuarium yang sudah dimodifikasi dengan saluran yang dihubungkan ke gelas ukur.
4. Air yang berlebih akibat benda uji akan mengalir ke gelas ukur melalui saluran yang sudah dibuat.
5. Untuk menghitung porositas yaitu dengan mengurangi volume total benda uji dengan volume air yang berpindah ke gelas ukur.

3.6.2 Pengujian *Flow Rate*

Untuk mengetahui kecepatan beton berpori dalam mengalirkan air dari masing-masing campuran, dilakukan pengujian *flow rate* untuk mengetahui campuran yang paling optimal. Pengujian *flow rate* dilakukan tahapan sebagai berikut :

1. Memastikan bahwa benda uji dalam keadaan SSD
2. Diasumsikan arah aliran air menjadi searah, yaitu dari atas kebawah.
3. Seluruh sisi samping benda uji dibungkus dengan plastik dengan cara diisolasi.

4. Dengan bantuan selang air, air dari kran disiramkan tepat posisi ditengah sisi benda uji sambil dibarengi dengan mencatat waktu ketika air disiramkan dan ketika air sudah melalui rongga dari benda uji selama 10 detik.
5. Air hasil dari gelas ukur dicatat dikalikan 6 untuk mendapatkan satuan permenit dan satuan luas penampang dikonversi dari cm^2 ke m^2 .

3.6.3 Pengujian Kuat Tekan

Setelah pengujian porositas dan *flow rate*, mulailah dilakukan uji tekan untuk mengetahui campuran yang mempunyai kuat tekan beton yang optimal.

3.7 Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan dilakukan terhadap data-data hasil pengujian di Laboratorium. Setiap kejadian dalam penelitian ini harus diikuti pengamatan, semakin detail pengamatan akan semakin besar manfaat dari penelitian ini.

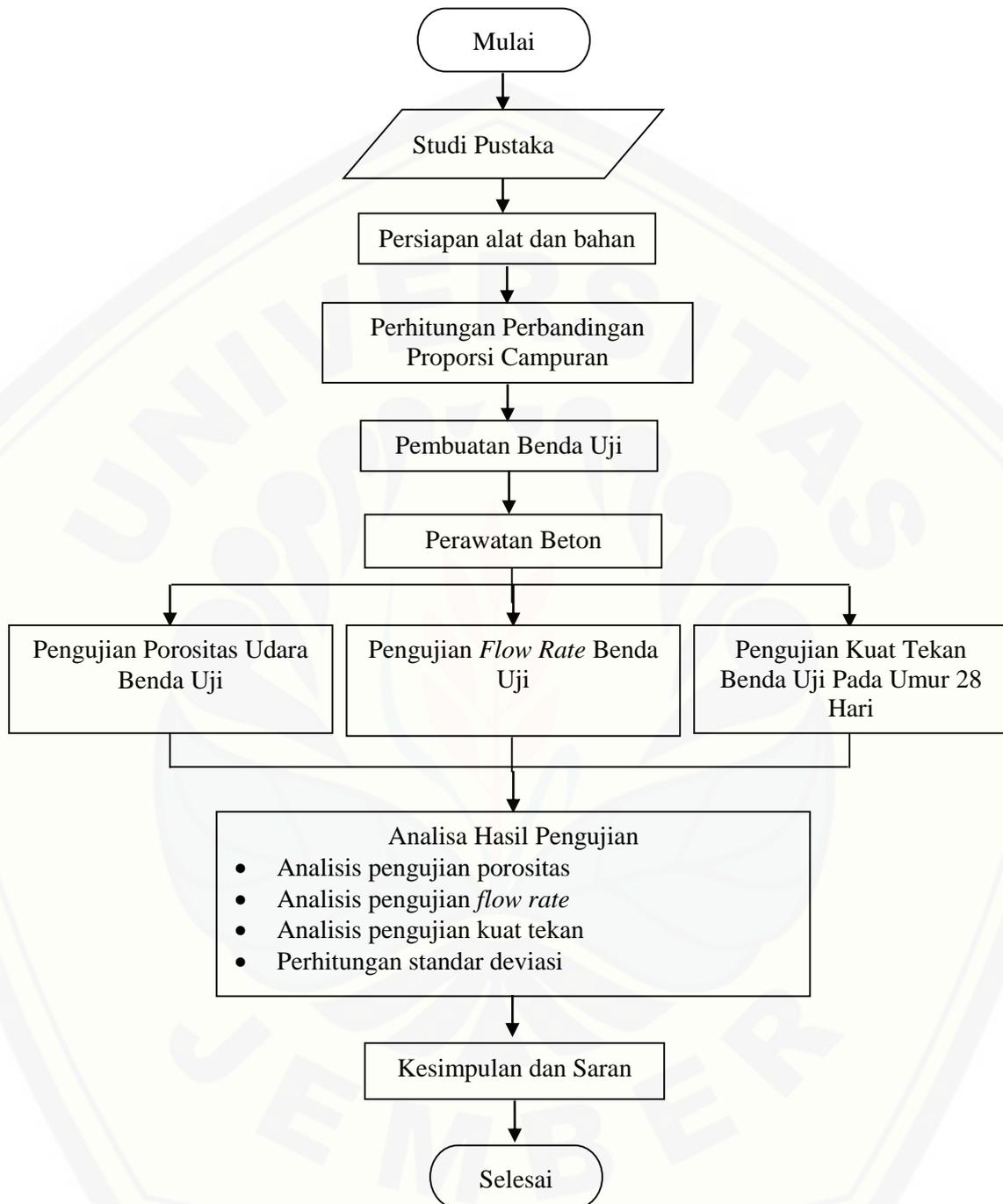
Dalam tahap penyelesaian yaitu tahap analitis dan pembahasan terhadap hasil-hasil pengujian di laboratorium. Adapun hasil yang dibahas sebagai berikut :

- a. Analisa terhadap perencanaan pencampuran beton.
- b. Analisis dan pembahasan hasil pengujian berat volume, porositas, *flow rate* dan kuat tekan beton.
- c. Perhitungan standar deviasi.

3.8 Kesimpulan

Kesimpulan diambil dari hasil analisis dan pembahasan terhadap data-data yang diperoleh di laboratorium, sehingga mengetahui bagaimana pengaruh variasi ukuran agregat kasar terhadap kuat tekan beton berpori.

3.9 Bagan Alur Metodologi



BAB 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data-data didapat dari hasil pengujian, pengolahan data-data tersebut dilakukan untuk menganalisa hasil pengujian yang telah dilakukan dan membuat kesimpulan yang dapat diambil.

4.1 Hasil Pengujian Material

Sebelum melakukan penelitian ini langkah pertama yaitu menyiapkan material-material yang akan diuji kemudian data-data dari hasil pengujian tersebut yang nantinya akan diperlukan untuk membuat rancangan campuran beton berpori. Data – data tersebut antara lain :

Tabel 4.1 Hasil Uji Material

Uji Material	Kerikil	Semen
Berat Jenis (g/cm^3)	2,54	
Kelembaban (%)	0,33	
Air Resapan (%)	1,5	
Kadar lumpur (%)	0,72	
Berat Volume Tak Dirojok (kg/m^2)	1438,19	1163,42
Berat Volume Dirojok (kg/m^2)	1599,03	1240,09

Dari tabel di atas pengujian agregat kasar meliputi pengujian berat volume, kelembaban, berat volume, air resapan dan kadar lumpur. Dari hasil pengujian agregat kasar dapat diketahui bahwa berat jenis kerikil rata-rata adalah $2,54 \text{ kg/dm}^3$ atau tidak boleh kurang dari $1,2 \text{ kg/dm}^3$ (SNI PB – 0203 – 76).

Kelembaban agregat dipengaruhi oleh kondisi agregat, besar pori, daya hisap, gradasi dan jenis agregat (SNI PB – 0210 – 76). Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan kelembaban kerikil sebesar 0,33 %. Bahaya akibat kurangnya pemadatan lebih banyak terjadi dibandingkan dengan kelebihan pemadatan. Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan berat volume kerikil rata-rata dengan rojokan sebesar $1,599 \text{ gr/cm}^3$ dan tanpa rojokan sebesar $1,438 \text{ gr/cm}^3$.

Besarnya penyerapan air tergantung dari pori-pori yang ada dalam butir agregat itu (SNI PB – 0203 – 76). Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan sebesar 1,5 %.

Kadar Lumpur percobaan diatas adalah 0,72% dan memenuhi nilai standard yang ada. Berdasarkan teknologi beton konisius bahwa kadar lumpur tidak boleh lebih dari 1%. Apabila kadar lumpur pada kerikil melebihi dari 1 % maka kekerasan beton akan menurun. Dari data pengamatan tersebut kadar lumpur yang dihasilkan adalah 0,72 % sehingga kerikil yang digunakan dalam praktikum tersebut sudah memenuhi syarat karena kadar lumpurnya kurang dari 1 %. Maka dapat disimpulkan kerikil ini termasuk kerikil yang baik. Dengan demikian dari hasil percobaan diatas ternyata kadar lumpur rata-rata sesuai dengan syarat yang ada sehingga kerikil itu baik untuk beton.

4.2 Proporsi Campuran

Tabel 4.2 Proporsi Campuran

Campuran	Semen	Ukuran Agregat Kasar			Perbandingan Agregat (%)	Air (L/m ³)	SP (ml/m ³)
		2 – 3cm (kg/m ³)	1 – 2cm (kg/ m ³)	0,5 – 1cm (kg/ m ³)			
A	200	480	480	240	40 : 40 : 20	70	639
B	200	360	600	240	30 : 50 : 20	70	639
C	200	360	480	360	30 : 40 : 30	70	639
D	200	360	360	480	30 : 30 : 40	70	639
E	200	240	720	240	20 : 60 : 20	70	639
F	200	240	600	360	20 : 50 : 30	70	639
G	200	240	480	480	20 : 40 : 40	70	639

Karena agregat yang dipakai dalam kondisi basah atau tidak kering permukaan (JPK/SSD), maka jumlah bahan harus dikoreksi terhadap kadar air sesungguhnya. Koreksi agregat terhadap kandungan air :

$$\begin{aligned} \text{Koreksi air} &= [(0,33 - 1,5) \times 1200]/100 \\ &= 14,04 \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Kebutuhan Air Setelah Dikoreksi

Campuran	Semen	Ukuran Agregat Kasar			Perbandingan Agregat (%)	Air (L/m ³)	SP (ml/m ³)
		2 – 3cm (kg/m ³)	1 – 2cm (kg/ m ³)	0,5 – 1cm (kg/ m ³)			
A	200	480	480	240	40 : 40 : 20	55,96	639
B	200	360	600	240	30 : 50 : 20	55,96	639
C	200	360	480	360	30 : 40 : 30	55,96	639
D	200	360	360	480	30 : 30 : 40	55,96	639
E	200	240	720	240	20 : 60 : 20	55,96	639
F	200	240	600	360	20 : 50 : 30	55,96	639
G	200	240	480	480	20 : 40 : 40	55,96	639

4.3 Hasil Pengujian Beton

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Benda Uji

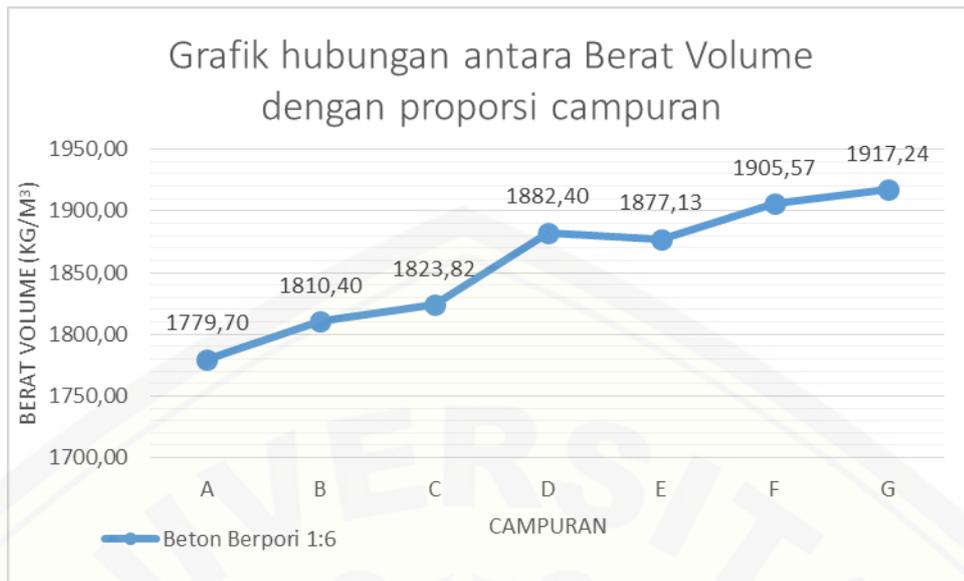
Campuran	Berat Beton		Porositas (%)	Flow Rate (L/m ² /mnt)	Kuat Tekan (Mpa)
	(Kg)	(Kg/m ³)			
A	6006,5	1779,70	30,03	466,99	4,96
B	6110,1	1810,40	28,95	430,37	5,47
C	6155,4	1823,82	26,19	420,19	7,18
D	6353,1	1882,40	24,27	336,59	8,67
E	6335,3	1877,13	26,58	371,04	7,43
F	6431,3	1905,57	24,73	290,93	11,12
G	6470,7	1917,24	23,48	258,64	11,62

4.3.1 Berat Volume



Gambar 4.1 Pengujian Berat Volume

Berdasarkan tabel 4.5 dapat diketahui bahwa berat volume untuk campuran A lebih kecil dibandingkan campuran lainnya. Hal tersebut dikarenakan proporsi ukuran agregat yang dipakai adalah 40% ukuran 2 - 4 cm, 40% ukuran 1 – 2 cm dan 20% ukuran 0,5 – 1 cm sehingga kerapatan beton lebih kecil dibandingkan campuran yang lain.



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Berat Volume Dengan Proporsi Campuran

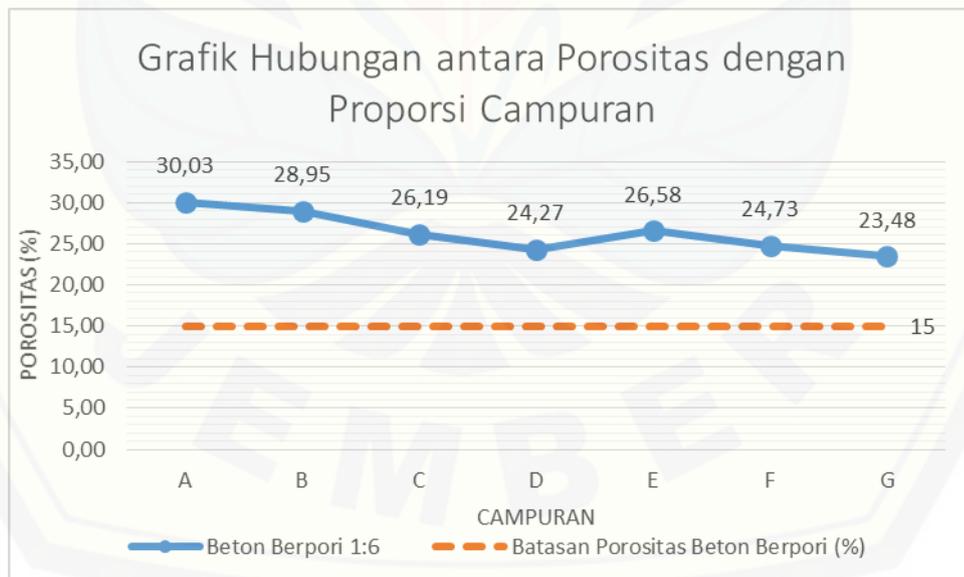
Dari hasil penimbangan berat beton untuk setiap perlakuan perubahan komposisi ukuran agregat dihitung berat rata – ratanya dan diperoleh berat volume yang berbeda. Benda uji mengalami peningkatan berat dan beberapa lainnya mengalami penurunan, yaitu campuran E. Hal ini menunjukkan bahwa berat volume beton sangat tergantung pada ukuran dan komposisi agregat pembentuknya. Berat benda uji menurut nilai banding komposisi agregat kasar tidak sama, hal ini disebabkan karena gradasi beton berpori yang berbeda. Dari campuran A sampai campuran G diperoleh berat volume yang semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin besar proporsi agregat kecil yang digunakan akan meningkatkan nilai beratnya pada beton berpori.

4.3.2 Porositas



Gambar 4.3 Pengujian Porositas

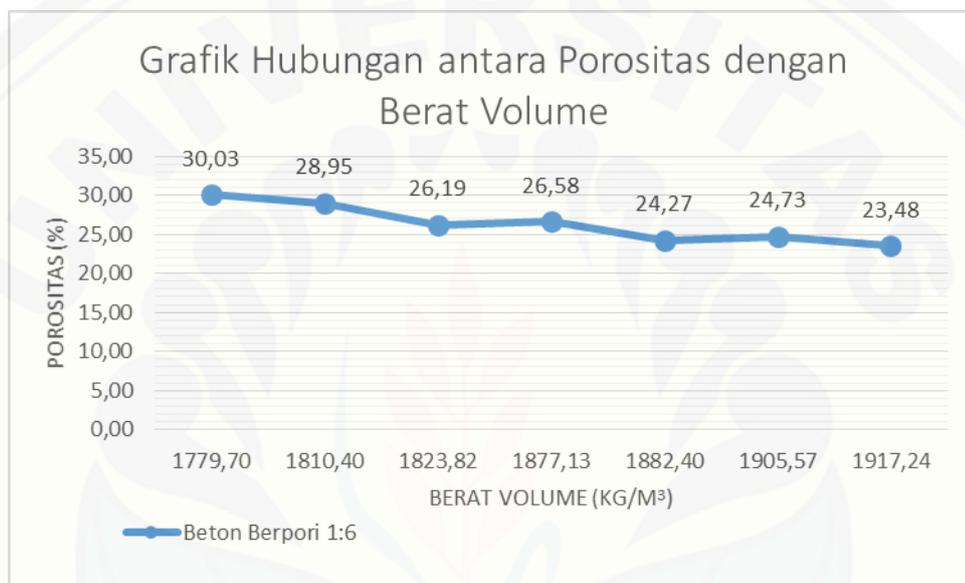
Porositas dihitung untuk menentukan ukuran dari proporsi total yang ditempati oleh pori – pori atau rongga udara, dan biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase. Berdasarkan tabel 4.5 dapat diketahui bahwa nilai porositas untuk campuran A lebih besar dibandingkan campuran lainnya. Hal tersebut dikarenakan proporsi ukuran agregat yang dipakai adalah 40% ukuran 2 - 4 cm, 40% ukuran 1 – 2 cm dan 20% ukuran 0,5 – 1 cm sehingga porositas yang dihasilkan lebih besar dibandingkan campuran yang lain.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Porositas dengan Proporsi Campuran

Dari grafik diatas, semua komposisi campuran menghasilkan porositas yang disyaratkan untuk beton berpori yaitu minimal sebesar 15% dari volume total.

Hasil porositas maksimal dicapai pada campuran A (40% : 40% : 20%) dengan volume pori rata-rata yaitu 30,02 %, sedangkan porositas terendah pada campuran F (20% : 50% : 30%) yaitu sebesar 23,48 %. Dari campuran A sampai G diperoleh nilai porositas yang bervariasi. Beberapa campuran memiliki porositas yang berbeda ketika ukuran agregat 2 – 4 cm berubah, yaitu dari campuran D (30% : 30% : 40%) ke campuran E (20% : 60% : 20%). Hal ini dikarenakan kerapatan campuran E lebih kecil dibandingkan campuran D sehingga perubahan grafik terjadi pada campuran D ke campuran E.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Porositas dengan Berat Volume

Porositas berbanding terbalik dengan besarnya berat volume. Dari grafik diatas didapatkan porositas tertinggi pada campuran A (40% : 40% : 20%) sebesar 30,03 % dengan berat volume 1779,7 kg/m³. Sedangkan porositas terendah pada campuran G (20% : 40% : 40%) sebesar 23,48 % dengan berat volume 1917,24 kg/m³. Dari campuran A sampai campuran G diperoleh porositas yang semakin rendah, namun pada campuran E mengalami peningkatan kemudian menurun kembali. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar berat volume beton, maka semakin kecil persentase porositas pada beton berpori. Hal tersebut dikarenakan bahwa semakin rapat gradasi sebuah beton, maka semakin besar pula berat volume beton berpori. Pada campuran A (40% : 40% : 20%), pemakaian ukuran agregat

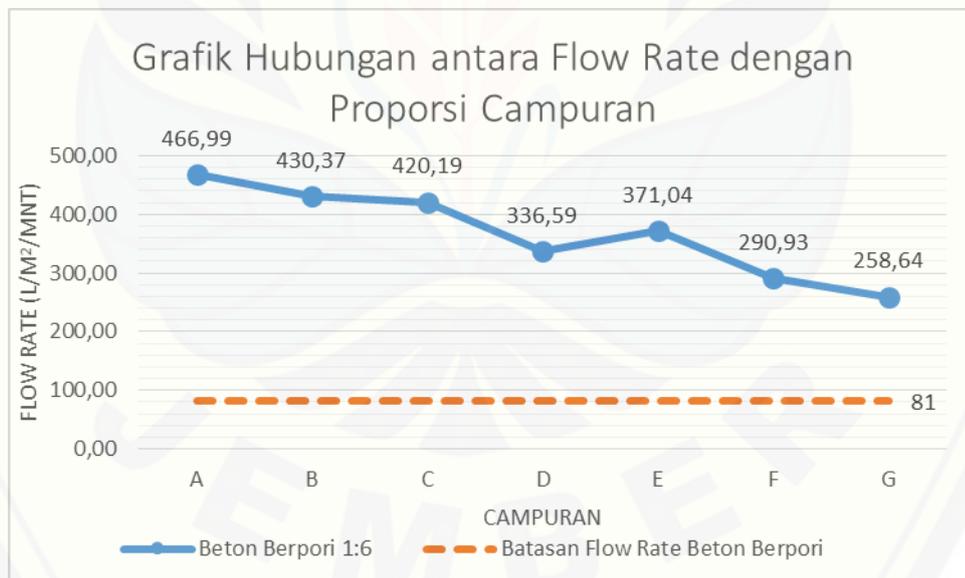
besar terlalu banyak, sehingga rongga di dalam beton menjadi sangat banyak sehingga berat volume beton menjadi kecil.

4.3.4 Flow Rate



Gambar 4.6 Pengujian *Flow Rate*

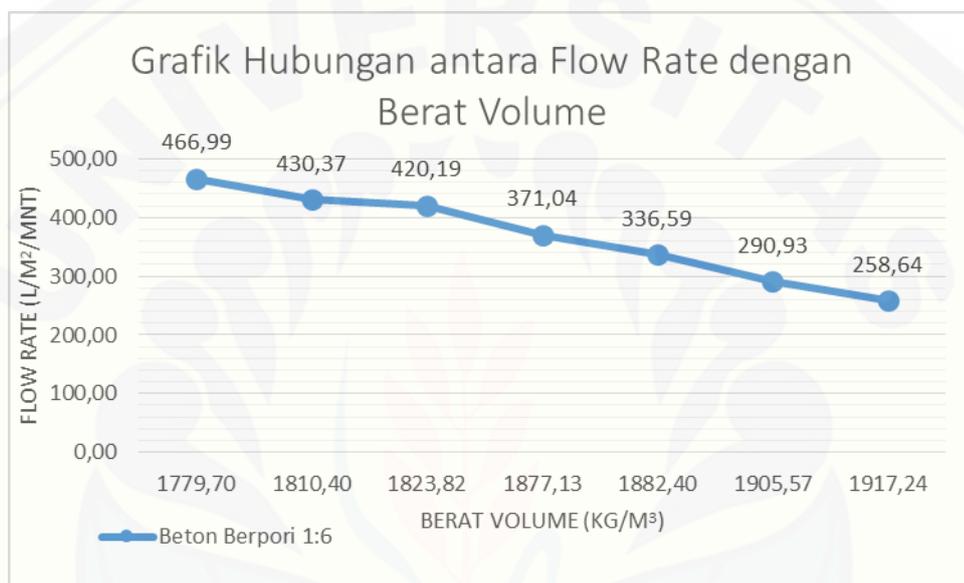
Pengujian *flow rate* pada penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah proporsi campuran masuk kriteria beton berpori dan dapat dapat mengalirkan air dengan baik.



Gambar 4.7 Grafik Hubungan *Flow Rate* dengan Proporsi Campuran

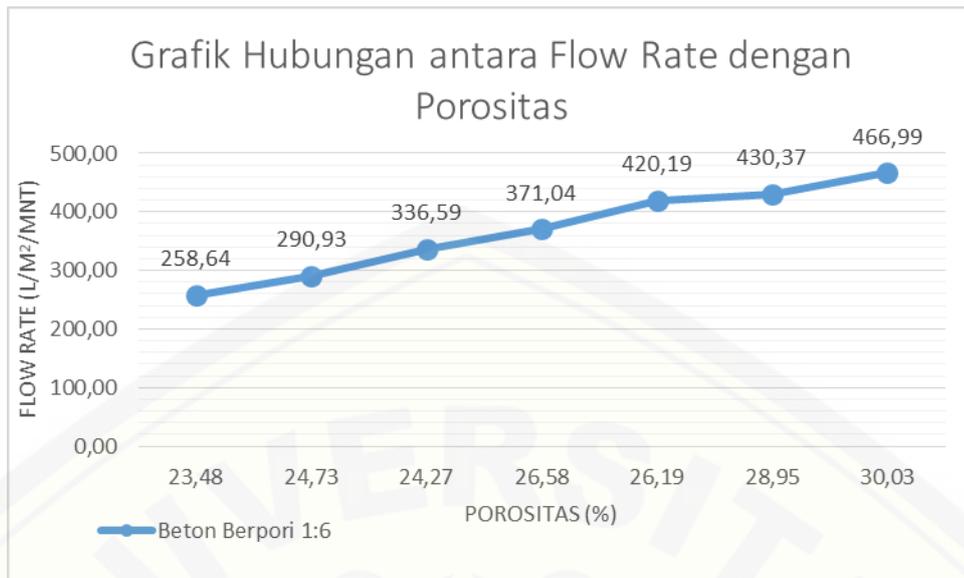
Dari grafik diatas, semua komposisi campuran menghasilkan nilai *flow rate* yang disyaratkan untuk beton berpori yaitu minimal sebesar 81 L/m²/mnt. *flow rate* optimal dicapai oleh campuran A (40% : 40% : 20%) yaitu 466,99

L/m²/menit, sedangkan *flow rate* rata-rata terendah pada campuran G (20% : 40% : 40%) yaitu sebesar 258,64 L/m²/menit. Dari campuran A sampai campuran D diperoleh *flow rate* yang semakin kecil, namun pada campuran E (20% : 60% : 20%) nilai *flow rate* naik sebesar 371,04 L/m²/menit dan grafik kembali menurun sampai nilai *flow rate* terendah pada campuran G. Dari campuran A sampai G diperoleh nilai *flow rate* semakin kecil. Hal ini dikarenakan semakin besar proporsi agregat kecil yang digunakan akan menurunkan nilai *flow rate* pada beton berpori.



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Berat Volume dengan *Flow Rate*

Flow rate berbanding terbalik dengan besarnya berat volume. Dari grafik diatas didapatkan *flow rate* tertinggi pada campuran A (40% : 40% : 20%) sebesar 466,99 L/m²/menit dengan berat volume 1779,70 kg/m³. Sedangkan *flow rate* terendah pada campuran G (20% : 40% : 40%) sebesar 258,64 L/m²/menit dengan berat volume 1917,24 kg/m³. Dari campuran A sampai campuran G diperoleh *flow rate* yang semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar berat volume beton berpori, maka semakin kecil *flow rate* pada beton.



Gambar 4.9 Grafik Hubungan *Flow Rate* dengan Porositas

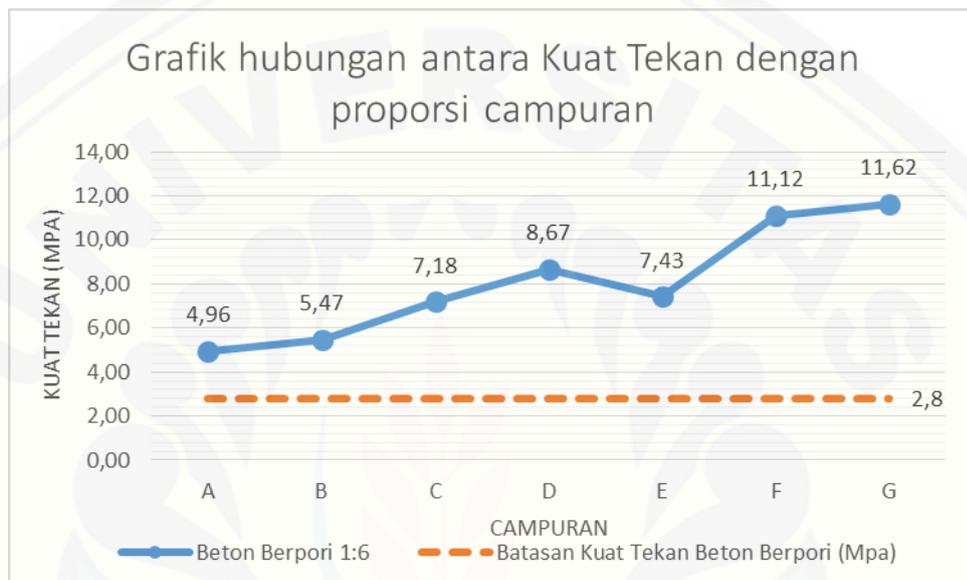
Flow rate berbanding lurus dengan besarnya porositas. Dari grafik diatas didapatkan *flow rate* tertinggi pada campuran A (40% : 40% : 20%) sebesar 466,99 L/m²/menit dengan porositas 30,03 %. Sedangkan *flow rate* terendah pada campuran G (20% : 40% : 40%) sebesar 258,64 L/m²/menit dengan porositas 23,48 %. Dari perlakuan campuran A sampai campuran G diperoleh *flow rate* yang semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil nilai *flow rate*, maka semakin kecil pula porositas pada beton berpori. Porositas sebuah beton berpori sangat berpengaruh terhadap *flow rate*. Artinya, bila porositas besar, maka *flow ratenya* jg besar. Demikian sebaliknya apabila porositas kecil, maka *flow rate* juga kecil.

4.3.5 Kuat Tekan



Gambar 4.10 Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menahan gaya tekan persatuan luas. Berdasarkan tabel 4.5 dapat diketahui bahwa kuat tekan untuk campuran G lebih besar dibandingkan campuran lainnya. Hal tersebut dikarenakan proporsi ukuran agregat kecil yang dipakai lebih banyak sehingga kerapatan beton lebih besar dibandingkan campuran yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa semakin rapat sebuah gradasi beton berpori, semakin tinggi nilai kuat tekannya.



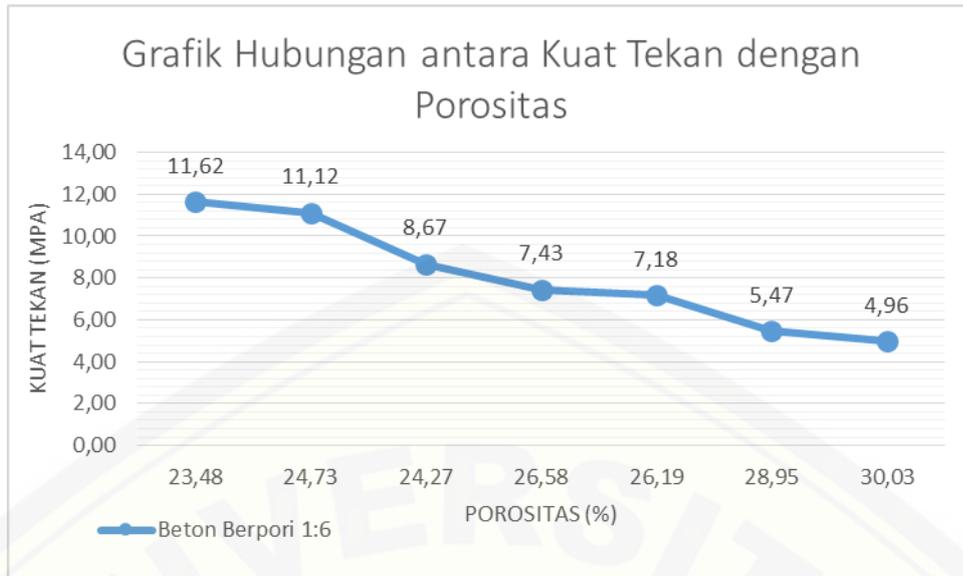
Gambar 4.11 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Proporsi Campuran

Dari grafik diatas, semua komposisi campuran menghasilkan kuat tekan yang disyaratkan untuk beton berpori yaitu minimal sebesar 2,8 MPa. Kuat tekan hancur rata-rata tertinggi dicapai oleh campuran G (20% : 40% : 40%) yaitu 11,62 MPa, sedangkan kuat tekan hancur rata-rata terendah pada campuran A (40% : 40% : 20%) yaitu sebesar 4,96 MPa. Dari campuran A sampai campuran G diperoleh kuat tekan hancur yang semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa hasil rata-rata kuat tekan hancur sangat dipengaruhi oleh perbandingan komposisi ukuran agregat. Jika penggunaan ukuran agregat kecil semakin banyak dalam sebuah beton berpori, maka gradasi yang dihasilkan semakin rapat sehingga diperoleh kuat tekan beton yang tinggi dan begitu pula sebaliknya.



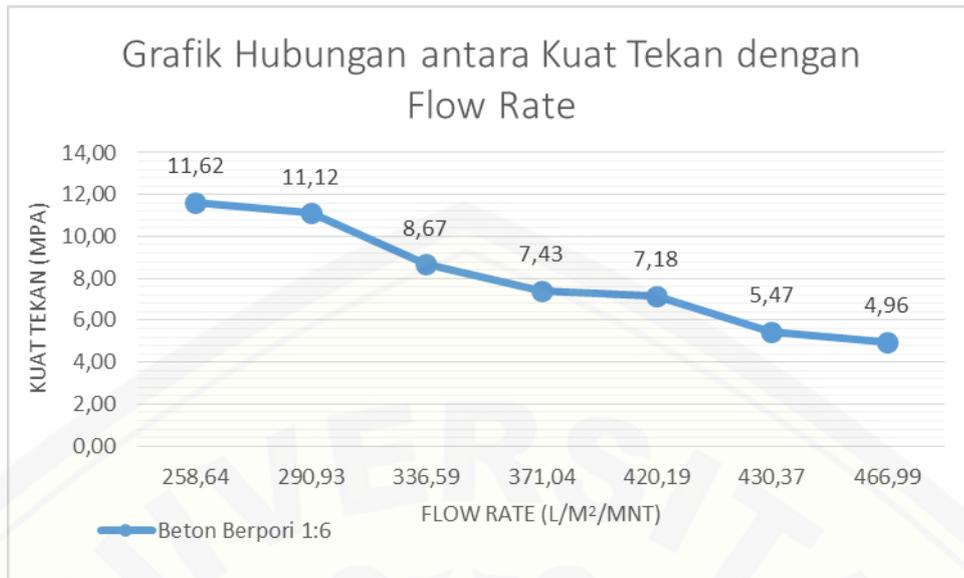
Gambar 4.12 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Berat Volume

Kuat tekan hancur rata-rata berbanding lurus dengan besarnya berat volume. Dari grafik diatas didapatkan kuat tekan hancur rata-rata (f_{cr}) tertinggi pada campuran G (20% : 40% : 40%) sebesar 11,62 Mpa dengan berat volume 1917,24 kg/m³. Sedangkan kuat tekan hancur rata-rata (f_{cr}) terendah pada campuran A (40% : 40% : 20%) sebesar 4,96 MPa dengan berat volume 1779,70 kg/m³. Dari perlakuan campuran A sampai G diperoleh kuat tekan hancur yang semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar berat volume beton, maka semakin besar pula kuat tekan hancur pada beton. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak penggunaan agregat kecil, maka semakin besar pula berat volume beton berpori dan semakin tinggi pula kuat tekan.



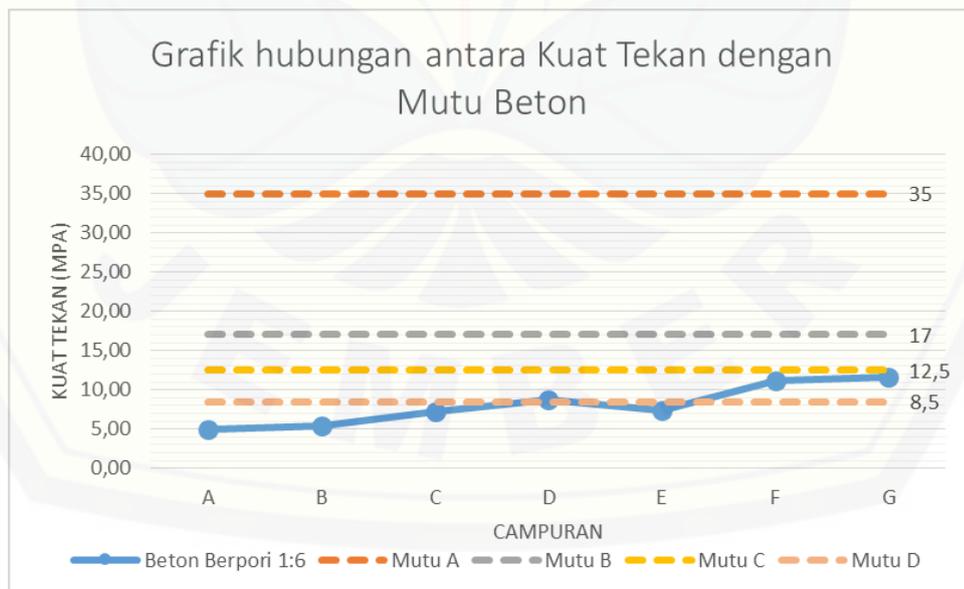
Gambar 4.13 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Porositas

Dari grafik diatas, kuat tekan hancur rata-rata berbanding terbalik dengan besarnya porositas. Dari grafik diatas didapatkan kuat tekan tertinggi 11,62 Mpa dengan porositas 23,48%. Sedangkan kuat tekan terendah 4,96 Mpa dengan porositas 30,03%. Dari perlakuan campuran A sampai campuran G diperoleh kuat tekan yang semakin besar namun persentase porositas semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kuat tekan beton berpori, maka semakin kecil nilai porositas pada beton berpori. Rasio komposisi gradasi agregat beton berpori sangat berpengaruh terhadap kuat tekan, tetapi berat volume dan porositas juga berpengaruh terhadap kuat tekan. Artinya, bila berat volume kecil dan porositas besar, maka kuat tekannya rendah. Demikian sebaliknya apabila berat volume besar, porositas kecil, maka kuat tekannya besar.



Gambar 4.14 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan *Flow Rate*

Dari grafik diatas, kuat tekan hancur rata-rata berbanding terbalik dengan besarnya *flow rate*. Dari grafik diatas didapatkan kuat tekan tertinggi 11,62 Mpa dengan *flow rate* 258,64 L/m²/menit. Sedangkan kuat tekan terendah 4,96 Mpa dengan *flow rate* 466,99 L/m²/menit. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kuat tekan beton berpori, maka semakin kecil nilai *flow rate* pada beton berpori dan begitu pula sebaliknya.



Gambar 4.15 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan mutu beton

Dari grafik diatas, campuran A, B, C dan E menghasilkan kuat tekan yang tidak masuk kedalam syarat mutu bata beton mutu D. Pada campuran D, kuat tekan yang dihasilkan mencapai batas minimal sebagai mutu beton D yaitu sebesar 8,67 Mpa dengan batas minimal 8,5 Mpa. Nilai tersebut berdekatan sehingga tidak dianjurkan untuk diterapkan di lapangan. Sedangkan pada campuran F dan G memenuhi syarat sebagai beton mutu D yaitu dengan kuat tekan sebesar 11,12 Mpa dan 11, 62 Mpa. Menurut SNI 03-0691-2002 tentang bata beton, bata beton dengan mutu D dapat diaplikasikan sebagai taman dan penggunaan lain.

Dari ketiga jenis pengujian, grafik berat volume meningkat seiring dengan besarnya persentase penggunaan agregat 0,5 – 1 cm. Grafik peningkatan persentase porositas juga berbanding lurus dengan meningkatnya nilai *flow rate*. Grafik kuat tekan menurun seiring dengan besarnya nilai porositas dan *flow rate*. Selisih yang sangat besar pada kuat tekan hancur antara campuran E dengan campuran F dapat terjadi disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah penggunaan kadar agregat kasar ukuran 1 – 2 cm, kualitas pengerjaan, kondisi lingkungan (suhu), faktor perendaman dan alat yang digunakan untuk pengadukan campuran beton. Adapun kasus di lapangan, bahwa pasta sudah terlalu encer, sehingga pasta dan agregat sulit untuk dicampur ketika akan dimasukkan ke dalam cetakan atau bekisting.

4.5. Deviasi Standar

Dalam perencanaan campuran beton dengan metode SNI 03-2834-2000, deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pelaksanaan pencampuran beton di lapangan. Makin baik mutu pelaksanaannya makin kecil nilai deviasi standarnya. Penetapan nilai deviasi standar ini berdasarkan atas hasil perancangan pembuatan beton mutu yang sama dan menggunakan bahan dasar yang sama pula. Berdasarkan perhitungan, didapatkan nilai standar deviasi sebagai berikut :

Tabel 4.5 Nilai Deviasi Standar Campuran

No	Campuran	Kuat Tekan Rata – rata (Kg/cm ²)	Deviasi Standar (Kg/cm ²)	Deviasi Standar (MPa)
1	A	50,55	4,01	0,3932
2	B	55,82	3,931	0,3854
3	C	73,25	5,203	0,5101

4	D	88,48	3,583	0,3512
5	E	75,8	5,526	0,5417
6	F	113,46	6,817	0,6683
7	G	118,54	5,065	0,4965

Tabel 4.6 Faktor Pengali Nilai Deviasi Standar

Jumlah data	≥ 30	25	20	15	10
Faktor pengali	1,00	1,03	1,08	1,16	1,27

Tabel 4.7 Nilai Deviasi Standar Setelah Dikalikan

No	Campuran	Kuat Tekan Rata – rata (Kg/cm ²)	Deviasi Standar (Kg/cm ²)	Deviasi Standar (MPa)
1	A	50,55	5,093090596	0,499322607
2	B	55,82	4,992523268	0,489463066
3	C	73,25	6,607598479	0,647803772
4	D	88,48	4,549943968	0,446072938
5	E	75,8	7,017543001	0,687994412
6	F	113,46	8,657390093	0,848763735
7	G	118,54	6,432220741	0,630609877

Tabel 4.8 Nilai Deviasi Standar untuk Tingkat Pengendalian Mutu

Tingkat Pengendalian Mutu	s (Mpa)
Sangat Memuaskan	2,8
Memuaskan	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,0
Jelek	7,0
Tanpa Kendali	8,4

Tabel 4.9 Hasil Nilai Deviasi Standar untuk Semua Campuran

No	Campuran	Deviasi Standar (MPa)	Tingkat Pengendalian Mutu
1	A	0,499322607	Sangat Memuaskan
2	B	0,489463066	Sangat Memuaskan
3	C	0,647803772	Sangat Memuaskan
4	D	0,446072938	Sangat Memuaskan
5	E	0,687994412	Sangat Memuaskan
6	F	0,848763735	Sangat Memuaskan
7	G	0,630609877	Sangat Memuaskan

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari analisis hasil pengujian benda uji, semua campuran memenuhi kriteria sebagai beton berpori namun campuran optimal diperoleh pada campuran G.
2. Ditinjau dari nilai porositas, *flow rate*, dan kuat tekan, perlakuan dari campuran A sampai campuran G dengan perbandingan semen/agregat 1:6, dosis *superplasticizer* 0,2 per 100 kg semen, yang memiliki porositas tertinggi adalah campuran A dengan nilai porositas maksimal sebesar 30,03%. Untuk campuran yang memiliki *flow rate* maksimal adalah campuran A dengan nilai *flow rate* sebesar 466,99 L/m²/menit. Sedangkan kuat tekan tertinggi dicapai oleh campuran G dan didapatkan hasil kuat tekan maksimal sebesar 11,62 Mpa.
3. Ditinjau dari kuat tekan, hasil tertinggi diperoleh pada campuran G sebesar 11,62 Mpa. Berdasarkan standar mutu bata beton, nilai tersebut memenuhi batas minimal bata beton mutu D sebesar 8,5 Mpa untuk diaplikasikan sebagai taman.

5.2 Saran

1. Untuk meningkatkan kuat tekan yang lebih tinggi sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan dengan penggunaan agregat kecil dalam campuran beton berpori dengan jumlah persentase yang lebih besar dan menurunkan nilai faktor air semen, dikarenakan masih mencukupi dengan menurunkan nilai porositas dan *flow rate* untuk meningkatkan kuat tekan.
2. Agar kuat tekan mencapai mutu beton A dengan porositas dan *flow rate* yang ditentukan ACI 522R, dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan faktor air semen lebih rendah dengan dosis *superplasticizer* lebih tinggi.

3. Faktor – faktor dalam pembuatan sample juga sangat mempengaruhi porositas dan kuat tekan beton berpori. Oleh karna itu prosedur pembuatan juga sangat harus diperhatikan apabila akan dilakukan penelitian lebih lanjut maupun akan diterapkan di lapangan.



DAFTAR PUSTAKA

- ACI 522R-10. (2010). *Report On Berpori Concrete*. USA: American Concrete Institute Committee 522.
- Daryanto Ari Prabowo (2013). *Desain Beton Berpori Untuk Perkerasan Jalan yang Ramah Lingkungan*. Studi Penelitian Teknik Sipil. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Frandy Ferdian (2012). *Komposisi Beton Berpori Dengan Variasi Jenis dan Persentase Bahan Admixture Terkait Nilai Kuat Tekan Pada Aplikasi Sidewalk*. Studi Penelitian Teknik Sipil. Jakarta: Binus University.
- Prima Ramadhani (2008). *Pengujian Berpori Concrete Dengan Berbagai Proporsi Campuran Yang Menggunakan Bahan Superplasticizer*. Skripsi Sarjana S1 Teknik Sipil. Jember: Universitas Jember.
- SK SNI 03-0691-1996. (1996). *Bata Beton (Paving Block)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SK SNI 03-1968-1990. (1990). *Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SK SNI 03-2847-2002. (2002). *Tata cara penghitungan beton tidak bertulang struktural*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Wawan Trianto (2013). *Slag Limbah Industri Besi dan Tembaga Sebagai Substansi Pengganti Agregat Kasar dan Halus pada Pervious Concrete*. Surabaya: Institut Sepuluh November





LAMPIRAN A

HASIL PENGUJIAN MATERIAL CAMPURAN BETON

Percobaan Nomor	Dengan Rojokan		Tanpa Rojokan	
	1	2	1	2
Berat Silinder (W1)	6,92	6,92	6,92	6,92
Berat Silinder (W1) + Semen (W2)	10,41	10,47	10,16	10,07
Berat Semen (W2-W1)	3,864	3,77	3,554	3,608
Volume Silinder (V)	0,003078	0,003078	0,003078	0,003078
Berat Volume (Bv=W2-W1/V)	1255,361	1224,821	1154,646	1172,19
Berat Volume Rata-Rata	1240,090968		1163,417804	

BERAT JENIS KERIKIL

		I	II	III	Rata-rata
Berat Kerikil SSD	gram	3000	3000	3000	3000
Berat kerikil dalam air	gram	1830	1830	1800	1820
Berat jenis =		2,542			

KELEMBABAN KERIKIL

		I	II	III	Rata-rata
Berat kerikil awal	gram	500	500	500	500.00
Berat kerikil kering oven	gram	499,5	496,5	499	498,3333333
% kelembaban =		0,334			

AIR RESAPAN KERIKIL

		I	II	III	Rata-rata
Berat kerikil SSD	gram	500	500	500	500
Berat kerikil kering oven	gram	492,5	492,6	492,8	492,63
% air resapan =		1,495			

KEBERSIHAN KERIKIL

		I	II	III	Rata-rata
W kerikil kering oven	Gram	500	500	500	500
W kerikil bersih kering oven	Gram	495,8	498,5	494,9	496,4
% kadar lumpur =		0,72			

BERAT VOLUME KERIKIL (TAK DIROJOK)

		I	II	III	Rata-rata
Berat silinder	Kg	10,2	10,34		10,27
Berat silinder + pasir	Kg	30,97	31,06		31,02
Volume silinder	m ³	0,014424375	0,014424375	0,014424375	0,014424375
BV kerikil =	1438 kg/m ³				

BERAT VOLUME KERIKIL (DIROJOK)

		I	II	III	Rata-rata
Berat silinder	Kg	10,15	10,31		10,23
Berat silinder + pasir	Kg	33,22	33,37		33,30
Volume silinder	m ³	0,014424375	0,014424375	0,014424375	0,014424375
BV kerikil	1599 kg/m ³				

LAMPIRAN B

RENCANA CAMPURAN BETON BERPORI

Tabel Rencana Proporsi Campuran

Campuran	Semen	Ukuran Agregat Kasar			Perbandingan Agregat (%)	Air (L/m ³)	SP (ml/m ³)
		2 – 3cm (kg/m ³)	1 – 2cm (kg/ m ³)	0,5 – 1cm (kg/ m ³)			
A	200	480	480	240	40 : 40 : 20	70	639
B	200	360	600	240	30 : 50 : 20	70	639
C	200	360	480	360	30 : 40 : 30	70	639
D	200	360	360	480	30 : 30 : 40	70	639
E	200	240	720	240	20 : 60 : 20	70	639
F	200	240	600	360	20 : 50 : 30	70	639
G	200	240	480	480	20 : 40 : 40	70	639

Tabel Koreksi Air Masing-masing Campuran

Campuran	Semen (Kg/m ³)	Agregat (Kg/m ³)	SP (ml/m ³)	Air (L/m ³)	Koreksi Air	Air Aktual
A	200	1200	639	70	14,04	55,96
B	200	1200	639	70	14,04	55,96
C	200	1200	639	70	14,04	55,96
D	200	1200	639	70	14,04	55,96
E	200	1200	639	70	14,04	55,96
F	200	1200	639	70	14,04	55,96
G	200	1200	639	70	14,04	55,96

Tabel Proporsi Campuran setelah dikoreksi

Campuran	Semen	Ukuran Agregat Kasar			Perbandingan Agregat (%)	Air (L/m ³)	SP (ml/m ³)
		2 – 3cm (kg/m ³)	1 – 2cm (kg/ m ³)	0,5 – 1cm (kg/ m ³)			
A	200	480	480	240	40 : 40 : 20	55,96	639
B	200	360	600	240	30 : 50 : 20	55,96	639
C	200	360	480	360	30 : 40 : 30	55,96	639
D	200	360	360	480	30 : 30 : 40	55,96	639
E	200	240	720	240	20 : 60 : 20	55,96	639
F	200	240	600	360	20 : 50 : 30	55,96	639
G	200	240	480	480	20 : 40 : 40	55,96	639

Tabel Proporsi Campuran Untuk 10 Benda Uji

Campuran	Berat Beton (kg)	Semen (kg)	Agregat (kg)	SP (ml)	Air (liter)
A	66,111	9	54	21,25	3,09
B	66,111	9	54	21,25	3,09
C	66,111	9	54	21,25	3,09
D	66,111	9	54	21,25	3,09
E	66,111	9	54	21,25	3,09
F	66,111	9	54	21,25	3,09
G	66,111	9	54	21,25	3,09

PENGUJIAN BERAT BENDA UJI

Tabel Rencana Proporsi Campuran

Benda Uji	Campuran						
	A	B	C	D	E	F	G
1	6092	6170	6152	6360	6270	6563	6540
2	6146	6321	5983	6325	6320	6595	6412
3	5843	6180	6182	6410	6200	6415	6410
4	6063	6070	6121	6220	6410	6340	6600
5	5893	6113	6180	6360	6320	6228	6525
6	5944	6041	6242	6365	6455	6511	6435
7	5967	5980	6105	6320	6350	6345	6525
8	6001	6031	6203	6480	6238	6532	6425
9	6100	6100	6075	6271	6455	6474	6405
10	6016	6095	6311	6420	6335	6310	6430
RATA-RATA	6006,5	6110,1	6155,4	6353,1	6335,3	6431,3	6470,7

LAMPIRAN C

PERHITUNGAN POROSITAS BENDA UJI

Benda Uji	Campuran																				
	A			B			C			D			E			F			G		
	Data	pori	%	data	pori	%	Data	pori	%	data	pori	%	data	pori	%	data	Pori	%	data	pori	%
1	2368	1007	29,84	2400	975	28,89	2468	907	26,87	2545	830	24,59	2528	847	25,10	2578	797	23,61	2440	935	27,70
2	2452	923	27,35	2456	919	27,23	2485	890	26,37	2523	852	25,24	2465	910	26,96	2648	727	21,54	2590	785	23,26
3	2263	1112	32,95	2440	935	27,70	2481	894	26,49	2612	763	22,61	2495	880	26,07	2590	785	23,26	2612	763	22,61
4	2405	970	28,74	2353	1022	30,28	2455	920	27,26	2524	851	25,21	2450	925	27,41	2558	817	24,21	2715	660	19,56
5	2310	1065	31,56	2411	964	28,56	2500	875	25,93	2568	807	23,91	2448	927	27,47	2535	840	24,89	2572	803	23,79
6	2302	1073	31,79	2405	970	28,74	2494	881	26,10	2591	784	23,23	2543	832	24,65	2420	955	28,30	2575	800	23,70
7	2375	1000	29,63	2311	1064	31,53	2498	877	25,99	2535	840	24,89	2445	930	27,56	2540	835	24,74	2595	780	23,11
8	2345	1030	30,52	2361	1014	30,04	2500	875	25,93	2590	785	23,26	2370	1005	29,78	2625	750	22,22	2585	790	23,41
9	2375	1000	29,63	2379	996	29,51	2478	897	26,58	2513	862	25,54	2547	828	24,53	2515	860	25,48	2538	837	24,80
10	2420	955	28,30	2465	910	26,96	2551	824	24,41	2558	817	24,21	2488	887	26,28	2395	980	29,04	2605	770	22,81
Rata-rata			30,03	%		28,95	%		26,19	%		24,27	%		26,58	%		24,73	%		23,48

LAMPIRAN D

PERHITUNGAN *FLOW RATE* BENDA UJI

Benda Uji	Campuran													
	A		B		C		D		E		F		G	
	ml/10dt	L/mnt	ml/10dt	L/mnt	ml/10dt	L/mnt	ml/10dt	L/mnt	ml/10dt	L/mnt	ml/10dt	L/mnt	ml/10dt	L/mnt
1	1690	10,14	1838	11,028	1482	8,892	1400	8,4	1438	8,628	1185	7,11	1152	6,912
2	1671	10,026	1628	9,768	1690	10,14	1198	7,188	1456	8,736	1075	6,45	1013	6,078
3	1714	10,284	1192	7,152	1679	10,074	1252	7,512	1388	8,328	1120	6,72	1290	7,74
4	1676	10,056	1721	10,326	1702	10,212	1268	7,608	1430	8,58	1061	6,366	940	5,64
5	1832	10,992	1238	7,428	1542	9,252	1286	7,716	1430	8,58	1034	6,204	920	5,52
6	1719	10,314	1772	10,632	1756	10,536	1300	7,8	1090	6,54	1160	6,96	911	5,466
7	1818	10,908	1715	10,29	1152	6,912	1162	6,972	1440	8,64	1135	6,81	875	5,25
8	1835	11,01	1656	9,936	1684	10,104	1300	7,8	1388	8,328	1042	6,252	767	4,602
9	1817	10,902	1640	9,84	1340	8,04	1310	7,86	1454	8,724	1086	6,516	779	4,674
10	1740	10,44	1739	10,434	1730	10,38	1146	6,876	1400	8,4	1012	6,072	1052	6,312

Benda Uji	CAMPURAN						
	A	B	C	D	E	F	G
	L/m ² /mnt						
1	450,6666	490,1333	395,2	373,3333	383,4666	316	307,2
2	445,6	434,1333	450,6666	319,4666	388,2666	286,6666	270,1333
3	457,0666	317,8666	447,7333	333,8666	370,1333	298,6666	344
4	446,9333	458,9333	453,8666	338,1333	381,3333	282,9333	250,6666
5	488,5333	330,1333	411,2	342,9333	381,3333	275,7333	245,3333
6	458,4	472,5333	468,2666	346,6666	290,6666	309,3333	242,9333
7	484,8	457,3333	307,2	309,8666	384	302,6666	233,3333
8	489,3333	441,6	449,0666	346,6666	370,1333	277,8666	204,5333
9	484,5333	437,3333	357,3333	349,3333	387,7333	289,6	207,7333
10	464	463,7333	461,3333	305,6	373,3333	269,8666	280,5333
Rata-rata	466,9866	430,3733	420,1866	336,5866	371,04	290,9333	258,64

LAMPIRAN E

PERHITUNGAN KUAT TEKAN BENDA UJI

Benda Uji	Campuran																				
	A			B			C			D			E			F			G		
	kN	Kg/cm ²	Mpa	kN	Kg/cm ²	Mpa	kN	Kg/cm ²	Mpa	kN	Kg/cm ²	Mpa	kN	Kg/cm ²	Mpa	kN	Kg/cm ²	Mpa	kN	Kg/cm ²	Mpa
1	148,81	66,14	6,61	145,40	64,62	6,46	180,77	80,34	8,03	206,83	91,92	9,19	190,04	84,46	8,45	351,38	156,17	15,62	201,18	89,41	8,94
2	113,31	50,36	5,04	115,40	51,29	5,13	167,26	74,34	7,43	203,99	90,66	9,07	152,13	67,61	6,76	231,44	102,86	10,29	293,94	130,64	13,06
3	55,59	24,71	2,47	100,58	44,70	4,47	144,36	64,16	6,42	228,09	101,37	10,14	231,03	102,68	10,27	118,12	52,50	5,25	316,93	140,86	14,09
4	121,95	54,20	5,42	154,35	68,60	6,86	104,81	46,58	4,66	190,63	84,72	8,47	106,69	47,42	4,74	196,96	87,54	8,75	246,97	109,76	10,98
5	83,23	36,99	3,70	155,65	69,18	6,92	97,12	43,16	4,32	188,73	83,88	8,39	139,70	62,09	6,21	213,93	95,08	9,51	176,71	78,54	7,85
6	141,98	63,10	6,31	72,37	32,16	3,22	180,86	80,38	8,04	191,86	85,27	8,53	109,77	48,79	4,88	224,34	99,71	9,97	234,27	104,12	10,41
7	78,65	34,96	3,50	101,16	44,96	4,50	182,68	81,19	8,12	190,91	84,85	8,48	128,81	57,25	5,72	280,83	124,81	12,48	238,25	105,89	10,59
8	145,49	64,66	6,47	91,23	40,55	4,05	171,47	76,21	7,62	220,09	97,82	9,78	208,52	92,68	9,27	277,79	123,46	12,35	247,95	110,20	11,02
9	95,88	42,61	4,26	112,81	50,14	5,01	113,69	50,53	5,05	149,76	66,56	6,66	192,26	85,45	8,54	253,65	112,73	11,27	272,86	121,27	12,13
10	130,22	57,88	5,79	151,67	67,41	6,74	224,40	99,73	9,97	112,53	50,01	5,00	154,59	68,71	6,87	254,21	112,98	11,30	281,29	125,02	12,50
Rata-rata	111,51	49,56	4,96	120,06	53,36	5,34	156,74	69,66	6,97	188,34	83,71	8,37	161,35	71,71	7,17	240,27	106,78	10,68	251,04	111,57	11,16

Benda Uji	Campuran																				
	A			B			C			D			E			F			G		
	Mpa	Konversi	Mpa	Mpa	Konversi	Mpa	Mpa	Konversi	Mpa	Mpa	Konversi	Mpa	Mpa	Konversi	Mpa	Mpa	Konversi	Mpa	Mpa	Konversi	Mpa
1	6,61	1	6,6	6,46	0,975	6,6	8,03	0,97	8,3	9,19	0,965	9,53	8,45	0,965	8,75	15,62	0,96	16,3	8,94	0,96	9,31
2	5,04	1	5	5,13	0,975	5,3	7,43	0,97	7,7	9,07	0,965	9,4	6,76	0,965	7,01	10,29	0,96	10,7	13,06	0,96	13,6
3	2,47	1	2,5	4,47	0,975	4,6	6,42	0,97	6,6	10,14	0,965	10,5	10,27	0,965	10,6	5,25	0,96	5,47	14,09	0,96	14,7
4	5,42	1	5,4	6,86	0,975	7	4,66	0,97	4,8	8,47	0,965	8,78	4,74	0,965	4,91	8,75	0,96	9,12	10,98	0,96	11,4
5	3,70	1	3,7	6,92	0,975	7,1	4,32	0,97	4,4	8,39	0,965	8,69	6,21	0,965	6,43	9,51	0,96	9,9	7,85	0,96	8,18
6	6,31	1	6,3	3,22	0,975	3,3	8,04	0,97	8,3	8,53	0,965	8,84	4,88	0,965	5,06	9,97	0,96	10,4	10,41	0,96	10,8
7	3,50	1	3,5	4,50	0,975	4,6	8,12	0,97	8,4	8,48	0,965	8,79	5,72	0,965	5,93	12,48	0,96	13	10,59	0,96	11
8	6,47	1	6,5	4,05	0,975	4,2	7,62	0,97	7,9	9,78	0,965	10,1	9,27	0,965	9,6	12,35	0,96	12,9	11,02	0,96	11,5
9	4,26	1	4,3	5,01	0,975	5,1	5,05	0,97	5,2	6,66	0,965	6,9	8,54	0,965	8,85	11,27	0,96	11,7	12,13	0,96	12,6
10	5,79	1	5,8	6,74	0,975	6,9	9,97	0,97	10	5,00	0,965	5,18	6,87	0,965	7,12	11,30	0,96	11,8	12,50	0,96	13
Rata-rata	4,96		5	5,34		5,5	6,97		7,2	8,37		8,67	7,17		7,43	10,68		11,1	11,16		11,6

LAMPIRAN F

PERHITUNGAN STANDAR DEVIASI BENDA UJI

No	A			B			C			D			E			F			G		
	Fc	Fcr	Sd	Fc	Fcr	Sd	Fc	Fcr	Sd	Fc	Fcr	Sd	Fc	Fcr	Sd	Fc	Fcr	Sd	Fc	Fcr	Sd
1	6,61	4,96	7,16	6,63	5,47	4,99	8,28	7,18	4,75	9,53	8,67	3,68	8,75	7,43	5,70	16,27	11,12	22,21	9,31	11,62	9,97
2	5,04	4,96	0,35	5,26	5,47	0,92	7,66	7,18	2,08	9,40	8,67	3,11	7,01	7,43	1,83	10,71	11,12	1,76	13,61	11,62	8,58
3	2,47	4,96	10,73	4,58	5,47	3,83	6,61	7,18	2,45	10,51	8,67	7,90	10,64	7,43	13,86	5,47	11,12	24,42	14,67	11,62	13,17
4	5,42	4,96	2,00	7,04	5,47	6,75	4,80	7,18	10,27	8,78	8,67	0,46	4,91	7,43	10,87	9,12	11,12	8,66	11,43	11,62	0,81
5	3,70	4,96	5,43	7,10	5,47	7,00	4,45	7,18	11,80	8,69	8,67	0,08	6,43	7,43	4,31	9,90	11,12	5,26	8,18	11,62	14,86
6	6,31	4,96	5,85	3,30	5,47	9,39	8,29	7,18	4,77	8,84	8,67	0,70	5,06	7,43	10,26	10,39	11,12	3,18	10,85	11,62	3,35
7	3,50	4,96	6,31	4,61	5,47	3,72	8,37	7,18	5,13	8,79	8,67	0,51	5,93	7,43	6,47	13,00	11,12	8,11	11,03	11,62	2,56
8	6,47	4,96	6,52	4,16	5,47	5,68	7,86	7,18	2,91	10,14	8,67	6,31	9,60	7,43	9,38	12,86	11,12	7,50	11,48	11,62	0,62
9	4,26	4,96	3,00	5,14	5,47	1,43	5,21	7,18	8,52	6,90	8,67	7,67	8,85	7,43	6,15	11,74	11,12	2,68	12,63	11,62	4,36
10	5,79	4,96	3,59	6,91	5,47	6,22	10,28	7,18	13,39	5,18	8,67	15,08	7,12	7,43	1,35	11,77	11,12	2,79	13,02	11,62	6,05

No	A	B	C	D	E	F	G
1	7,1581	4,9873	4,7539	3,6767	5,7048	22,213	9,9664
2	0,3452	0,9176	2,0809	3,1119	1,8344	1,7642	8,577
3	10,732	3,8347	2,4497	7,9047	13,857	24,418	13,173
4	2,0034	6,749	10,275	0,455	10,871	8,657	0,8126
5	5,4274	7,0049	11,796	0,0772	4,3064	5,2646	14,858
6	5,8473	9,3873	4,7717	0,6996	10,259	3,1835	3,3514
7	6,3064	3,7205	5,1317	0,5107	6,4721	8,1092	2,5558
8	6,5209	5,6751	2,9139	6,3138	9,38	7,5015	0,6167
9	2,9998	1,4274	8,5177	7,6729	6,1463	2,6758	4,363
10	3,5905	6,2215	13,386	15,077	1,3452	2,7877	6,0482
RATA-RATA	5,0931	4,9925	6,6076	4,5499	7,0175	8,6574	6,4322

LAMPIRAN G
DOKUMENTASI PENELITIAN







JEMBER