

**PENGARUH METODE *TWO-STAGE MIXING APPROACH* (TSMA)
TERHADAP KUAT TEKAN BETON *POROUS* DENGAN VARIASI
KOMPOSISI AGREGAT KASAR DAUR ULANG (RCA)**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**KARTINI APRIANTI
NIM. 135060101111057**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH METODE *TWO-STAGE MIXING APPROACH* (TSMA) TERHADAP KUAT TEKAN BETON *POROUS* DENGAN VARIASI KOMPOSISI AGREGAT KASAR DAUR ULANG (RCA)

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



KARTINI APRIANTI

NIM. 135060101111057

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. Devi Nuralinah, ST., MT.
NIP. 19761208 200604 2 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng
(Prac.)

NIP. 19810220 200604 1 002

*Terima Kasih kepada:
Seluruh Keluarga Besar dan
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya*

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI

Pengaruh Metode *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA) terhadap Kuat Tekan Beton *Porous* dengan Variasi Komposisi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

Nama Mahasiswa : Kartini Aprianti
NIM : 135060101111057
Program Studi : Teknik Sipil
Minat : Struktur

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Eva Arifi, ST., MT.
Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Devi Nuralinah, ST., MT.
Dosen Penguji 3 : Dr.Eng. Ming Narto Wijaya, ST, MT, M.Sc

Tanggal Ujian : 13 Juni 2017
SK Penguji : 693/UN10.F07/SK/2017

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

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

Malang, 10 Juli 2017

Mahasiswa,

Kartini Aprianti

NIM.135060101111057

RIWAYAT HIDUP

Kartini Aprianti lahir di Banjarmasin 21 April 1995. Merupakan anak ke-3 dari 3 bersaudara, pasangan dari Bapak Husni dan Ibu Syamsiyah. Menamatkan pendidikan sekolah dasar di SDN Pengambangan 6 Banjarmasin pada tahun 2007. Setelah itu melanjutkan pendidikan di SMPN 7 Banjarmasin dari tahun 2007 s.d. 2010. Kemudian menjalani pendidikan di SMAN 1 Banjarmasin dari tahun 2010 s.d. 2013.

Setelah tamat sekolah, kemudian melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi Negeri Universitas Brawijaya Malang dari tahun 2013 dan lulus Program Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2017. Selama menjalani kehidupan kampus, ikut berpartisipasi dalam kegiatan organisasi Himpunan Mahasiswa Sipil pada tahun 2014 s.d. 2015 di Departemen Internal dan kepanitiaan acara jurusan teknik sipil.

Malang, Juli 2017

Penulis

KATA PENGANTAR

Segala Puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunianya sampai saat ini sehingga dimudahkan dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Shalawat beserta salam penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, para sahabat, dan kepada umatnya hingga akhir zaman.

Penulisan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi S1 di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Judul yang penulis ajukan adalah “Pengaruh Metode *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA) terhadap Kuat Tekan Beton *Porous* dengan Variasi Komposisi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA).

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Almarhum Bapak yang paling dirindukan, Ibu tercinta, kakak-kakak tersayang, serta seluruh keluarga yang telah mendukung secara langsung maupun tidak langsung.
2. Bapak Ir. Sugeng P. Budio, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac), selaku Ketua Program Studi Sarjana (S1) Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Ibu Dr. Eng Eva Arifi, ST., MT. dan Dr. Eng Devi Nuralinah, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dalam penelitian maupun penyusunan tugas akhir ini.
5. Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan ilmu mulai dari awal perkuliahan, hingga saat ini.
6. Pak Sugeng dan Mas Dino selaku laboran yang telah membantu penelitian di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi.
7. Rekan skripsi (Rika, Akbar, Adven, Candra, Iwan) yang telah berjuang bersama dari awal hingga saat ini.
8. 917 (Ayu, Mala, Nida, Eki, Ichan, Aceng, Ryan, Emak) yang telah memberikan kisah-kisah selama perkuliahan.
9. Princess (Mala, Vivi, Priska) yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
10. Anak-anak kos rumah 174 A yang telah menjadi rumah kedua.
11. Segenap Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Universitas Brawijaya yang telah membantu dan mendukung selama masa perkuliahan.

Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan penelitian-penelitian selanjutnya. Untuk perbaikan selanjutnya, kritik dan saran yang membangun akan penulis terima dengan senang hati.

Malang, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR SIMBOL	xiii
RINGKASAN.....	xv
SUMMARY.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Pembatasan Masalah	4
1.5 Tujuan.....	4
1.6 Manfaat.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Beton	7
2.2 Beton <i>Porous</i>	8
2.3 Material Penyusun Beton <i>Porous</i>	10
2.3.1 Semen	10
2.3.2 Air.....	11
2.3.3 Agregat	12
2.4 <i>Two-Stage Mixing Approach</i> (TSMA)	17
2.5 Sifat-sifat Beton.....	18
2.5.1 Keleccakan (<i>Workability</i>)	18
2.5.2 Berat Isi	19
2.5.3 Kuat Tekan.....	19
2.6 Hipotesis Penelitian.....	21

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2 Variabel Penelitian	23
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	24
3.3.1 Alat Penelitian.....	24
3.3.2 Bahan Penelitian	24
3.4 Analisis Bahan.....	24
3.4.1 Agregat.....	24
3.4.2 Semen.....	25
3.4.3 Air	25
3.4.4 Beton	25
3.5 Rancangan Penelitian	25
3.6 Pengujian Material	26
3.6.1 Pengujian Berat Isi Agregat Kasar	26
3.6.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	27
3.7 Pengujian Beton <i>Porous</i>	29
3.7.1 Proporsi Material	29
3.7.2 Pembuatan Benda Uji	30
3.7.3 Pengujian Berat Isi.....	31
3.7.4 Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>)	33
3.7.5 Pengujian Kuat Tekan.....	33
3.8 Diagram Alir Penelitian.....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Hasil dan Pembahasan Pengujian Material	37
4.1.1 Berat isi Agregat Kasar Alam (NCA).....	37
4.1.2 Berat isi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA).....	38
4.1.3 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar Alam (NCA)	38
4.1.4 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)	39
4.2 Rancang Campur dan Kebutuhan Material	40
4.3 Hasil dan Pembahasan 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>	48

BAB V PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

(Halaman Kosong)

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Nilai <i>Slump</i> berdasarkan ACI	18
Tabel 3.1	Variabel Penelitian	23
Tabel 3.2	Faktor Benda Uji Kuat Tekan	25
Tabel 3.3	Variasi Benda Uji Kuat Tekan	26
Tabel 3.4	Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar	27
Tabel 3.5	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	28
Tabel 3.6	Proporsi Material Beton Berpori	29
Tabel 3.7	Kebutuhan Material Tiap <i>Mix Design</i>	29
Tabel 3.8	Hasil Pengujian Berat Isi Silinder Beton <i>Porous</i> Pada Umur 28 Hari	32
Tabel 3.9	Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton <i>Porous</i> Pada Umur 28 Hari ..	34
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar Alam (NCA)	37
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)	38
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Agregat Kasar Alam (NCA)	38
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)	39
Tabel 4.5	Proporsi Material Beton <i>Porous</i>	40
Tabel 4.6	Rekapitulasi Kebutuhan Material	41
Tabel 4.7	Faktor Benda Uji Kuat Tekan	41
Tabel 4.8	Variasi Benda Uji Kuat Tekan.....	41
Tabel 4.9	Hasil Pengujian Berat Isi Silinder Beton <i>Porous</i> Pada Umur 28 Hari	42
Tabel 4.10	Berat Isi Rata-rata Silinder Beton <i>Porous</i> dengan NMA	43
Tabel 4.11	Berat Isi Rata-rata Silinder Beton <i>Porous</i> dengan TSMA	45
Tabel 4.12	Rekapitulasi Berat Isi Rata-rata Silinder Beton <i>Porous</i>	47
Tabel 4.13	Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton <i>Porous</i> Pada Umur 28 Hari ..	48
Tabel 4.14	Kuat Tekan Rata-rata Silinder Beton <i>Porous</i> dengan NMA	49
Tabel 4.15	Kuat Tekan Rata-rata Silinder Beton <i>Porous</i> dengan TSMA	51
Tabel 4.16	Rekapitulasi Kuat Tekan Rata-rata Silinder Beton <i>Porous</i>	53

(Halaman Kosong)

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Efek hidrologi terhadap perkerasan kaku dan perkerasan <i>porous</i>	8
Gambar 2.2	Infiltrasi pada permukaan beton <i>porous</i> di tempat parkir akuarium florida di Tampa, Florida	9
Gambar 2.3	Agregat Kasar Alam (NCA)	16
Gambar 2.4	Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)	16
Gambar 2.5	Hubungan Tegangan – Regangan Beton Normal	19
Gambar 3.1	Pengujian Kuat Tekan Beton	34
Gambar 3.2	Skema Metode Penelitian	36
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Berat Isi Rata-rata Silinder Beton <i>Porous</i> dengan Persentase RCA Menggunakan NMA	44
Gambar 4.2	Benda Uji Silinder Beton <i>Porous</i> dengan Metode NMA	44
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Berat Isi Rata-rata Silinder Beton <i>Porous</i> dengan Persentase RCA Menggunakan TSMA	45
Gambar 4.4	Benda Uji Silinder Beton <i>Porous</i> dengan Metode TSMA	46
Gambar 4.5	Grafik Rekapitulasi Berat Isi Rata-rata Silinder Beton <i>Porous</i>	47
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Kuat Tekan Rata-rata Silinder Beton <i>Porous</i> dengan Persentase RCA Menggunakan NMA	50
Gambar 4.7	Uji Tekan Benda Uji yang Menggunakan Metode NMA	50
Gambar 4.8	Grafik Kuat Tekan Rata-rata Silinder Beton <i>Porous</i> dengan Persentase RCA Menggunakan TSMA.....	52
Gambar 4.9	Uji Tekan Benda Uji yang Menggunakan TSMA	52
Gambar 4.10	Grafik Rekapitulasi Kuat Tekan Rata-rata Silinder Beton <i>Porous</i>	54

(Halaman Kosong)

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	<i>Data Hasil Berat Isi Agregat Kasar</i>	63
Lampiran 2.	Data Hasil Berat Jenis dan Penyerapan Agregat.....	64
Lampiran 3.	<i>Mix Design</i>	72
Lampiran 4.	Data Hasil Pengujian Berat Isi Beton <i>Porous</i>	74
Lampiran 5.	Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton <i>Porous</i>	78
Lampiran 6.	Dokumentasi Benda Uji Beton <i>Porous</i>	92
Lampiran 7.	Dokumentasi Pembuatan Benda Uji	94
Lampiran 8.	Logbook Pembuatan Benda Uji	95

(Halaman Kosong)

DAFTAR SIMBOL

Besaran dasar	Satuan dan Singkatan	Simbol
Gaya	Newton atau N	F
Massa	Kilogram atau Kg	m
Panjang	Meter atau m	l

(Halaman Kosong)

RINGKASAN

Kartini Aprianti, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2017, *Pengaruh Metode Two-Stage Mixing Approach (TSMA) terhadap Kuat Tekan Beton Porous dengan Variasi Komposisi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)*, Dosen Pembimbing: Eva Arifi dan Devi Nuralinah.

Beton *porous* adalah salah satu jenis beton yang mempunyai rongga udara lebih besar sehingga memungkinkan air untuk mengalir melalui rongga beton dan dapat diserap oleh tanah. Adanya rongga udara yang lebih besar, mengakibatkan kuat tekan beton *porous* lebih rendah dibandingkan beton konvensional. Penggunaan beton *porous* dapat dikembangkan lagi dengan mengganti sebagian atau seluruh agregat kasar alam (NCA) dengan agregat kasar beton daur ulang (RCA). Kualitas RCA umumnya lebih rendah daripada NCA, sehingga metode *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA) diharapkan dapat meningkatkan kualitas beton *porous* yang menggunakan RCA.

Pengujian material pada penelitian ini meliputi berat isi, berat jenis, dan penyerapan air pada agregat kasar. Sedangkan pengujian untuk beton *porous* meliputi berat isi dan kuat tekan. Uji tekan dilaksanakan untuk mengetahui pengaruh komposisi RCA dan metode pencampuran terhadap kuat tekan beton *porous*. Persentase RCA yang digunakan yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%, sedangkan metode pencampuran yang digunakan yaitu *Normal Mixing Aggregates* (NMA) dan *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA).

Pengujian tekan dilakukan pada umur beton 28 hari dengan alat *Compressing Testing Machine* (CTM). Berdasarkan hasil pengujian didapatkan kuat tekan rata-rata maksimum yaitu pada komposisi RCA 100% dan metode TSMA dengan nilai 11,81 MPa. Pada penelitian ini, hasil pengujian kuat tekan memenuhi syarat ACI 522R-10 tentang beton *porous*.

Kata kunci: Beton *porous*, kuat tekan, agregat kasar daur ulang, *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA)

(Halaman Kosong)

SUMMARY

Kartini Aprianti, Departemen of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, June 2017, *Effect of Two-Stage Mixing Approach (TSMA) on the Compression Strength of Porous Concrete with Variations Composition of Recycled Coarse Aggregates (RCA)*, Academic Supervisor: Eva Arifi and Devi Nuralinah.

Porous concrete is a type of concrete that has a larger pore to allows water to flow through the concrete pores and absorbed by the soil. Because it have larger pores, the compression strength of porous concrete is lower than conventional concrete. The use of porous concrete can be further expanded by replacing some or all of the natural coarse aggregates (NCA) with recycled coarse aggregate (RCA). The quality of RCA is generally lower than NCA, so the Two-Stage Mixing Approach (TSMA) was expected to improve the quality of porous concrete using RCA.

The test for material in this research included the density, specific gravity and water absorption of coarse aggregates. While the test for porous concrete included the density and compression strength. These test were conducted to determine the effect of RCA composition and mixing methods on the compression strength of porous concrete. The percentage of RCA used were 0%, 25% 50%, 75%, and 100%, while mixing methods were Normal Mixing Aggregates (NMA) and Two-Stage Mixing Approach (TSMA).

The compression strength test was performed at 28 days of concrete using Compressing Testing Machine (CTM). Based on the test results, the maximum compression strength was retained by 100% RCA composition and TSMA method with a value of 11.81 MPa. In this research, the results of compression strength fulfill ACI 522R-10 requirement about porous concrete.

Keywords: Porous concrete, compression strength, recycled coarse aggregates, Two-Stage Mixing Approach (TSMA)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan jumlah penduduk serta peningkatan urbanisasi khususnya di wilayah kota mengakibatkan pembangunan sarana dan prasarana meningkat pesat, demikian pula dengan kebutuhan material konstruksi. Salah satu material yang sangat penting dan sering kali digunakan untuk konstruksi adalah beton. Beton merupakan bahan campuran dari semen, air, agregat halus, agregat kasar.

Perlu dilakukan perancangan campuran beton untuk menentukan perbandingan campuran dari bahan-bahan penyusun beton agar mendapatkan beton dengan kualitas yang baik dan harga ekonomis. Selain itu, pelaksanaan dan perawatan juga berpengaruh terhadap kualitas beton yang dihasilkan.

Kegunaan beton selain untuk konstruksi struktur bangunan, yaitu sebagai lapisan perkerasan jalan. Akan tetapi, lapisan perkerasan jalan umumnya dibuat kedap air sehingga menghambat peresapan air ke dalam tanah. Air hujan yang turun menimbulkan genangan air dan dapat mengancam keselamatan pengguna jalan, karena tidak adanya celah untuk air masuk ke dalam tanah.

Untuk mencegah hal tersebut, diperlukan alternatif beton yang ramah lingkungan seperti beton *porous*. Hampir sama dengan beton konvensional pada umumnya, beton *porous* terdiri dari semen, air, dan agregat. Tetapi, agregat yang digunakan hanya agregat kasar dengan penyeragaman gradasi. Hal itu menyebabkan beton *porous* mempunyai rongga udara yang lebih besar, sehingga memungkinkan air untuk mengalir melalui rongga beton dan dapat diserap oleh tanah.

Adanya rongga udara yang lebih besar mengakibatkan kuat tekan beton *porous* lebih rendah dibandingkan beton konvensional, sehingga beton *porous* tidak cocok digunakan pada struktur yang memerlukan kuat tekan tinggi. Biasanya, beton *porous* digunakan untuk perkerasan pada beban lalu lintas yang ringan seperti lapangan parkir, area rekreasi, trotoar, dan lain-lain.

Dari keunggulan beton *porous* yang ramah lingkungan, penggunaannya dapat dikaji lebih lanjut lagi. Salah satunya dengan mengganti sebagian atau seluruh agregat kasar

alam (*Natural Coarse Aggregates*) dengan agregat kasar beton daur ulang (*Recycled Coarse Aggregates*).

Daur ulang beton menjadi alternatif yang sangat penting karena dapat meminimalisir kebutuhan material dari alam. Meningkatnya aktifitas konstruksi mengakibatkan kebutuhan batuan sebagai material beton meningkat dan persediaannya di alam pun berkurang.

Sejalan dengan hal itu, limbah beton sebagai sampah konstruksi pun menjadi semakin banyak. Limbah beton dapat berasal dari konstruksi bangunan baru atau pun penghancuran bangunan lama yang biasanya tidak dimanfaatkan dengan baik. Seperti pada saat terjadi kelebihan *supply* pada beton siap pakai, karena sulitnya mencari lokasi sebagai tempat pembuangan, sebagian besar dibuang di sembarang tempat hingga menjadi limbah bangunan.

Contoh lain seperti limbah beton bekas praktikum yang terdapat di laboratorium pengujian beton, terkadang dibiarkan menumpuk di sembarang tempat. Hal ini berdampak buruk bagi lingkungan karena dapat menyebabkan kerusakan alam seperti mengurangi kesuburan tanah. Karena ketersediaan limbah beton yang banyak, potensi untuk mendaur ulang pun menjadi sangat besar.

RCA umumnya memiliki kualitas yang lebih rendah dibandingkan dengan NCA. Beberapa hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan agregat daur ulang cenderung menyebabkan penurunan kuat tekan beton.

Untuk meningkatkan kualitas dari beton yang menggunakan RCA, diperlukan metode pencampuran yang lain, salah satunya adalah *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA). TSMA adalah metode dengan membagi tahap pencampuran menjadi dua bagian, air dan semen yang diperlukan dibagi dua untuk ditambahkan di waktu yang berbeda. RCA dicampur dengan 50% pasta semen pada tahap pertama, kemudian dikeringkan sebelum tahap kedua pengecoran menyeluruh dengan sisa air dan semen tersebut. Pada RCA terdapat retakan dan rongga akibat penghancuran beton dan saat tahap pertama pengecoran, air digunakan untuk membentuk lapisan tipis bubur semen yang akan mengisi rongga tersebut.

Penggunaan TSMA dalam pencampuran beton telah menunjukkan peningkatan kuat tekan beton (Arifi, 2015). Pada penelitian ini, kuat tekan beton *porous* yang memakai RCA dengan menggunakan TSMA akan dibandingkan dengan yang menggunakan *Normal Mixing Approach* (NMA).

1.2 Identifikasi Masalah

Perkerasan jalan yang menggunakan beton konvensional dibuat tidak dapat ditembus air, sedangkan beton *porous* memiliki rongga yang besar dan berfungsi untuk mengalirkan air melalui beton. Perkerasan dari beton *porous* digunakan agar air dapat dengan mudah diserap oleh tanah sehingga tidak menimbulkan genangan. Rongga pada beton *porous* mengakibatkan beton *porous* memiliki kuat tekan lebih rendah dibandingkan dengan beton konvensional.

Selain itu, penggunaan RCA pun mempengaruhi kekuatan beton *porous* yang dihasilkan. Padahal daur ulang beton menjadi kasus yang sangat penting karena limbah beton yang terbuang akibat aktivitas konstruksi dapat dimanfaatkan kembali dan dapat mengurangi kebutuhan material dari alam.

Metode *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA) masih terbilang baru di Indonesia. Penggunaan metode ini diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan beton *porous* yang memakai RCA.

1.3 Rumusan Masalah

Dari latar belakang penelitian ini, perlu adanya pembahasan yang lebih spesifik. Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hubungan antara komposisi RCA sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap kuat tekan beton *porous*.
2. Bagaimana perbedaan pengaruh metode TSMA dengan NMA pada beton *porous* yang memakai RCA.
3. Bagaimana komposisi optimal RCA untuk kuat tekan beton *porous* dengan menggunakan metode yang berbeda yaitu TSMA dan NMA agar didapatkan kuat tekan beton yang sesuai dengan persyaratan.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini menyangkut beberapa aspek, yaitu:

1. Pengujian dilakukan di Laboratorim Struktur dan Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
2. Pengujian berupa kuat tekan dengan alat *Compressing Testing Machine* (CTM).
3. Nilai berat jenis dan penyerapan air untuk agregat akan didapatkan dari penelitian.
4. Variasi komposisi RCA sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap NCA.
5. Ukuran agregat yang digunakan yaitu 0,5 sampai 1 cm.
6. FAS yang digunakan yaitu 0,3.
7. Air yang digunakan adalah air PDAM Kota Malang.
8. Metode perawatan beton dengan cara direndam dalam air selama 7 hari.
9. Pengujian dilakukan pada umur beton 28 hari.
10. Benda uji yang digunakan berupa silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.
11. *Parent Concrete* dengan K175 sampai K225.
12. Semen yang dipakai adalah *Portland Pozzolan Cement* (PPC) jenis 1 merk Semen Gresik.
13. Setiap variasi komposisi agregat dan dengan masing-masing metode TSMA atau NMA, dibuat tiga benda uji.
14. Agregat kasar alam berasal dari pabrik Sawojajar.

1.5 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh komposisi RCA sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap kuat tekan beton *porous*.
2. Mengetahui perbedaan pengaruh metode TSMA dengan NMA pada beton *porous* yang memakai RCA.
3. Mengetahui komposisi optimal RCA untuk kuat tekan beton *porous* dengan menggunakan metode yang berbeda yaitu TSMA dan NMA agar didapatkan kuat tekan beton yang sesuai dengan persyaratan.

1.6 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui pengaruh penggunaan RCA terhadap kuat tekan beton *porous* dengan TSMA.
2. Dapat mengetahui komposisi yang tepat pada beton *porous* dengan RCA untuk memperoleh kuat tekan yang optimum dan sesuai dengan persyaratan beton struktural.
3. Dapat digunakan sebagai referensi mahasiswa yang akan melakukan penelitian lebih lanjut mengenai topik ini.
4. Dapat dijadikan referensi para pengembang di bidang konstruksi untuk pembangunan yang ramah lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton adalah suatu material komposit yang terdiri dari tiga bahan utama yaitu semen, air, agregat halus, dan agregat kasar dengan perbandingan tertentu, terkadang ditambahkan pula dengan bahan campuran lain (bahan *additive*). Berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia) 03-2847-2002, 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.

Agregat, semen, dan air dicampur, sehingga bersifat plastis dan mudah untuk dikerjakan. Sifat inilah yang memungkinkan adukan beton dapat dicetak sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Dengan bercampurnya semen dengan air dan agregat, terjadi reaksi kimia yang pada umumnya bersifat hidrasi yang menghasilkan suatu pengerasan dan penambahan kekuatan yang berlangsung terus-menerus pada suatu kelembapan dan suhu yang sesuai (Murdock dan Brook, 1986).

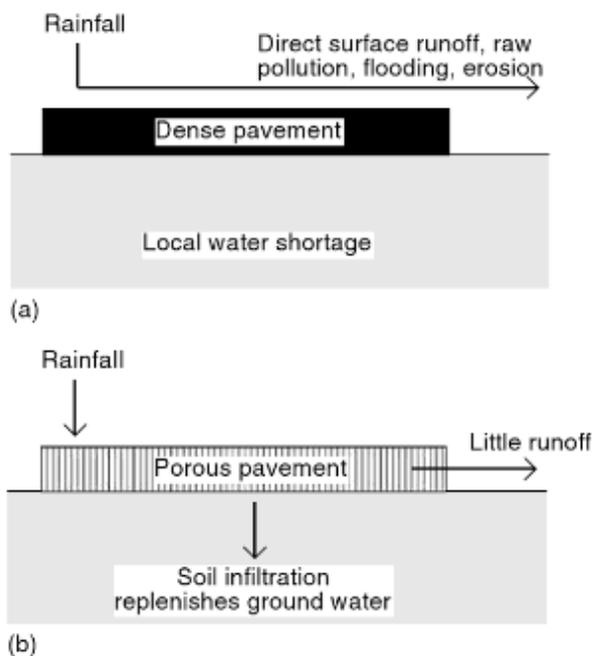
Beton sering digunakan dalam konstruksi karena memiliki beberapa keuntungan seperti mudah dicetak, awet, dan biaya pemeliharaan rendah. Selain itu, beton tahan terhadap api sekitar satu hingga tiga jam tanpa bahan kedap api tambahan, tidak seperti kayu dan baja yang memerlukan bahan kedap api khusus.

Beton berfungsi untuk menahan beban karena memiliki sifat kuat terhadap gaya tekan, akan tetapi kurang baik untuk menahan gaya tarik. Sehingga tulangan-tulangan baja biasanya dipasang pada beton untuk membantu dalam menahan gaya tarik tersebut karena kekuatan tarik baja yang baik.

Nilai kekuatan beton sendiri bergantung pada pengaturan perbandingan semen, air, dan agregat, dimana yang menjadi faktor utama dalam penentuan kekuatan beton adalah perbandingan dari air terhadap semen yang disebut faktor air-semen. Semakin kecil faktor air-semen, maka akan semakin tinggi kuat tekan beton yang di hasilkan. Kelebihan air dapat mempermudah pengerjaan beton saat pengecoran, akan tetapi dapat mengurangi kekuatannya. Yang menjadi tujuan utama perencanaannya adalah memperoleh campuran beton dengan kekuatan optimum, dengan semen minimum, dan kemampuan pekerjaan yang dapat diterima.

2.2 Beton Porous

Beton *porous* atau beton berpori juga dikenal sebagai *pervious concrete* memiliki campuran hampir sama dengan beton konvensional pada umumnya, beton *porous* terdiri dari semen, air, dan agregat. Tetapi, agregat yang digunakan hanya agregat kasar dan sedikit agregat halus atau tanpa agregat halus. Hal itu menyebabkan beton *porous* mempunyai rongga udara yang lebih besar, sehingga memungkinkan air untuk mengalir melalui rongga tersebut. Berdasarkan ACI (*American Concrete Institute*) 522R-10 *Report on Pervious Concrete*, beton *porous* dapat di deskripsikan sebagai beton yang memiliki nilai slump mendekati nol, yang terbentuk dari semen *portland*, agregat kasar, sedikit agregat halus atau tidak sama sekali, campuran tambahan (*admixture*), dan air.



Gambar 2.1 Efek hidrologi terhadap perkerasan kaku dan perkerasan *porous*

Sumber: Ferguson (2005)

Beton *porous* bertujuan untuk mengalirkan air hujan melalui rongga-rongga beton hingga memungkinkan air untuk diserap oleh tanah. Penggunaan beton *porous* masih dibidang terbatas, di Indonesia sendiri sering menggunakan *paving block* untuk konstruksi yang berhubungan dengan penyerapan air. Adanya rongga udara yang lebih besar mengakibatkan kuat tekan beton *porous* lebih rendah dibandingkan beton konvensional, sehingga beton *porous* tidak cocok untuk diaplikasikan pada struktur yang memerlukan kuat tekan tinggi. Beton *porous* biasanya digunakan untuk

perkerasan pada beban lalu lintas yang ringan seperti lapangan parkir, area rekreasi, trotoar, taman, jalan lokal, dan lain-lain.



Gambar 2.2 Infiltrasi pada permukaan beton *porous* di tempat parkir akuarium florida di Tampa, Florida
Sumber: Ferguson (2005)

Keuntungan memakai beton *porous* sebagai perkerasan adalah:

1. Beton *porous* juga dapat berfungsi sebagai saluran drainase untuk mengalirkan air ke dalam tanah sehingga mengurangi limpasan permukaan.
2. Membantu peresapan air ke dalam tanah sehingga dapat mengurangi potensi terjadinya banjir.
3. Beton *porous* memiliki permukaan yang kasar dibanding dengan perkerasan normal sehingga dapat mengurangi kelicinan pada jalan, terutama saat hujan.
4. Dapat membantu penyerapan air mencapai akar pepohonan walaupun perkerasan menutupi pohon.
5. Proses pemasangan beton *porous* akan lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan *paving block*.
6. Rongga pada beton *porous* terbentuk dengan tidak teratur dan permukaannya yang tidak rata menyebabkan rongga dapat meredam kebisingan yang dihasilkan oleh roda kendaraan. Gelombang suara yang dihasilkan saling bertumbukan dan saling meredam karena dipantulkan secara baur oleh rongga beton *porous*.

2.3 Material Penyusun Beton *Porous*

Seperti halnya beton konvensional, material penyusun beton *porous* pada umumnya ialah semen, air, dan agregat. Material tersebut sangat berpengaruh pada kekuatan beton yang dihasilkan, sehingga ada beberapa hal harus diperhatikan dalam proses pembuatan beton *porous*, yaitu

2.3.1 Semen

Semen memiliki sifat adesif dan kohesif sehingga memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral seperti agregat menjadi suatu massa yang padat setelah semen bereaksi dengan air. Semen yang biasa digunakan adalah semen portland (PC). Semen portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat, penambahan air menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu.

Beton yang dibuat dari semen portland biasa memerlukan waktu sekitar dua minggu untuk mencapai kekuatan yang cukup besar untuk dipindahkan dari cetaknya dan untuk menerima beban berkekuatan sedang. Beton seperti itu mencapai kekuatan desainnya setelah 28 hari dan terus mengalami peningkatan sesudahnya namun dengan tingkat penambahan yang lebih lambat (McCormac, 2004).

Menurut ASTM (*American Society for Testing and Materials*) jenis-jenis semen Portland adalah sebagai berikut:

1. Semen tipe I: Untuk konstruksi biasa dimana tidak diperlukan sifat khusus.
2. Semen tipe II: Untuk konstruksi biasa, dimana diinginkan perlawanan terhadap sulfat atau panas hidrasi sedang.
3. Semen tipe III: Untuk konstruksi dimana diinginkan cepat mengeras dan kekuatan awal tinggi.
4. Semen tipe IV: Untuk konstruksi dimana diinginkan panas hidrasi rendah.
5. Semen tipe V: Untuk konstruksi dimana diinginkan daya tahan yang tinggi terhadap sulfat.

Pada reaksi antara semen dan air, dibedakan menjadi dua periode yang berlainan. Pertama, periode pengikatan yaitu peralihan dari keadaan plastis ke dalam keadaan keras. Setelah itu, periode pengerasan yaitu penambahan kekuatan setelah pengikatan selesai.

A. Pengaruh Kehalusan Semen terhadap Pencapaian Kekuatan

Ukuran partikel semen mempunyai pengaruh penting terhadap kelajuan reaksi antara semen dengan air. Luas permukaan partikel semen yang halus lebih besar dibandingkan

dengan semen yang kasar, sehingga untuk semen halus yang mempunyai luas permukaan partikel yang lebih besar, proses pengerasan pun menjadi lebih cepat.

B. Pengaruh Semen terhadap Kekuatan Beton

Disintegrasi beton akibat pemanasan, pendinginan, pencairan, pengeringan, dan penjalaran retak merupakan hal-hal yang sangat penting. Adanya rongga-rongga pada pasta semen menambah daya tahan beton terhadap disintegrasi, dan hal ini juga dapat diperoleh dengan penambahan campuran tambahan pada waktu pengadukan yang menghasilkan *air-entrained* pada beton.

C. Panas yang Dihasilkan Selama Pengeringan Awal

Berbagai jenis semen menghasilkan panas yang berbeda serta kelajuan pelepasan yang berbeda, karena itu sangat penting untuk mengetahui untuk struktur apa semen itu akan digunakan. Semakin besar dan berat penampang struktur beton, semakin sedikit panas hidrasi yang diinginkan. Oleh karena itu, jenis struktur, cuaca, dan kondisi lainnya adalah faktor-faktor yang menentukan jenis semen yang akan digunakan.

2.3.2 Air

Kualitas air yang digunakan harus memiliki kualitas yang baik. Air untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung sesuatu yang dapat merusak beton seperti minyak, asam alkali, garam. Pada umumnya, air minum dapat digunakan untuk campuran beton.

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen, untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Penggunaan air sangat berpengaruh pada pasta yang dihasilkan. Pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air sehingga sangat penting untuk menentukan perbandingan antara air dan semen yang biasa disebut faktor air semen (FAS).

FAS berpengaruh sangat besar, dimana air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai dan akan mengakibatkan rongga pada beton *porous* tertutup oleh pasta semen yang cair (*bleeding*). Sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai, daya lekat semen dan agregat pun menjadi tidak sempurna sehingga dapat menurunkan kekuatan beton yang dihasilkan. Menurut ACI 522R-10 persentase faktor air semen yang paling baik dicapai

oleh beton *porous* pada 0,26 sampai dengan 0,45, dimana memberikan kondisi pasta yang stabil dan lapisan yang cukup merata pada agregat.

2.3.3 Agregat

Agregat merupakan komponen yang sangat penting dalam menentukan kekuatan beton dan sifat-sifat agregat sangat mempengaruhi daya tahan beton. Agregat juga berfungsi sebagai bahan pengisi serta untuk mengurangi penyusutan pada waktu beton mengeras (stabilitas volume).

Agregat harus kuat, bersih, dan tahan lama karena jika terdapat debu atau partikel-partikel lain akan mengurangi ikatan antara pasta semen dengan agregat. Biasanya 60% sampai 80% bagian dari volume beton ditempati oleh agregat.

Berdasarkan ukurannya agregat dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu agregat halus dan agregat kasar. Berdasarkan ASTM-C-33, agregat halus mempunyai batas ukuran butiran atas sebesar 4,75 mm atau berdasarkan saringan nomor 4, dan memiliki batas bawah sebesar 0,075 mm atau berdasarkan saringan nomor 200. Bahan yang digunakan sebagai agregat halus biasanya berupa pasir.

Untuk agregat kasar biasanya memiliki ukuran 5 sampai 75 mm, dengan batas bawah sebesar 4,75 mm atau berdasarkan saringan nomor 4. Pada beton *porous*, biasanya menggunakan sedikit agregat halus atau hanya menggunakan agregat kasar tanpa agregat halus.

A. Gradasi Agregat

Berdasarkan gradasi penyebaran ukurannya, agregat dibagi menjadi dua jenis, yaitu agregat dengan gradasi baik dan agregat dengan gradasi buruk. Agregat dengan gradasi baik atau yang sering juga disebut dengan agregat bergradasi rapat yaitu campuran agregat dengan ukuran butiran yang terdistribusi merata dalam rentang ukuran butiran sehingga antar agregat saling mengisi rongga yang kosong.

Agregat dengan gradasi baik dapat didominasi oleh agregat dengan ukuran butiran kasar maupun halus dimana gradasi agregat yang didominasi oleh butiran kasar disebut agregat bergradasi kasar, dan agregat bergradasi halus yaitu bila gradasi agregat didominasi oleh agregat dengan butiran halus.

Agregat dengan gradasi buruk adalah distribusi ukuran agregat yang tidak memenuhi persyaratan agregat bergradasi baik. Dimana agregat dengan gradasi buruk dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Gradasi seragam

Campuran agregat yang tersusun dari agregat dengan ukuran butirannya sama atau hampir sama.

2. Gradasi terbuka

Campuran agregat dengan distribusi ukuran butiran sedemikian rupa sehingga pori-pori antar agregat tidak terisi dengan baik.

3. Gradasi senjang

Campuran agregat yang ukuran butirannya terdistribusi tidak menerus, atau ada bagian yang hilang.

Pada beton *porous*, jenis gradasi agregat yang digunakan biasanya adalah agregat dengan gradasi yang buruk, karena agregat dengan gradasi buruk akan membuat beton memiliki banyak rongga-rongga antar tiap susunan agregatnya. Biasanya agregat kasar yang digunakan memiliki dimensi yang seragam (*uniform*) atau dapat juga dikombinasikan dengan agregat berdimensi lain dengan minimal dimensi 9 mm – 5 mm.

Pada penelitian ini, ukuran agregat kasar yang digunakan yaitu 5 – 10 mm. Hal ini didasari pada penelitian sebelumnya, jika semakin besar ukuran agregat maka porositasnya akan meningkat dan kuat tekannya akan menurun. Sebaliknya, pengurangan ukuran agregat mengakibatkan porositasnya menurun dan kuat tekannya meningkat (Sriravindrarajah et al., 2012).

B. Berat Jenis dan Penyerapan Air Pada Agregat

Hal penting yang dilakukan sebelum merancang beton ialah mengetahui berat jenis agregat yang digunakan, karena berat jenis akan mempengaruhi rancangan campur beton. Berat jenis dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

1. *Bulk Specific Gravity*

Bulk Specific Gravity adalah berat jenis yang diperhitungkan terhadap seluruh volume yang ada atau dapat dikatakan seluruh volume pori yang dapat dilewati air dan volume partikel.

2. *Saturated Surface Dry (SSD) Specific Gravity*

SSD adalah berat jenis yang memperhitungkan volume pori yang hanya dapat diresapi aspal ditambah dengan volume partikel.

3. *Apparent Specific Gravity*

Apparent Specific Gravity adalah berat jenis yang memperhitungkan volume partikel saja tanpa memperhitungkan volume pori yang dapat dilewati air atau merupakan bagian

relative density dari bahan padat yang terbentuk dari campuran partikel kecuali pori atau pori udara yang dapat menyerap air.

Sedangkan penyerapan air adalah kemampuan suatu benda untuk menyerap air dari keadaan kering mutlak menjadi keadaan SSD. Daya rekat antar pasta semen dengan agregat serta keawetannya dipengaruhi oleh penyerapan air pada agregat itu sendiri. Umumnya, 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.

Selain itu, sifat lain yang penting yaitu kadar air dalam agregat. Kadar air dalam agregat dapat berubah tergantung kondisi agregatnya. Kondisi agregat dapat digambarkan sebagai berikut:

1. Kondisi basah

Pada kondisi ini, terjadi pada agregat yang selalu dalam kondisi basah karena air hujan atau terendam air sehingga agregat jenuh dengan air yang ada sampai menyelimuti agregatnya.

2. Kondisi SSD

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

3. Kondisi kering udara

Kondisi ini terjadi apabila agregat ditempatkan pada ruang terbuka dan airnya mengalami penguapan tetapi air yang dikandungnya tidak habis. Biasanya agregat mengalami kondisi ini pada saat musim kemarau.

4. Kondisi kering oven

Kondisi ini didapat bila agregat didalam suhu lebih dari 100°C, sehingga kadar airnya 0%.

C. Berat Isi Pada Agregat

Berat isi (kepadatan) partikel agregat yang digunakan dalam perhitungan proporsi campuran (tidak termasuk pori antar partikel) ditentukan dengan mengalikan *specific gravity* dengan berat isi dari air. Berat isi air yang digunakan yaitu 1000 kg/m³. Rata-rata agregat alam memiliki kepadatan partikel antara 2400 kg/m³ dan 2900 kg/m³.

D. Agregat Kasar

Kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap cuaca, disintegrasi beton, dan efek-efek perusak lainnya sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat agregat kasar. Menurut SNI 03-2834-2000, agregat kasar 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. Berdasarkan ASTM C-125 agregat kasar adalah seluruh agregat yang masih tertahan pada saringan nomor 4 standar ASTM yang berukuran 4,75mm.

Jenis-jenis agregat kasar yang umumnya digunakan ialah:

1. Batu pecah alami

Bahan ini didapat dari cadas atau batu pecah alami yang digali dan dapat berasal dari gunung api, jenis sedimen, atau jenis metamorf. Beton yang menggunakan agregat batu pecah memiliki kekuatan yang tinggi, akan tetapi penggunaan batu pecah ini kurang memberikan kemudahan pengerjaan dan pengecoran dibanding dengan jenis agregat kasar lainnya.

2. Kerikil alami

Kerikil didapat dari proses alami yaitu pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir. Dalam proses pengerjaannya, kerikil memberi kemudahan pengerjaan yang lebih tinggi, akan tetapi memberikan kekuatan yang lebih rendah daripada batu pecah.

3. Agregat kasar buatan

Umumnya berupa *slag* atau *shale* yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan. Agregat kasar ini biasanya didapatkan dari hasil proses lain seperti dari *blast-furnace* dan lain-lain.

4. Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat

Dengan adanya tuntutan yang spesifik pada zaman atom sekarang ini akibat dari semakin banyaknya pembangkit atom dan stasiun tenaga nuklir, untuk pelindung dari radiasi nuklir tersebut maka perlu adanya beton yang dapat melindungi dari sinar x, sinar gamma, dan neutron. Pada beton tersebut syarat ekonomis maupun kemudahan pengerjaan tidak terlalu menentukan. agregat kasar yang diklasifikasikan misalnya baja pecah, barit, magnetit, dan limonit.



Gambar 2.3 Agregat Kasar Alam (NCA)
Sumber: Data Pribadi

E. Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

Daur ulang beton menjadi agregat adalah salah satu upaya untuk dapat meminimalisir kebutuhan material dari alam. Meningkatnya aktifitas konstruksi mengakibatkan kebutuhan batuan sebagai material beton meningkat dan persediaannya di alam pun berkurang. Selain itu, limbah beton sebagai sampah konstruksi semakin meningkat. Limbah beton dapat berasal dari konstruksi bangunan baru atau pun penghancuran bangunan lama yang biasanya tidak dimanfaatkan dengan baik. Limbah beton yang diletakkan disembarang tempat berdampak buruk bagi lingkungan karena dapat menyebabkan kerusakan alam seperti mengurangi kesuburan tanah.



Gambar 2.4 Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)
Sumber: Data Pribadi

Saat ini telah banyak jalan yang dibangun dengan perkerasan dari beton, sehingga penggunaan RCA akan sangat bermanfaat. RCA adalah agregat kasar yang dibentuk dari

proses pemecahan, pengukuran, pencucian, dan pemilihan dari beton keras yang ada. Penggunaan RCA tidak diijinkan untuk digunakan pada beton struktur yang memerlukan kuat tekan yang tinggi, tetapi dapat digunakan pada beton non-struktural seperti batas jalan, perkerasan jalan, *landscape*, dan sejenisnya.

Sifat beton dengan RCA jika dibandingkan dengan beton yang menggunakan NCA yaitu: (a). Kuat tekan menurun sebesar 10% - 30%. (b). Kuat tarik lebih rendah tidak lebih dari 10%. (c). Modulus elastisitas menurun sebesar 10% - 40 % tergantung dari sumber agregat kasarnya. (d). Susut lebih besar 20% - 55% sedangkan *creep* lebih kecil hingga 10% (El-Reedy, 2009).

Berdasarkan hasil studi eksperimental, RCA mengandung mortar sebesar 25% hingga 45%, yang mengakibatkan berat jenis agregat menjadi lebih kecil, lebih berpori, kekerasannya berkurang, bidang temu (*interface*) bertambah, dan unsur-unsur kimia agresif lebih mudah masuk dan merusak. Selain itu, terdapat retak mikro pada RCA yang ditimbulkan oleh tumbukan mesin pemecah batu pada saat proses produksi agregat daur ulang yang tidak dapat membelah daerah lempengan atau patahan pada NCA. Retak tersebut tertahan oleh kekangan mortar yang menyelimuti NCA (Suharwanto, 2005).

2.4 Two-Stage Mixing Approach (TSMa)

Beton terdiri dari agregat, air, dan semen. Air, semen, dan agregat halus atau yang dikenal dengan mortar, antara mortar dan agregat kasar terdapat zona antar permukaan (*interface transition zone*). Penggunaan kembali limbah beton dapat bermanfaat bagi lingkungan, akan tetapi mortar semen yang menempel pada RCA dapat merubah penyerapan dan berat isi agregat kasar sehingga mempengaruhi kinerja beton yang dihasilkan.

Faktor terpenting yang mempengaruhi kualitas adalah tingginya penyerapan air karena banyaknya mortar yang menempel pada RCA. Penggunaan RCA umumnya menyebabkan pengurangan sekitar 10% pada kekuatan tekan dan tarik, hingga 35% pengurangan modulus elastisitas, dan hampir 100% peningkatan susut pengeringan serta kenaikan permeabilitas 100%. Terlebih lagi kehancuran pada beton dapat terjadi pada ITZ, dimana ikatan antara pasta semen dan agregat tidak sempurna. Salah satu pemecahan permasalahan untuk mendapat beton mutu tinggi ialah dengan memperkuat ITZ.

Kekhawatiran akan penggunaan RCA tidak hanya pada stabilitas kinerja beton struktural, tetapi juga pada daya tahan beton. Daya tahan memainkan peran penting dalam masalah biaya pembangunan.

Untuk meningkatkan kualitas dari beton yang memakai RCA, diperlukan metode pencampuran yang lain. Hal tersebut mempengaruhi Tam et al., 2005 mengusulkan metode *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA) untuk meningkatkan kekuatan beton agregat daur ulang. Pada penelitian Tam et al, perbaikan kekuatan dapat dicapai hingga 21,19% untuk TSMA (dengan penggantian RCA 20% dan setelah 28 hari perawatan). Metode TSMA menunjukkan perbaikan kuat tekan pada beton agregat daur ulang dibandingkan dengan NMA (Arifi, 2015).

TSMA adalah metode dengan membagi tahap pencampuran menjadi dua bagian, air dan semen yang diperlukan dibagi dua untuk ditambahkan di waktu yang berbeda. RCA dicampur dengan 50% pasta semen pada tahap pertama, kemudian dikeringkan sebelum tahap kedua pengecoran menyeluruh dengan sisa air dan semen tersebut. Pada RCA terdapat retakan dan rongga akibat proses penghancuran beton menjadi RCA. Pada tahap pertama TSMA, air digunakan untuk membentuk lapisan tipis bubur semen dan membentuk ITZ yang lebih kuat dengan mengisi retakan dan rongga tersebut. Pada penelitian sebelumnya, TSMA terbukti dapat meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton yang menggunakan RCA.

2.5 Sifat-Sifat Beton

Sifat-sifat beton antara lain:

2.5.1 Keleccakan (*Workability*)

Workability adalah kemudahan dalam pengerjaan beton segar, yang paling banyak digunakan untuk menguji ini ialah dengan uji *slump*. Semakin besar nilai *slump*, semakin tinggi kemudahan pengerjaannya dan sebaliknya semakin kecil nilai *slump* maka semakin rendah kemudahan pengerjaannya.

Berdasarkan ACI, nilai *slump* yang harus dipenuhi untuk pengecoran pada beton segar adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1

Tabel Nilai *Slump* berdasarkan ACI

Jenis Konstruksi	<i>Slump</i> (mm)	
	Maks	Min
Dinding pondasi, footing, sumuran, dinding basemen	75	25
Dinding dan balok	100	25
Kolom	100	25

Perkerasan dan lantai	75	25
Beton dalam jumlah besar (seperti dam)	50	25

2.5.2 Berat Isi

Berat isi merupakan perbandingan antara massa benda dengan volume benda atau besaran massa persatuan volume benda. Pengujian dilakukan dengan menimbang berat benda uji dalam keadaan kering oven dan membaginya dengan volume benda uji.

Sisa mortar pada RCA memiliki massa yang lebih ringan dibanding dengan NCA. Beton yang menggunakan RCA jika dibandingkan dengan yang menggunakan NCA, berat isinya lebih kecil dan berat isi RCA menurun jika mutu beton yang menjadi bahan baku pembuatan RCA semakin tinggi.

2.5.3 Kuat Tekan

Kuat tekan beton merupakan besaran mekanik yang sangat penting karena menjadi acuan dasar dalam perencanaan struktur bangunan sipil. Besarnya kuat tekan dapat ditentukan dengan persamaan:

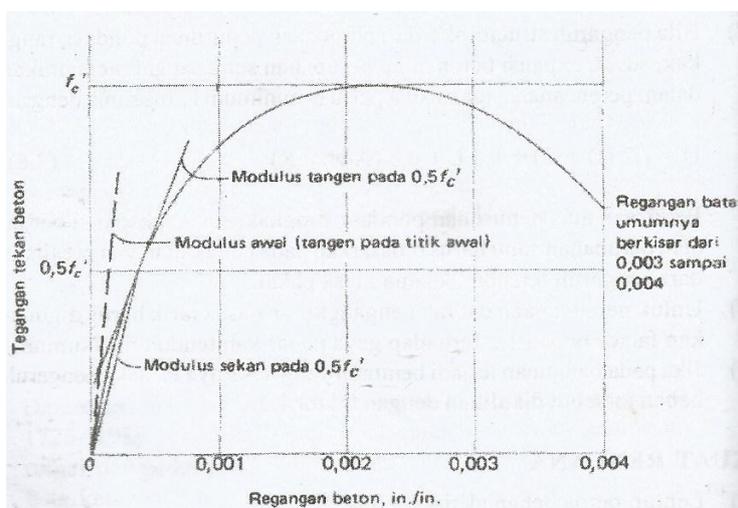
$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana:

f_c' = kuat tekan beton umur rencana (Mpa)

P = beban uniaksial tekan maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)



Gambar 2.5 Hubungan Tegangan – Regangan Beton Normal

Sumber: Nurlina (2008)

Gambar di atas menunjukkan hubungan tegangan dan regangan beton normal, dimana terdapat tiga macam modulus, yaitu:

1. Modulus awal (garis singgung pada titik awal)
2. Modulus tangen (garis singgung modulus pada $0,5 f_c'$)
3. Modulus sekan (garis potong modulus, pada 25%-50% dari f_c' , diambil sebagai modulus elastisitas)

Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai kuat tekan beton yaitu perencanaan, proporsi materialnya, proses pencampuran dan pematangan, serta proses *curing* di lapangan. Perencanaan proporsi material yaitu dari perbandingan agregat, semen, dan air yang digunakan.

Rongga-rongga pada beton *porous* menyebabkan nilai kuat tekannya lebih rendah dibanding beton konvensional. Akan tetapi dengan menurunkan kapasitas porositasnya, beton *porous* dapat mencapai kuat tekan yang relatif besar. Kekuatan beton *porous* akan berkurang seiring dengan meningkatnya porositas, dan kekuatan tekan beton *porous* yang menggunakan RCA lebih rendah daripada beton *porous* yang menggunakan NCA (Sriravindrarajah et al., 2012).

Faktor air semen sangat penting untuk menentukan kekuatan beton karena mempengaruhi seberapa baik lapisan pasta semen membungkus dan merekatkan agregat. Penggunaan air yang berlebih menjadikan pasta semen menutupi pori-pori beton dan dapat menambah kekuatan beton, akan tetapi penggunaan air yang terlalu banyak juga dapat mengakibatkan pasta terlalu cair sehingga melemahkan fungsi semen yang mengikat antar agregat. Tetapi apabila kurang air, membuat pasta semen terlalu kering sehingga tidak menyatu sempurna dengan agregat.

Berdasarkan ACI 522R-10 tentang beton *porous*, biasanya kuat tekan beton *porous* sebesar 2,8 Mpa sampai 28 Mpa. Hal itu menyebabkan beton *porous* memiliki aplikasi yang terbatas karena kuat tekannya yang lebih kecil dibanding beton konvensional. Biasanya, beton *porous* digunakan untuk perkerasan pada beban lalu lintas yang ringan seperti lapangan parkir, area rekreasi, trotoar, dan lain-lain.

Menurut PBI 1971, pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Pengujian pada umur 7, 14 dan 21 hari adalah agar hasil uji kuat tekan beton dapat di pantau tingkat perkembangan kenaikan kuat tekan beton secara bertahap dan kuat tekan beton paling tinggi biasanya dicapai pada umur ke 28 hari.

2.6 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka di atas, dapat diambil hipotesis sebagai berikut:

1. Semakin besar presentase penggunaan RCA, maka semakin kecil nilai kuat tekan beton *porous* yang dihasilkan.
2. TSMA dapat meningkatkan kuat tekan beton *porous* hingga 20% peningkatannya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil FT-UB. Waktu penelitian yang dilaksanakan pada Semester Genap tahun ajaran 2016-2017.

3.2 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan adalah variabel kontrol, variabel bebas dan variabel terikat. Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau diupayakan agar tetap sama setiap pengujian. Variabel bebas atau variabel *independent* adalah variabel yang dapat mempengaruhi perubahan atau timbulnya variabel terikat. Variabel bebas berfungsi sebagai acuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap variabel lain. Sedangkan variabel terikat atau variabel *dependent* adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1
Variabel Penelitian

Pengujian	Pengujian Kuat Tekan Beton Porous
Variabel Kontrol	<ol style="list-style-type: none">1. FAS 0,3.2. Ukuran agregat kasar 0,5 sampai 1 cm.3. Benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.4. Cetakan dilepas sehari setelah pengecoran.5. Perawatan benda uji beton direndam 7 hari di dalam air.6. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 28 hari.
Variabel Bebas	<ol style="list-style-type: none">1. Penggunaan RCA dengan prosentasi komposisi berbeda yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%.2. Penggunaan metode pencampuran yang berbeda yaitu TSMA dan NMA.
Variabel Terikat	Kuat Tekan

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Satu set ayakan untuk analisis agregat kasar.
2. Timbangan dengan kapasitas 150 kg dengan ketelitian 100 gr.
3. Timbangan dengan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gr.
4. Cetakan atau bekisting beton bentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.
5. Sendok semen.
6. Talam.
7. Jangka sorong.
8. Mistar pengukur.
9. Mesin pencampur beton (*concrete mixer*).
10. *Compressing Testing Machine* (CTM)

3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar alam (NCA)
2. Agregat kasar daur ulang (RCA)
3. Semen PPC
4. Air PDAM Kota Malang.

3.4 Analisis Bahan

3.4.1 Agregat

Agregat yang digunakan adalah agregat kasar alam dan agregat kasar daur ulang. Persentase komposisi RCA yang akan digunakan yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap NCA. Ukuran agregat yang digunakan yaitu dengan gradasi 0,5 sampai 1 cm. Pengujian meliputi berat isi, berat jenis, dan penyerapan air berdasarkan standar ASTM C-33.

3.4.2 Semen

Semen yang digunakan yaitu *Portland Pozzolan Cement* (PPC) jenis 1 merk Semen Gresik. Semen harus dalam keadaan baik dan layak untuk digunakan, tidak dalam keadaan mengeras atau menggumpal.

3.4.3 Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini merupakan air yang berasal dari PDAM Kota Malang.

3.4.4 Beton

Pengujian beton meliputi berat isi dan kuat tekan.

3.5 Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan beton berbentuk silinder dengan variasi sampel sebagai berikut:

1. Faktor A = Komposisi RCA terhadap NCA.
2. Faktor C = Metode Pencampuran TSMA dan NMA.

Uji tekan beton dilaksanakan untuk mengetahui pengaruh komposisi RCA dan metode pencampuran terhadap kuat tekan beton *porous*. Benda uji atau campuran dicetak menggunakan silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dan diuji pada umur beton 28 hari. Faktor-faktor yang digunakan dalam penelitian uji kuat tekan terdapat pada

Tabel 3.2.

Tabel 3.2
Faktor Benda Uji Kuat Tekan

Faktor	Taraf/Level	Keterangan
A (Komposisi RCA terhadap NA)	a0	0%
	a1	25%
	a2	50%
	a3	75%
	a4	100%
B (Metode Pencampuran)	c0	NMA
	c1	TSMA

Tabel 3.3
Variasi Benda Uji Kuat Tekan

	a0	a1	a2	a3	a4
c0	a0c0	a1c0	a2c0	a3c0	a4c0
c1	a0c1	a1c1	a2c1	a3c1	a4c1

3.6 Pengujian Material

3.6.1 Pengujian Berat Isi Agregat Kasar

Cara pengujian berat isi untuk agregat kasar alam dan agregat kasar daur ulang adalah sama. Menurut ASTM C-33, rata-rata berat isi agregat normalnya 2400 kg/m³ sampai 2900 kg/m³.

A. Alat dan Bahan

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1% dari berat contoh.
2. Cawan.
3. Agregat kasar.
4. Air.

B. Pelaksanaan Pengujian

1. Cuci benda uji agregat kasar.
2. Keringkan benda uji di dalam oven pada suhu 110° C sampai beratnya tetap.
3. Timbang berat cawan yang akan digunakan.
4. Masukkan benda uji pada cawan dengan merata, kemudian timbang.
5. Timbang berat air pada cawan.

C. Perhitungan dan Hasil Pengujian

B_c = Berat cawan (kg)

B_a = Berat cawan + agregat kasar (kg)

B_w = Berat cawan + air (kg)

ρ air = 1000 kg/m³

$$\text{Volume (V)} = \frac{B_w - B_c}{\rho_{\text{air}}} \dots\dots\dots(3-1)$$

$$\text{Berat isi agregat } (\rho) = \frac{B_a - B_c}{V} \dots\dots\dots(3-2)$$

Hasil pengujian berat isi akan dicatat pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3.4
Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar

Nomor Contoh			A	B
Berat cawan	Bc	(kg)		
Berat cawan + agregat kasar	Ba	(kg)		
Berat cawan + air	Bw	(kg)		

Nomor Contoh			A	B	Rata-rata
Volume	m ³	$Bw - Bc / \rho \text{ air}$			
Berat isi agregat kasar (ρ)	kg/m ³	$Ba - Bc / V$			

3.6.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Cara pengujian berat jenis dan penyerapan air untuk agregat kasar alam dan agregat kasar daur ulang adalah sama. Berat jenis agregat kasar adalah perbandingan berat agregat kasar dengan berat air suling yang mempunyai volume sama dengan agregat kasar. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan persentase berat air yang mampu diserap pori terhadap berat agregat kasar kering. Menurut ASTM C-33 disebutkan bahwa berat jenis agregat kasar umumnya berkisar antara 2,4 sampai 2,9 dan penyerapan air agregat kasar berkisar antara 0,2% sampai 4%.

A. Bahan

Agregat kasar dengan berat 5 kg dan agregat kasar yang tertahan oleh saringan 3/8”.

B. Alat

1. Timbangan dengan kapasitas 5000 gram dengan ketelitian 0,1% dari berat contoh yang ditimbang dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
2. Oven pengatur panas dengan kapasitas 110° C.
3. Saringan 3/8”.

C. Pelaksanaan Pengujian

1. Cuci benda uji agregat kasar.
2. Keringkan benda uji di dalam oven pada suhu 110° 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 benda uji dalam air pada suhu ruangan selama 24±4 jam.
5. Keluarkan benda uji, lap dengan lembaran penyerap air. Lakukan dengan hati-hati untuk menghindari penguapan air dari pori-pori agregat dalam mencapai kondisi SSD.
6. Timbang benda uji.
7. Letakan benda uji ke dalam keranjang dan masukkan ke dalam air. Goncangkan agregat untuk mengeluarkan udara dan menentukan beratnya di dalam air.

D. Perhitungan dan Hasil Pengujian

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)

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{(Bj-Ba)} \dots\dots\dots(3-3)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{Bj}{(Bj-Ba)} \dots\dots\dots(3-4)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{(Bk-Ba)} \dots\dots\dots(3-5)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(Bj- Bk)}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots(3-6)$$

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air akan dicatat pada **Tabel 3.5**.

Tabel 3.5
Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Nomor Contoh			A	B
Berat SSD	Bj	(gr)		
Berat Kering Oven	Bk	(gr)		
Berat dalam Air	Ba	(gr)		

Nomor Contoh			A	B	Rata-rata
BJ Bulk		Bk/(Bj-Ba)			
BJ SSD		Bj/(Bj-Ba)			
BJ Semu		Bk/(Bk-Ba)			
Penyerapan (%)		(Bj-Bk)/Bkx100%			

3.7 Pengujian Beton *Porous*

3.7.1 Proporsi Material

Proporsi material untuk penelitian ini mengacu pada standar ACI 522R-10 dengan kandungan udara yang disarankan 15% sampai 25%.

Tabel 3.6

Proporsi Material Beton Berpori (ACI 522R-10)

Material	Proporsi (kg/m ³)
Semen	270 – 415
Agregat	1190 -1480
*) Rasio air : semen	0,27 – 0,34
*) Rasio agregat : semen	4 – 4,5 : 1
*) Rasio pasir : agregat	0 – 1 : 1

*) Berdasarkan perbandingan berat

Dalam penelitian ini tidak digunakan pasir (agregat halus) sehingga rasio pasir : semen yaitu 0 : 1. Perbandingan untuk semen : air agregat yaitu 1 : 0,3 : 4.

Tabel 3.7

Kebutuhan Material Tiap *Mix Design*

No.	RCA	Benda Uji	Agregat Kasar (kg)	NCA (kg)	RCA (kg)	Semen (kg)	Air (kg)
1	0%	a0c0	102	102	0	25,5	7,7
2	25%	a1c0	102	76,5	25,5	25,5	7,7
3	50%	a2c0	102	51	51	25,5	7,7
4	75%	a3c0	102	25,5	76,5	25,5	7,7
5	100%	a4c0	102	0	102	25,5	7,7
6	25%	a1c1	102	76,5	25,5	25,5	7,7
7	50%	a2c1	102	51	51	25,5	7,7
8	75%	a3c1	102	25,5	76,5	25,5	7,7
9	100%	a4c1	102	0	102	25,5	7,7
Total			918	408	510	229,5	69,3

3.7.2 Pembuatan Benda Uji

A. *Normal Mixing Approach*

1. Setelah proporsi campuran dihitung, selanjutnya menimbang material sesuai dengan proporsi campuran yang telah direncanakan.
2. Semen, air, dan agregat dicampur dan dimasukkan ke dalam mesin pencampur beton.
3. Mesin dihidupkan sampai semua bahan tercampur rata.
4. Setelah itu, campuran beton dapat dicor ke dalam cetakan yang sudah dibersihkan dan dilumasi oli agar beton yang mengeras tidak menempel pada cetakan.
5. Campuran beton dimasukkan ke cetakan dalam dua lapis dan masing-masing lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata, dengan ketentuan:
 - a. Pada saat melakukan pemadatan lapisan pertama, tongkat pemadat tidak boleh mengenai dasar cetakan.
 - b. Pada lapisan kedua serta ketiga, tongkat pemadat boleh masuk kira-kira 25,4 mm (1 inci) ke dalam lapisan di bawahnya.
6. Setelah melakukan pemadatan, ketuk sisi cetakan perlahan sampai rongga bekas tusukan tertutup dan ratakan permukaan beton.
7. Benda uji dibiarkan dalam cetakan selama 24 jam dan diletakkan pada tempat yang bebas dari getaran.
8. Setelah 24 jam, cetakan dibuka dan beton dapat di-*curing*.

B. *Two-Stage Mixing Approach*

1. Setelah proporsi campuran dihitung, selanjutnya menimbang material sesuai dengan proporsi campuran yang telah direncanakan.
2. Air dan semen dibagi menjadi dua bagian yang proposional.
3. 50% pasta semen yang sudah dibagi dicampurkan terlebih dahulu dengan RCA dan diaduk untuk beberapa saat untuk membentuk ITZ.
4. 50% sisa pasta semen ditambahkan pada pencampuran akhir dengan NCA jika ada. Pada pencampuran ini pasta semen digunakan untuk mengikat agregat.
5. Mesin dihidupkan sampai semua bahan tercampur rata.
6. Setelah itu, campuran beton dapat dicor ke dalam cetakan yang sudah dibersihkan dan dilumasi oli agar beton yang mengeras tidak menempel pada cetakan.
7. Campuran beton dimasukkan ke cetakan dalam dua lapis dan masing-masing lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata. Benda uji dibiarkan dalam cetakan selama 24 jam, dengan ketentuan:

- a. Pada saat melakukan pemadatan lapisan pertama, tongkat pemadat tidak boleh mengenai dasar cetakan.
 - b. Pada lapisan kedua serta ketiga, tongkat pemadat boleh masuk kira-kira 25.4 mm (1 inchi) ke dalam lapisan di bawahnya.
8. Setelah melakukan pemadatan, ketuk sisi cetakan perlahan sampai rongga bekas tusukan tertutup dan ratakan permukaan beton.
 9. Benda uji dibiarkan dalam cetakan selama 24 jam dan diletakkan pada tempat yang bebas dari getaran.
 10. Setelah 24 jam, cetakan dibuka dan beton dapat di-*curing*.

3.7.3 Pengujian Berat Isi

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai kerapatan dan kepadatan beton *porous*. Berat isi merupakan perbandingan antara massa benda dengan volume benda. Pengujian dilakukan dengan menimbang berat benda uji dalam keadaan kering oven dan membaginya dengan volume benda uji.

$$\text{Berat isi } (\rho) = \frac{m_k}{V_b} \dots\dots\dots(3-7)$$

dengan:

M_k = Massa kering benda uji (kg)

V_b = Volume benda uji (m³)

Hasil pengujian berat isi beton *porous* akan dicatat form pengujian berat isi yang terdapat pada **Tabel 3.8**.

Tabel 3.8
 Hasil Pengujian Berat Isi Silinder Beton *Porous* pada umur 28 hari

No. Benda Uji	Massa benda uji (kg)	Dimensi		Volume Benda Uji (m ³)	Berat Isi (kg/m ³)	Keterangan
		T (mm)	D (mm)			
a0c0	(1)					
	(2)					
	(3)					
a1c1	(1)					
	(2)					
	(3)					
a2c1	(1)					
	(2)					
	(3)					
a3c1	(1)					
	(2)					
	(3)					
a4c1	(1)					
	(2)					
	(3)					
a1c0	(1)					
	(2)					
	(3)					
a2c0	(1)					
	(2)					
	(3)					
a3c0	(1)					
	(2)					
	(3)					
a4c0	(1)					
	(2)					
	(3)					

3.7.4 Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Benda uji direndam dalam bak perendam berisi air pada temperatur 25° C untuk pematangan (*curing*) hingga 7 hari umur beton. Proses *curing* ini dimaksudkan agar memaksimalkan mutu beton *porous* dan membantu proses hidrasi beton dengan menjaga kelembabannya.

3.7.5 Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan beton ialah besarnya gaya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur jika dibebani dengan gaya tertentu oleh mesin penguji. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh RCA dan metode pencampuran terhadap kuat tekan beton *porous*. Pada penelitian ini, benda uji yang dites kuat tekan pada umur 28 hari. Pelaksanaan pengujian kuat tekan berdasarkan standar ASTM C-39 (*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*).

A. Prosedur Pengujian

Adapun pelaksanaan pengujian yaitu sebagai berikut:

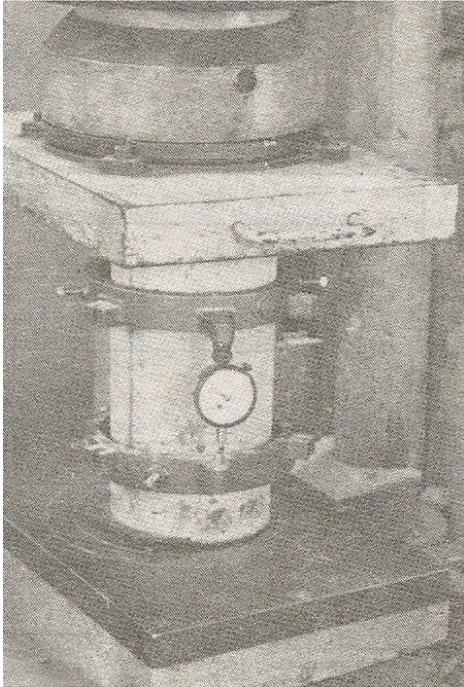
1. Meletakkan benda uji pada mesin penguji secara sentris.
2. Posisikan jarum skala gaya pada angka 0.
3. Menjalankan mesin penguji dengan penambahan beban yang konstan.
4. Lakukan pembebanan sampai benda uji hancur.
5. Catat beban maksimum yang mampu ditahan.

B. Perhitungan dan Hasil Pengujian

P = Beban maksimu (kg)

A = Luas bidang permukaan (cm²)

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3-8)$$



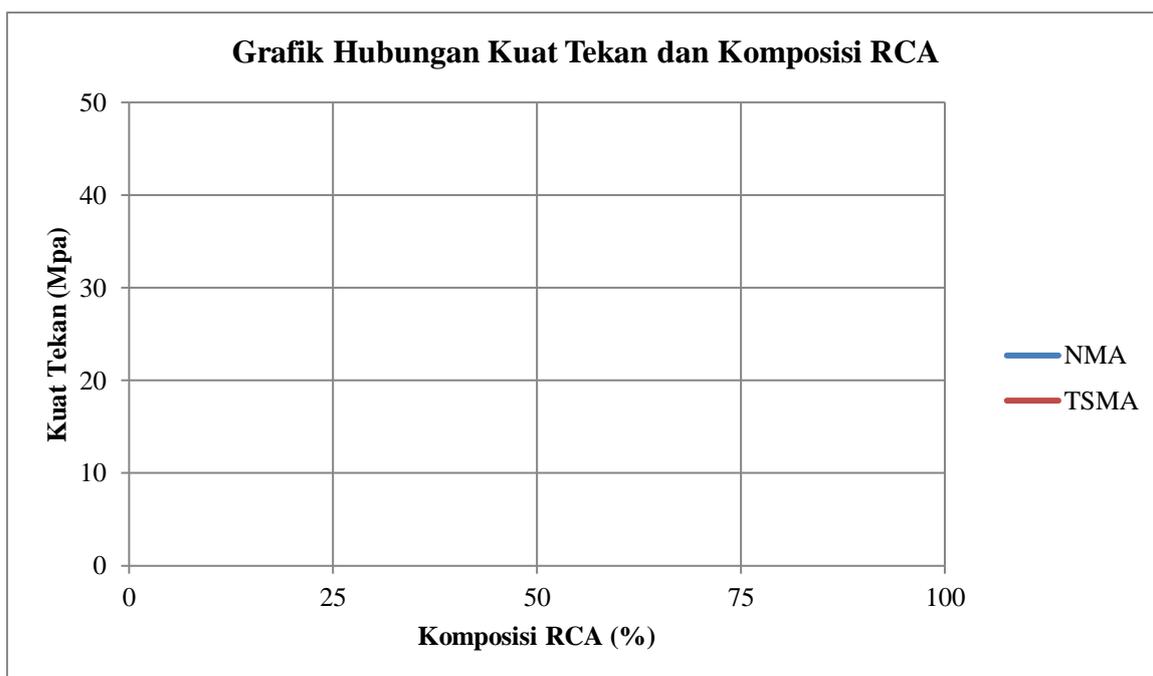
Gambar 3.1 Pengujian Kuat Tekan Beton
Sumber: Nawy (1990)

Hasil kuat tekan dari benda uji yang telah diuji akan dicatat pada tabel uji kuat tekan beton *porous* yang terdapat pada **Tabel 3.9**.

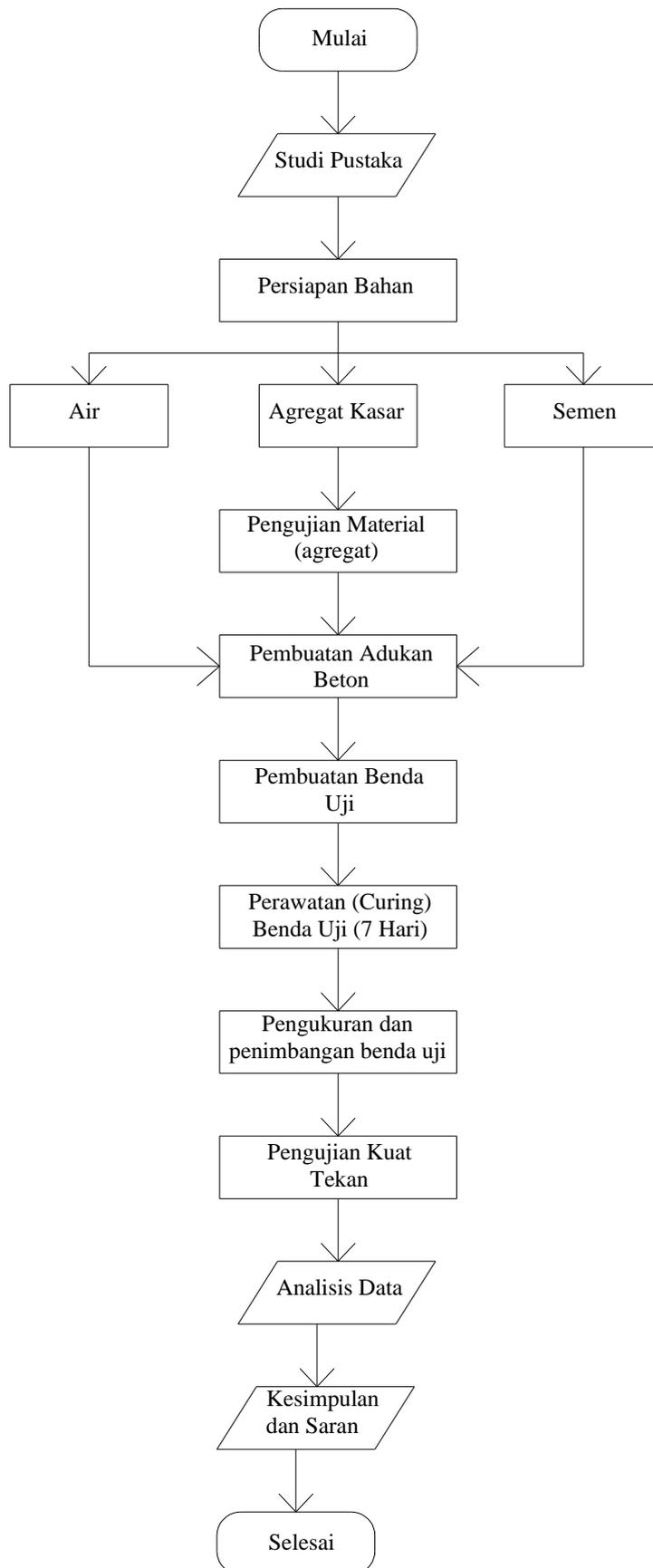
Tabel 3.9
Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton *Porous* Pada Umur 28 Hari

No. Benda Uji	Dimensi		Luas bidang (mm ²)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (Mpa)	Keterangan
	L (mm)	D (mm)				
a0c0	(1)					
	(2)					
	(3)					
a1c1	(1)					
	(2)					
	(3)					
a2c1	(1)					
	(2)					
	(3)					
a3c1	(1)					
	(2)					
	(3)					

a4c1	(1)						
	(2)						
	(3)						
a1c0	(1)						
	(2)						
	(3)						
a2c0	(1)						
	(2)						
	(3)						
a3c0	(1)						
	(2)						
	(3)						
a4c0	(1)						
	(2)						
	(3)						



3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Skema Metode Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Pembahasan Pengujian Material

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari material yang digunakan, yaitu agregat kasar alam (NCA) dan agregat kasar daur ulang (RCA). Pengujian meliputi berat isi, berat jenis, dan penyerapan air agregat kasar berdasarkan standar ASTM C-33.

4.1.1 Berat isi Agregat Kasar Alam (NCA)

Pengujian yang dilakukan pada agregat kasar alam yaitu berat isi, berat jenis dan penyerapan air. Agregat kasar alam yang digunakan sudah ditentukan dengan ukuran antara 0,5 cm sampai 1 cm (lolos ayakan 3/8 dan tertahan ayakan no. 4), sehingga tidak dilakukan pengujian terhadap gradasi agregat. Hasil pengujian berat isi pada agregat kasar alam ditunjukkan pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1

Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar Alam (NCA)

Nomor Contoh			NCA
Berat cawan	Bc	(kg)	1,05
Berat cawan + agregat kasar	Ba	(kg)	4,15
Berat cawan + air	Bw	(kg)	3,1

Nomor Contoh			
Volume	m ³	$Bw - Bc / \rho \text{ air}$	0,00205
Berat isi agregat kasar (ρ)	kg/m ³	$Ba - Bc / V$	1512,2

Dari hasil pengujian berat isi diatas, didapatkan berat isi agregat kasar alam (NCA) yaitu 1512,2 kg/m³. Nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan berat isi agregat kasar yang normalnya berkisar antara 2400 kg/m³ sampai 2900 kg/m³.

4.1.2 Berat isi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

Hasil pengujian berat isi pada agregat kasar daur ulang ditunjukkan pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2

Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

Nomor Contoh			RCA
Berat cawan	Bc	(kg)	1,05
Berat cawan + agregat kasar	Ba	(kg)	4,05
Berat cawan + air	Bw	(kg)	3,1

Nomor Contoh			
Volume	m ³	$Bw - Bc / \rho \text{ air}$	0,00205
Berat isi agregat kasar (ρ)	kg/m ³	$Ba - Bc / V$	1463,41

Dari hasil pengujian berat isi diatas, didapatkan berat isi agregat kasar daur ulang (RCA) yaitu 1463,41 kg/m³, dimana nilai ini lebih kecil dibandingkan berat isi agregat kasar alam yang mempunyai nilai 1512,2 kg/m³. Berat isi agregat kasar daur ulang lebih kecil dibandingkan dengan berat isi agregat kasar yang normalnya berkisar antara 2400 kg/m³ sampai 2900 kg/m³.

4.1.3 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar Alam (NCA)

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar alam ditunjukkan pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3

Hasil Pengujian Agregat Kasar Alam (NCA)

Nomor Contoh			A	B	C	D	E
Berat SSD	Bj	(gr)	5000	5000	5000	5000	5000
Berat Kering Oven	Bk	(gr)	4364,4	4357,8	4452,6	4380	4314,4
Berat dalam Air	Ba	(gr)	2815	2818	2870	2819	2806

Nomor Contoh			A	B	C	D	E	Rata-rata
BJ Bulk	Bk/(Bj-Ba)		1,997	1,997	2,090	2,008	1,966	2,0119
BJ SSD	Bj/(Bj-Ba)		2,288	2,291	2,347	2,293	2,279	2,2997
BJ Semu	Bk/(Bk-Ba)		2,817	2,830	2,813	2,806	2,860	2,8253
Penyerapan (%)	(Bj-Bk)/Bkx100%		14,563	14,737	12,294	14,155	15,891	14,328

Dari hasil pengujian berat jenis diatas, didapat berat jenis SSD yaitu 2,288; 2,291; 2,347; 2,293; dan 2,279. Nilai berat jenis yang digunakan yaitu berat jenis SSD rata-rata dengan nilai 2,299. Nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan berat jenis SSD agregat kasar yang normalnya berkisar antara 2,4 sampai 2,9.

Berat jenis agregat kering (BJ Bulk) rata-rata lebih kecil daripada berat jenis SSD rata-rata dengan nilai 2,0119. Hal ini dikarenakan agregat kasar alam mengalami penurunan kandungan air pada saat dikeringkan. Sebaliknya, berat jenis semu rata-rata lebih besar dibandingkan berat jenis SSD rata-rata dengan nilai 2,8253 karena adanya penyerapan air oleh agregat kasar alam saat dimasukkan dalam air dan menyebabkan kandungan air dalam agregat meningkat.

Sedangkan hasil penyerapan air yang didapat dari pengujian yaitu 14,563%; 14,737%; 12,294%; 14,155%; dan 15,891%. Nilai penyerapan air rata-rata yaitu 14,328%. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan agregat kasar alam dalam menyerap air dari keadaan kering oven sampai kering jenuh permukaan (SSD) sangat besar, yaitu sebesar 14,328% dari berat kering agregat itu sendiri. Nilai penyerapan air agregat kasar alam jauh lebih besar dibandingkan dengan penyerapan air agregat kasar yang normalnya berkisar antara 0,2% sampai 4%.

4.1.4 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

Pengujian yang dilakukan pada agregat kasar daur ulang sama dengan agregat kasar alam, dengan ukuran yang sama pula yaitu 0,5 cm sampai 1 cm (lolos ayakan 3/8 atau tertahan ayakan no. 4). Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar daur ulang ditunjukkan pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4
Hasil Pengujian Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

Nomor Contoh			A	B	C
Berat SSD	Bj	(gr)	5000	5000	2000
Berat Kering Oven	Bk	(gr)	4750	4700	1924,8
Berat dalam Air	Ba	(gr)	2958,7	2918,4	1222

Nomor Contoh			A	B	C	Rata-rata
BJ Bulk		$Bk/(Bj-Ba)$	2,327	2,258	2,474	2,353
BJ SSD		$Bj/(Bj-Ba)$	2,449	2,402	2,571	2,474
BJ Semu		$Bk/(Bk-Ba)$	2,652	2,638	2,739	2,676
Penyerapan (%)		$(Bj-Bk)/Bk \times 100\%$	5,263	6,383	3,907	5,184

Dari hasil pengujian berat jenis diatas, didapat berat jenis SSD yaitu 2,449; 2,402; dan 2,571. Nilai berat jenis yang digunakan yaitu berat jenis SSD rata-rata dengan nilai 2,474 dan dapat digolongkan sebagai agregat kasar normal karena masih berada dalam batas 2,4 sampai 2,9. Berat jenis agregat kering (BJ Bulk) rata-rata lebih kecil daripada berat jenis SSD rata-rata dengan nilai 2,353. Hal ini dikarenakan agregat kasar daur ulang mengalami penurunan kandungan air pada saat dikeringkan. Sebaliknya, berat jenis semu rata-rata lebih besar dibandingkan berat jenis SSD rata-rata dengan nilai 2,676 karena adanya penyerapan air oleh agregat kasar daur ulang saat dimasukkan dalam air dan menyebabkan kandungan air dalam agregat meningkat.

Sedangkan hasil penyerapan air yang didapat dari pengujian yaitu 5,263%; 6,383%; dan 3,907%. Nilai penyerapan air rata-rata yaitu 5,184%. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan agregat kasar daur ulang dalam menyerap air dari keadaan kering oven sampai kering jenuh permukaan (SSD) cukup besar, yaitu sebesar 5,184% dari berat kering agregat itu sendiri. Nilai penyerapan air agregat kasar daur ulang lebih besar dibandingkan dengan penyerapan air agregat kasar yang normalnya berkisar antara 0,2% sampai 4%.

Berat jenis SSD rata-rata agregat kasar daur ulang yaitu sebesar 2,474 lebih besar dibandingkan dengan berat jenis SSD rata-rata agregat kasar alam yang mempunyai nilai 2,299. Sedangkan penyerapan air agregat kasar daur ulang yaitu sebesar 5,184% lebih kecil dibandingkan dengan penyerapan air agregat kasar alam yang mempunyai nilai 14,328%. Dari hasil tersebut dapat diketahui karakteristik dan kualitas agregat kasar daur ulang lebih baik dibandingkan agregat kasar alam.

4.2 Rancang Campur dan Kebutuhan Material

Proporsi material untuk penelitian ini mengacu pada standar ACI 522R-10 dengan volume tiap 1 m³ adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5
Proporsi Material Beton *Porous*

Material	Proporsi berdasarkan ACI 522R-10 (kg/m ³)	Proporsi yang digunakan (kg/m ³)
Semen	270 – 415	350
Agregat	1190 -1480	1400
*) Rasio air : semen	0,27 – 0,34	0,3
*) Rasio agregat : semen	4 – 4,5 : 1	4
*) Rasio pasir : agregat	0 – 1 : 1	0

*) Berdasarkan perbandingan berat

Pada penelitian ini digunakan perbandingan air : semen : agregat kasar yaitu 0,3 : 1 : 4, sehingga semen dan agregat kasar ditetapkan 350 kg/m^3 dan 1400 kg/m^3 .

Tabel 4.6

Rekapitulasi Kebutuhan Material

No.	Material	Jumlah (kg)
1	Semen	255
2	AgregatKasarAlam	510
3	AgregatKasarDaurUlang	510

Faktor-faktor yang digunakan dalam penelitian uji kuat tekan terdapat pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7

Faktor Benda Uji Kuat Tekan

Faktor	Taraf/Level	Keterangan
A (Komposisi RCA terhadap NA)	a0	0%
	a1	25%
	a2	50%
	a3	75%
	a4	100%
B (Metode Pencampuran)	c0	NMA
	c1	TSMA

Tabel 4.8

Variasi Benda Uji Kuat Tekan

	a0	a1	a2	a3	a4
c0	a0c0	a1c0	a2c0	a3c0	a4c0
c1	a0c1	a1c1	a2c1	a3c1	a4c1

4.3 Hasil dan Pembahasan Pengujian Beton *Porous*

4.3.1 Berat Isi Beton *Porous*

Pengujian dimaksudkan untuk mengetahui kepadatan beton. Berat isi dapat diketahui dengan membandingkan antara massa benda uji dengan volume benda uji.

Tabel 4.9

Hasil Pengujian Berat Isi Silinder Beton *Porous* pada umur 28 hari

No. Benda Uji	Massa benda uji (kg)	Dimensi		Volume Benda Uji (m ³)	Berat Isi (kg/m ³)	Keterangan	
		T (mm)	D (mm)				
a0c0 / a0c1	(1)	9,7	300	149	0,00523	1855,27	NMA
	(2)	9,9	300	149	0,00523	1893,53	0% RCA
	(3)	10,55	300	149,8	0,00528	1997,69	100% NCA
	(4)	10,4	300	150	0,0053	1962,73	
a1c1	(1)	8,95	300	150,5	0,00533	1677,87	TSMA
	(2)	9,45	302	149	0,00525	1798,47	25% RCA
	(3)	9	300	148,5	0,00519	1733	75% NCA
a2c1	(1)	9,05	303	148,5	0,00524	1728,23	TSMA
	(2)	8,85	304	148,5	0,00525	1684,47	50% RCA
	(3)	8,85	302	149	0,00526	1681,49	50% NCA
a3c1	(1)	9	303	149	0,00527	1707,16	TSMA
	(2)	8,85	304	150	0,00536	1650,94	75% RCA
	(3)	9,2	305	148,5	0,00528	1742,47	25% NCA
a4c1	(1)	10,45	304	149	0,00529	1975,67	TSMA
	(2)	9,75	302	149	0,00525	1855,56	100% RCA
	(3)	9,9	304	148	0,00522	1897,07	0%NCA
a1c0	(1)	9	304	148,5	0,00526	1710,2	NMA
	(2)	9,15	304	148	0,00523	1750,47	25% RCA
	(3)	9,3	303	148	0,00521	1785,04	75% NCA
a2c0	(1)	9,75	305	146	0,0051	1910,42	NMA
	(2)	9,55	304	148	0,00523	1826,99	50% RCA
	(3)	9,35	305	149	0,00531	1761,9	50% NCA
a3c0	(1)	9,25	300	148,5	0,00518	1784,11	NMA
	(2)	9,15	302	148,5	0,00523	1750,22	75% RCA
	(3)	9,05	305	148,5	0,00528	1714,06	25% NCA
a4c0	(1)	9,65	303	148	0,0052	1855,28	NMA
	(2)	9,85	305	148	0,00524	1881,29	100% RCA
	(3)	9,85	304	147,5	0,00518	1900,31	0% NCA

Setiap variasi *mix design* dibuat tiga sampai empat benda uji dengan ukuran yang sama. Setelah pengecoran, campuran beton *porous* dicetak dengan bekisting silinder

dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, sehingga secara teoritis akan dihasilkan benda uji dengan volume 5303571 mm^3 atau $0,0053036 \text{ m}^3$. Pada saat pelaksanaan, setelah bekisting dilepas dan perawatan dilakukan selama 28 hari, masing-masing benda uji diukur diameter dan tingginya, serta ditimbang massanya, namun hasil menunjukkan perbedaan massa dan volume pada masing-masing benda uji tersebut.

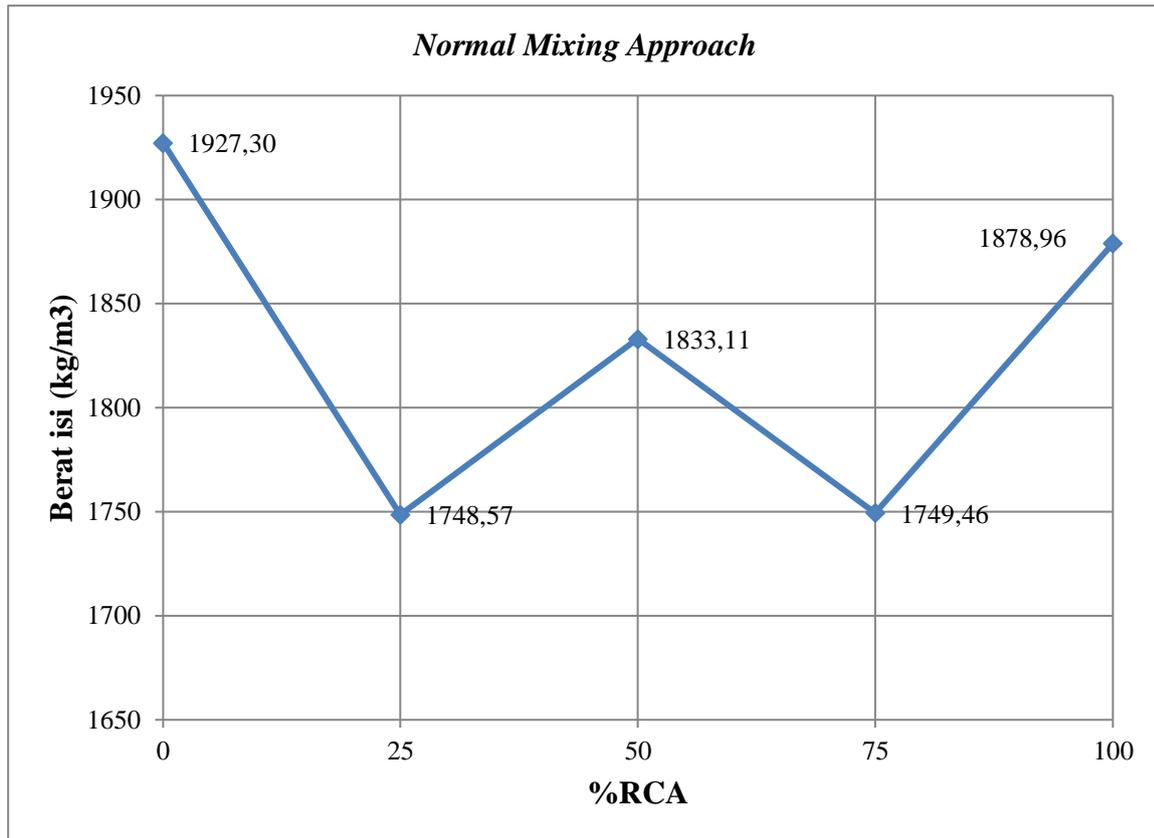
Contohnya pada *mix design* a3c1 dengan campuran RCA 75% dan NCA 25% serta dengan metode TSMA. Untuk benda uji nomor 1, 2, 3 memiliki volume berturut-turut yaitu $0,00527 \text{ m}^3$; $0,00536 \text{ m}^3$; dan $0,00528 \text{ m}^3$ serta massa benda uji 1, 2, 3 berturut-turut yaitu 9 kg; 8,85 kg; dan 9,2 kg. Sehingga berat isi masing-masing benda uji 1, 2, 3 berturut-turut yaitu $1707,16 \text{ kg/m}^3$; $1650,94 \text{ kg/m}^3$; $1742,47 \text{ kg/m}^3$. Dari contoh tersebut dapat diketahui bahwa *mix design* a3c1 nomor 3 memiliki berat isi paling besar dibandingkan dengan nomor 1 dan 2, hal ini menunjukkan bahwa benda uji a1c1 nomor 3 mempunyai kepadatan paling besar dibandingkan dengan nomor 1 dan 2.

Massa, volume, dan berat isi masing-masing benda uji berbeda, hal ini dapat disebabkan oleh berbagai hal seperti penyusutan beton, faktor pemadatan, ketidak telitian saat pengecoran, dan komposisi agregat yang tidak merata. Permukaan benda uji beton *porous* yang tidak rata juga dapat menyebabkan diameter dan tinggi masing-masing benda uji berbeda, sehingga volume masing-masing benda uji berbeda.

Tabel 4.10

Berat Isi Rata-rata Silinder Beton *Porous* dengan *Normal Mixing Approach*

NMA		
Benda Uji	RCA (%)	Berat Isi (kg/m ³)
a0c0	0	1927,30
a1c0	25	1748,57
a2c0	50	1833,11
a3c0	75	1749,46
a4c0	100	1878,96



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Berat Isi Rata-rata Silinder Beton *Porous* Dengan Persentase RCA Menggunakan Metode *Normal Mixing Approach*



Gambar 4.2 Benda Uji Silinder Beton *Porous* dengan Metode *Normal Mixing Approach*

Berdasarkan Tabel 4.10 dan Gambar 4.1 berat isi rata-rata terbesar beton *porous* metode NMA didapatkan pada *mix design a0c0* dengan campuran RCA sebesar 0%, dan rata-rata terkecil didapatkan pada *mix design a1c0* dengan campuran RCA 25%. Pada pengecoran campuran RCA 0%, proses pemadatan menggunakan vibrator sehingga pemadatannya menjadi sangat tinggi. Terjadi penurunan berat isi rata-rata dari campuran

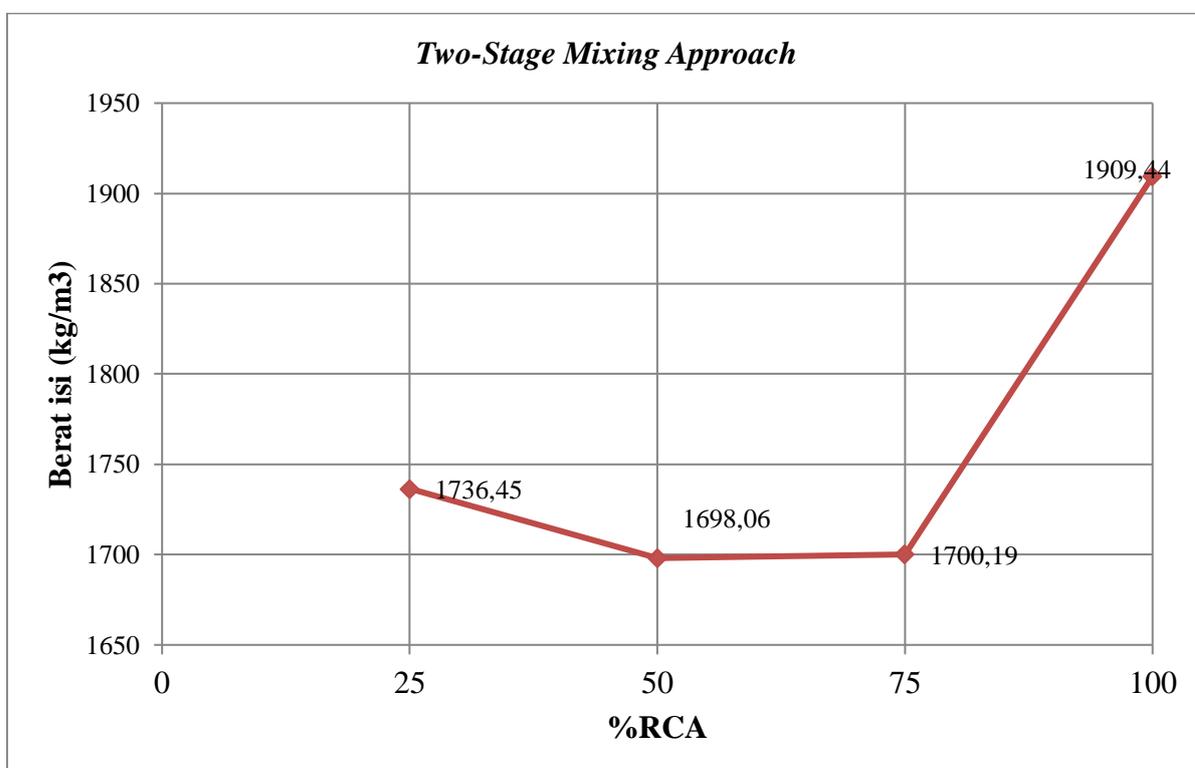
RCA 0% ke RCA 25%, dan kemudian meningkat pada *mix design* a2c0 dengan campuran RCA 50%. Pada saat pengecoran campuran RCA 50%, agregat kasar daur ulang yang digunakan sebagian lebih besar dari batas 0,5 cm sampai 1 cm, sehingga agregat yang lebih kecil dapat mengisi rongga antar agregat yang lebih besar dan menyebabkan pematatannya meningkat.

Berat isi rata-rata kemudian menurun pada *mix design* a3c0 dengan campuran RCA 75% dan meningkat kembali pada *mix design* a4c0 dengan campuran RCA 100% atau tanpa NCA. Hasil ini dikarenakan pengaruh bagaimana pematatan dilakukan saat pengecoran, tidak meratanya komposisi agregat, dan akibat kualitas agregat daur ulang (RCA) yang lebih baik dibanding agregat kasar alam (NCA).

Tabel 4.11

Berat Isi Rata-rata Silinder Beton *Porous* dengan *Two-Stage Mixing Approach*

TSMa		
Benda Uji	RCA (%)	Berat Isi (kg/m ³)
a1c1	25	1736,45
a2c1	50	1698,06
a3c1	75	1700,19
a4c1	100	1909,44



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Berat Isi Rata-rata Silinder Beton *Porous* Dengan Persentase RCA Menggunakan Metode *Two Stage Mixing Approach*



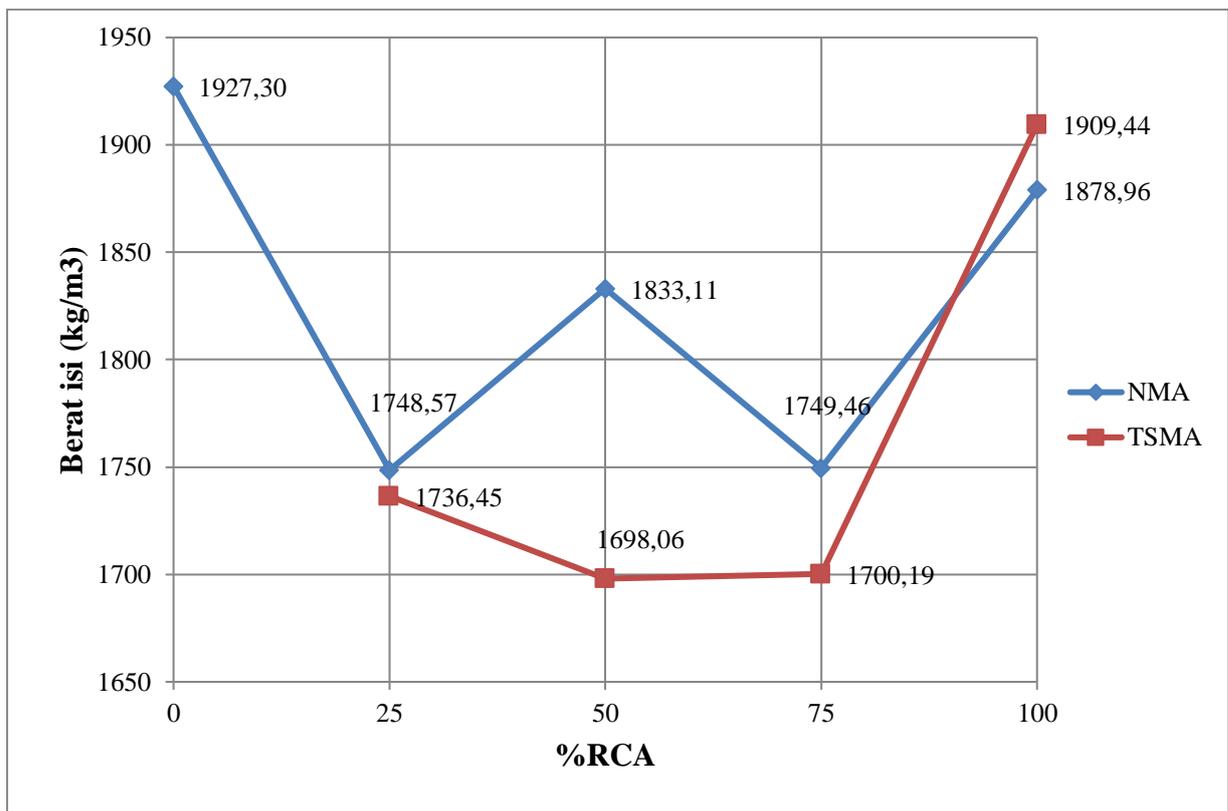
Gambar 4.4 Benda Uji Silinder Beton *Porous* dengan Metode *Two-Stage Mixing Approach*

Berdasarkan Tabel 4.11 dan Gambar 4.3 berat isi rata-rata terbesar beton *porous* metode TSMA didapatkan pada *mix design* a4c1 dengan campuran RCA sebesar 100%, dan rata-rata terkecil didapatkan pada *mix design* a2c1 dengan campuran RCA 50%. Berat isi rata-rata a0c1 atau campuran RCA 0% tidak dimasukkan dalam analisis karena tidak menggunakan metode TSMA. Metode TSMA hanya digunakan pada campuran yang menggunakan RCA, sehingga benda uji a0c1 sama dengan a0c0.

Dari grafik dapat terlihat bahwa terjadi penurunan berat isi rata-rata dari campuran RCA 25% ke campuran RCA 50% yang mempunyai berat isi paling kecil. Selanjutnya, berat isi rata-rata meningkat ke campuran RCA 75% hingga 100%. Hasil ini dikarenakan pengaruh bagaimana pemadatan dilakukan saat pengecoran dan akibat kualitas agregat daur ulang yang lebih baik dibanding agregat kasar alam. Seperti halnya pada saat pengecoran campuran RCA 100%, agregat kasar daur ulang yang digunakan sebagian lebih besar dari batas 0,5 cm sampai 1 cm, sehingga agregat yang lebih kecil dapat mengisi rongga antar agregat yang lebih besar dan menyebabkan pematatannya meningkat.

Tabel 4.12
Rekapitulasi Berat Isi Rata-rata Silinder Beton *Porous*

Benda Uji	RCA (%)	Berat Isi (kg/m ³)
a0c0/a0c1	0	1927,30
a1c0	25	1748,57
a2c0	50	1833,11
a3c0	75	1749,46
a4c0	100	1878,96
a1c1	25	1736,45
a2c1	50	1698,06
a3c1	75	1700,19
a4c1	100	1909,44



Gambar 4.5 Grafik Rekapitulasi Berat Isi Rata-rata Silinder Beton *Porous*

Perbedaan proses pengecoran antara benda uji yang menggunakan metode NMA dengan metode TSMA menghasilkan dampak yang berbeda terhadap masing-masing benda uji. Pada Gambar 4.5 dapat dilihat perbedaan antara hasil berat isi rata-rata beton *porous* yang menggunakan NMA dan TSMA, akan tetapi pola grafik tidak menunjukkan hasil signifikan antara penggunaan NMA dan TSMA. Hal ini dapat disebabkan berbagai

kekurangan antara lain ketidak telitian pengecoran, penyusutan beton, faktor pemadatan, komposisi agregat yang kurang merata antara ukuran 0,5 cm sampai 1 cm, dan kualitas agregat kasar daur ulang (RCA) yang lebih baik dari agregat kasar alam (NCA). Berat isi beton umumnya akan berbanding lurus dengan kekuatan beton.

4.3.2 Kuat Tekan Beton *Porous*

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh RCA dan metode pencampuran terhadap kuat tekan beton *porous*. Metode pencampuran yang berbeda diharapkan menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan metode yang sudah umum digunakan. Pada penelitian ini, beton *porous* diuji kuat tekan pada umur 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton porous dapat dilihat pada **Tabel 4.11**.

Tabel 4.13

Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton *Porous* pada umur 28 hari

No. Benda Uji	Dimensi		Luas bidang (mm ²)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (Mpa)	Keterangan	
	L (mm)	D (mm)					
a0c0 / a0c1	(1)	300	149	17427,8	81	4,65	NMA 0% RCA
	(2)	300	149	17427,8	92	5,28	
	(3)	300	149,8	17603,7	109	6,19	
	(4)	300	150	17662,5	100	5,66	
a1c1	(1)	300	150,5	17780,4	135	7,59	TSMA 25% RCA
	(2)	302	149	17427,8	142	8,15	
	(3)	300	148,5	17311	98	5,66	
a2c1	(1)	303	148,5	17311	142	8,20	TSMA 50% RCA
	(2)	304	148,5	17311	125	7,22	
	(3)	302	149	17427,8	107	6,14	
a3c1	(1)	303	149	17427,8	124	7,12	TSMA 75% RCA
	(2)	304	150	17662,5	106	6,00	
	(3)	305	148,5	17311	142	8,20	
a4c1	(1)	304	149	17427,8	275	15,78	TSMA 100% RCA
	(2)	302	149	17427,8	149	8,55	
	(3)	304	148	17194,6	191	11,11	
a1c0	(1)	304	148,5	17311	130	7,51	NMA 25% RCA
	(2)	304	148	17194,6	103	5,99	
	(3)	303	148	17194,6	134	7,79	
a2c0	(1)	305	146	16733,1	234	13,98	NMA 50% RCA
	(2)	304	148	17194,6	166	9,65	
	(3)	305	149	17427,8	167	9,58	

a3c0	(1)	300	148,5	17311	164	9,47	NMA 75% RCA
	(2)	302	148,5	17311	100	5,78	
	(3)	305	148,5	17311	122	7,05	
a4c0	(1)	303	148	17194,6	185	10,76	NMA 100% RCA
	(2)	305	148	17194,6	144	8,37	
	(3)	304	147,5	17078,7	154	9,02	

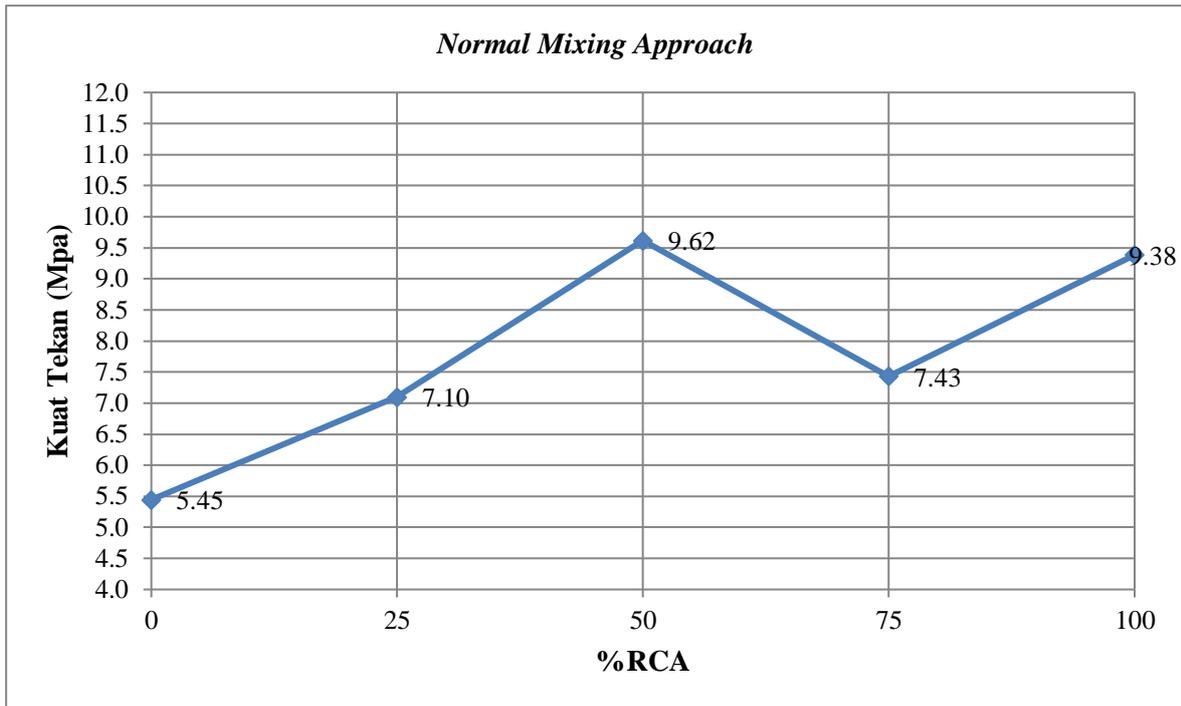
Setiap variasi *mix design* dibuat tiga sampai empat benda uji dengan ukuran yang sama. Perlu diperhatikan untuk mencari kuat tekan rata-rata pada setiap *mix design*, tidak harus dari semua benda uji, minimal 2 dari 3 benda uji per *mix design*. Dari data yang diperoleh, kemungkinan ada data yang jauh berbeda dari data lainnya atau disebut juga sebagai *outlier*.

Contohnya pada kuat tekan *mix design* a2c0 nomor (1), (2), (3) berturut-turut adalah 13,98; 9,65; dan 9,58. *Mix design* a2c0 nomor (1) memiliki kuat tekan yang jauh berbeda dari nomor (2) dan (3), sehingga untuk kuat tekan rata-rata *mix design* a1c1 hanya memakai data nomor (2) dan (3).

Tabel 4.14

Kuat Tekan Rata-rata Silinder Beton *Porous* dengan *Normal Mixing Approach*

NMA		
Benda Uji	RCA (%)	Kuat tekan (Mpa)
a0c0	0	5,45
a1c0	25	7,10
a2c0	50	9,62
a3c0	75	7,43
a4c0	100	9,38



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Kuat Tekan Rata-rata Silinder Beton *Porous* dengan Persentase RCA Menggunakan Metode *Normal Mixing Approach*



Gambar 4.7 Uji Tekan Benda Uji yang Menggunakan *Normal Mixing Approach*

Berdasarkan Tabel 4.14 dan Gambar 4.6 kuat tekan rata-rata terbesar beton *porous* dengan metode NMA didapatkan pada *mix design* a2c0 dengan campuran RCA 50% dan kuat tekan rata-rata terkecil didapatkan pada *mix design* a0c0 dengan campuran RCA 0%. Terlihat dari grafik bahwa terjadi peningkatan dari campuran RCA 0%, ke RCA 25%

hingga maksimum di RCA 50%, kemudian menurun saat RCA 75% dan meningkat kembali pada RCA 100%.

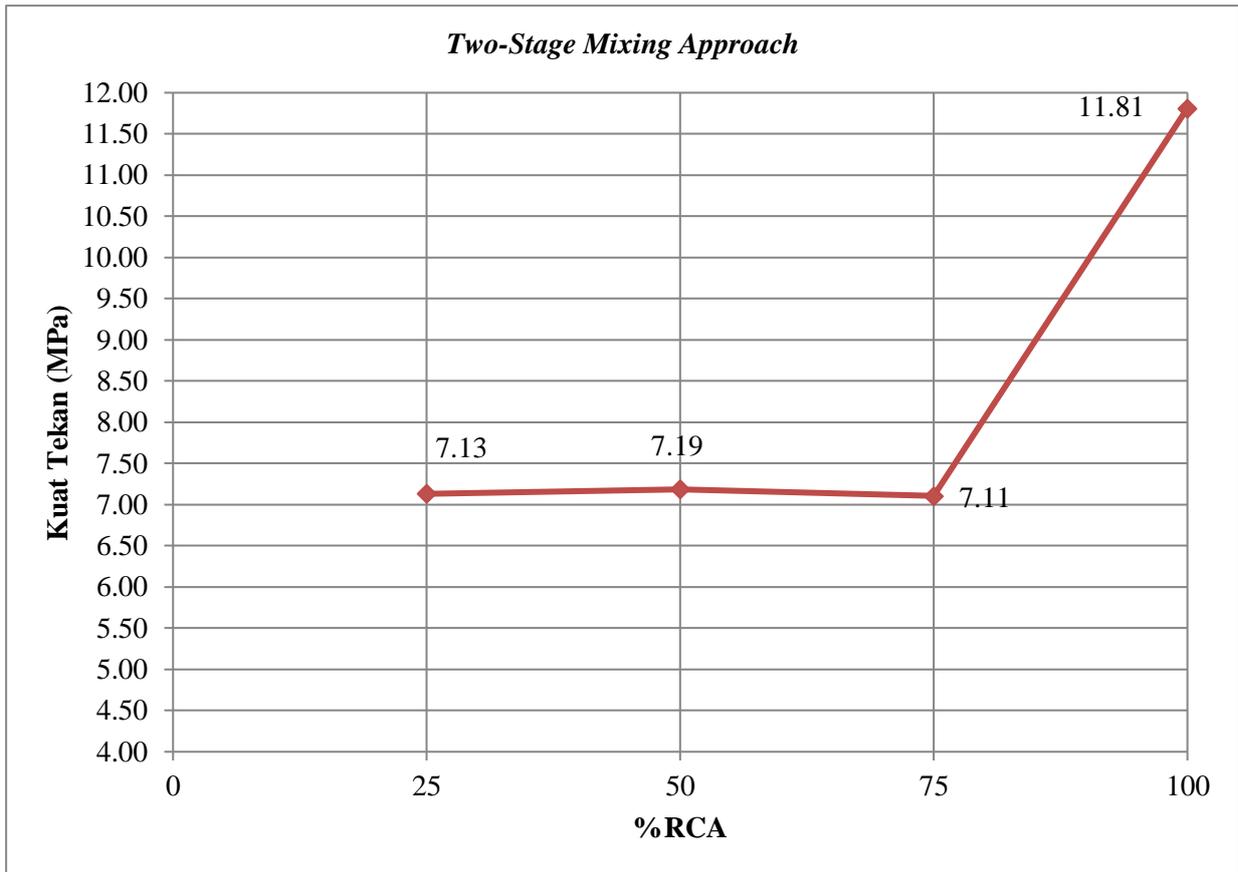
Pada *mix design* a0c0 dengan campuran RCA 0%, kualitas RCA yang lebih baik dari NCA menyebabkan kuat tekan a0c0 rendah. Penyerapan air agregat kasar alam yang lebih besar dari agregat kasar daur ulang menyebabkan rendahnya kuat tekan yang dihasilkan pada beton dengan campuran agregat kasar alam.

Pada campuran RCA 50%, 75%, dan 100% agregat kasar daur ulang yang digunakan sebagian lebih besar dari batas 0,5 cm sampai 1 cm, sehingga agregat yang lebih kecil dapat mengisi rongga antar agregat yang lebih besar dan menyebabkan kuat tekannya meningkat. Selain itu, ketidak teraturan hasil kuat tekan juga dapat disebabkan ketidak telitian saat pengecoran, faktor pemadatan, dan kualitas agregat kasar daur ulang (RCA) yang lebih baik daripada agregat kasar alam (NCA).

Tabel 4.15

Kuat Tekan Rata-rata Silinder Beton *Porous* dengan *Two Stage Mixing Approach*

TSMA		
Benda Uji	RCA (%)	Kuat tekan (Mpa)
a1c1	25	7,13
a2c1	50	7,19
a3c1	75	7,11
a4c1	100	11,81



Gambar 4.8 Grafik Kuat Tekan Rata-rata Silinder Beton *Porous* dengan *Two Stage Mixing Approach*



Gambar 4.9 Uji Tekan Benda Uji yang Menggunakan *Two-Stage Mixing Approach*

Berdasarkan Tabel 4.15 dan Gambar 4.8 kuat tekan rata-rata terbesar beton *porous* dengan metode TSMA didapatkan pada *mix design* a4c1 dengan campuran RCA 100% dan

kuat tekan rata-rata terkecil didapatkan pada *mix design* a3c1 dengan campuran RCA 75%. Terlihat dari grafik bahwa terjadi peningkatan dari campuran RCA 25% ke RCA 50% dan menurun pada RCA 75%, kemudian meningkat kembali hingga maksimum pada RCA 100%.

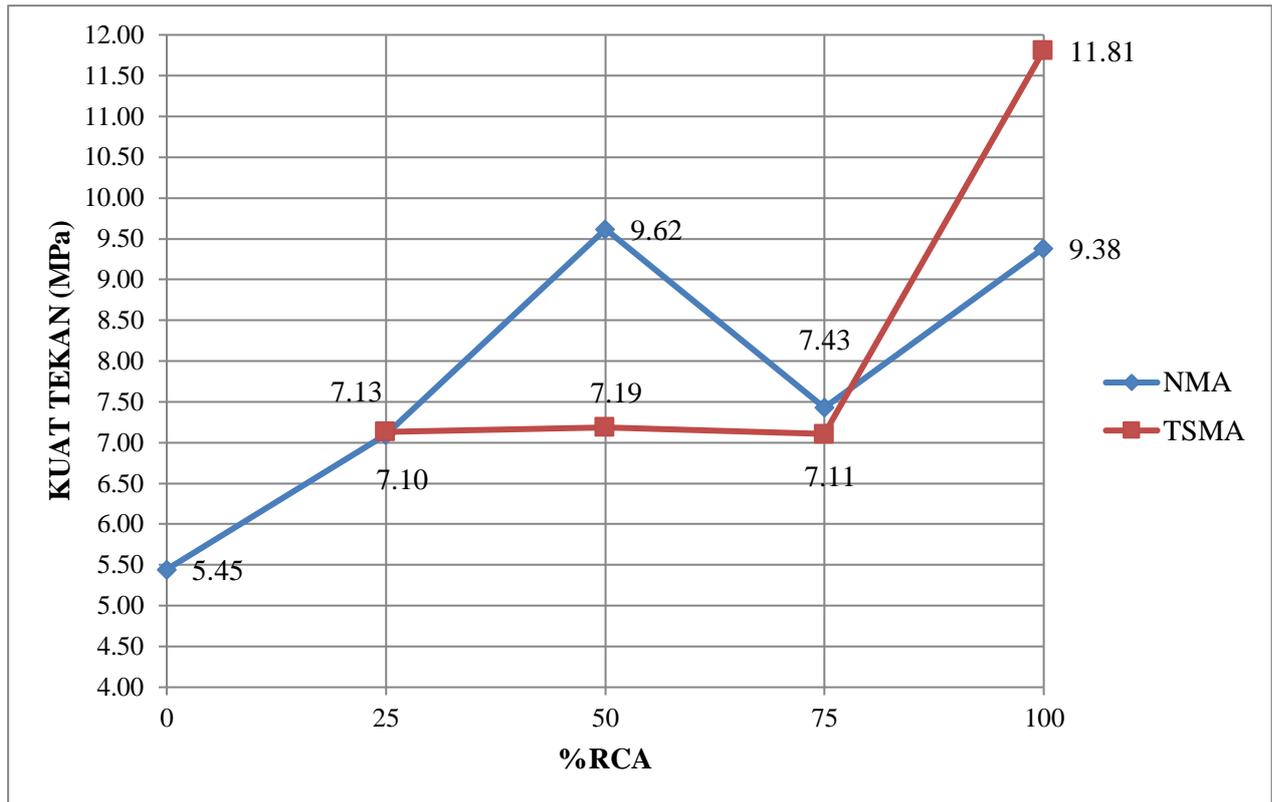
Pada *mix design* a0c1 dengan campuran RCA 0%, hasil tidak dimasukkan dalam analisis karena tidak memakai metode TSMA. Metode TSMA hanya digunakan pada RCA, sehingga benda uji yang digunakan pada a0c1 sama dengan benda uji a0c0.

Pada *mix design* a1c1, a2c1, dan a3c1 masing-masing memiliki campuran NCA 75%, 50% dan 25%. Penyerapan air agregat kasar alam yang lebih besar dari agregat kasar daur ulang menyebabkan rendahnya kuat tekan yang dihasilkan pada beton dengan campuran agregat kasar alam.

Pada campuran RCA 100%, agregat kasar daur ulang yang digunakan sebagian lebih besar dari batas 0,5 cm sampai 1 cm, sehingga agregat yang lebih kecil dapat mengisi rongga antar agregat yang lebih besar dan menyebabkan kuat tekannya meningkat. Ketidak teraturan hasil kuat tekan juga dapat disebabkan ketidak telitian saat pengecoran, faktor pemadatan, dan kualitas agregat kasar daur ulang (RCA) yang lebih baik daripada agregat kasar alam (NCA).

Tabel 4.16
Rekapitulasi Kuat Tekan Rata-rata Silinder Beton *Porous*

Benda Uji	RCA (%)	Kuat tekan (Mpa)
a0c0/ a0c1	0	5,45
a1c0	25	7,10
a2c0	50	9,62
a3c0	75	7,43
a4c0	100	9,38
a1c1	25	7,13
a2c1	50	7,19
a3c1	75	7,11
a4c1	100	11,81



Gambar 4.10 Grafik Rekapitulasi Kuat Tekan Rata-rata Silinder Beton *Porous*

Pengecoran dengan metode berbeda, menghasilkan nilai kuat tekan yang berbeda pula. Pada Gambar 4.10 dapat dilihat perbedaan antara kuat tekan beton *porous* dengan NMA dan TSMA, akan tetapi pola grafik tidak menunjukkan hasil yang signifikan antara penggunaan metode NMA dan TSMA. Selain pada campuran RCA 0%, grafik kuat tekan di atas menunjukkan pola yang sama dengan grafik berat isi beton *porous* pada campuran RCA 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hal ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton *porous* berbanding lurus dengan berat isinya. Pada penelitian ini, kuat tekan beton *porous* telah memenuhi standar ACI 522R-10 tentang beton *porous* yang kuat tekannya antara 2,8 Mpa sampai 28 Mpa.

Dari grafik dapat dilihat pula metode TSMA meningkatkan kekuatan beton sekitar 2% sampai 8% pada campuran RCA 25% dan RCA 100%. Dari perbandingan NMA dan TSMA pada RCA 100%, TSMA terbukti meningkatkan kuat tekan beton *porous*, karena semua agregat yang digunakan adalah agregat kasar daur ulang. Berbeda halnya dengan benda uji yang menggunakan campuran agregat kasar alam, nilai kuat tekan dipengaruhi oleh kualitas agregat yaitu penyerapan air agregat kasar alam yang lebih besar dari agregat kasar daur ulang, sehingga hasil yang diperoleh pun tidak signifikan.

Metode TSMA tidak berpengaruh pada campuran RCA 50% dan 75%, hal ini dapat disebabkan karena pada saat pengecoran dengan metode NMA, agregat kasar daur ulang

yang digunakan sebagian lebih besar dari batas 0,5 cm sampai 1 cm, sehingga agregat yang lebih kecil dapat mengisi rongga antar agregat yang lebih besar. Sedangkan pada pengecoran dengan metode TSMA campuran RCA 50% dan 75%, agregat kasar daur ulang dan agregat kasar alam yang digunakan merata dari 0,5 cm sampai 1 cm, sehingga hasil yang didapat yaitu pada campuran RCA 50% dan RCA 75% metode NMA kuat tekannya lebih besar dibanding dengan TSMA. Selain itu, perbandingan hasil kuat tekan yang tidak signifikan juga dapat disebabkan ketidak telitian saat pengecoran dan faktor pemadatan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisis data serta pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Karakteristik dari agregat kasar alam (NCA) dan agregat kasar daur ulang (RCA) berpengaruh terhadap kuat tekan yang dihasilkan. Dari pengujian agregat kasar didapatkan nilai berat jenis agregat kasar daur ulang sebesar 2,474 lebih besar dibandingkan dengan berat jenis agregat kasar alam yang mempunyai nilai 2,299. Sedangkan nilai penyerapan air agregat kasar daur ulang sebesar 5,184% lebih kecil dibandingkan dengan agregat kasar alam yang mempunyai nilai penyerapan air sebesar 14,328%. Sehingga dapat diketahui bahwa agregat kasar daur ulang memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan agregat kasar alam dan menyebabkan peningkatan kuat tekan benda uji yang menggunakan agregat kasar daur ulang. Kuat tekan beton *porous* dengan penambahan jumlah agregat kasar daur ulang lebih besar dibandingkan dengan beton *porous* yang hanya menggunakan agregat kasar alam. Akan tetapi, hasil penelitian menunjukkan kadar persentase agregat kasar daur ulang yang digunakan tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton *porous*. Selain disebabkan oleh kualitas agregat kasar daur ulang yang lebih baik dari agregat kasar alam, proses bagaimana pengecoran dan pemadatan, serta tidak meratanya komposisi agregat juga memengaruhi beragamnya hasil kuat tekan.
2. Hasil berat isi yang didapat menunjukkan pola yang sama dengan kuat tekannya, sehingga kuat tekan beton *porous* berbanding lurus dengan berat isinya. TSMA menunjukkan peningkatan kuat tekan sekitar 2% sampai 8% pada persentase RCA 25% dan RCA 100%. Dari perbandingan NMA dan TSMA pada RCA 100%, TSMA terbukti meningkatkan kuat tekan beton *porous*, karena semua agregat yang digunakan adalah agregat kasar daur ulang. Berbeda halnya dengan benda uji yang menggunakan campuran agregat kasar alam, nilai kuat tekan dipengaruhi oleh kualitas agregat yaitu penyerapan air agregat kasar alam yang lebih besar dari agregat kasar daur ulang, sehingga hasil yang diperoleh pun tidak signifikan.
3. Berdasarkan hasil penelitian, pada beton *porous* yang menggunakan metode NMA, kuat tekan rata-rata tertinggi didapatkan pada persentase RCA 50% dengan nilai 9,62

Mpa sedangkan pada beton *porous* yang menggunakan metode TSMA kuat tekan tertinggi didapatkan pada persentase RCA 100% dengan nilai 11,81 Mpa. Sehingga nilai kuat tekan yang tertinggi yaitu pada komposisi RCA 100% dengan metode TSMA. Pengaruh terhadap kuat tekan yang tidak signifikan menyebabkan tidak dapat diperoleh komposisi optimum dari penggunaan RCA dengan metode TSMA dan NMA. Kuat tekan beton *porous* pada penelitian ini memenuhi standar ACI 522R-10 tentang beton *porous* yang kuat tekannya antara 2,8 Mpa sampai 28 Mpa.

5.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut, adapun saran yang dapat diberikan sebagai perbaikan, adalah:

1. Kekurangan pada penelitian ini yaitu pemilihan NCA yang kualitasnya lebih rendah dari RCA, sehingga pengaruh persentase RCA dan metode TSMA tidak signifikan. Pada penelitian selanjutnya, diharapkan dapat menggunakan NCA yang kualitasnya lebih baik dari RCA.
2. Tiap *mix design* sebaiknya dibuat lebih dari 3 benda uji sehingga hasil rata-rata yang didapat lebih akurat.
3. Kesalahan-kesalahan pada saat pelaksanaan seperti kelebihan penambahan air dan ketidak telitian saat pengecoran harusnya dapat dihindari.
4. Proses pemadatan tiap benda uji sebaiknya dengan perlakuan yang sama dan sesuai dengan prosedur agar hasil yang didapat lebih signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 522. (2010). *Report on Pervious Concrete 522R-10*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- Arifi, E. (2015). *Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen Parsial Untuk Meningkatkan Performa Beton Agregat Daur Ulang*. *Rekayasa Sipil*. IX (3) 229-235.
- ASTM C-125 (1995). *Standard Definition of Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregate*. ASTM International.
- ASTM C-150 (1985). *Standard Specification for Portland Cement*. Annual Books of ASTM Standard.
- ASTM C-33 (2002). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. ASTM International.
- Murdock, L. J. & Brook, K. M. (1986). *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Badan Standarisasi Nasional. *SNI 1969-2008 Cara Uji Berat Jenis & Penyerapan Air Agregat Kasar*.
- Departemen Pekerjaan Umum: SNI 03-2834-2000. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Departemen Pekerjaan Umum: SNI 03-2847-2002. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Departemen Pekerjaan Umum: SNI 03-1974-1990. (1990). *Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Ditjen Cipta Karya. (1971). *Peraturan Beton Indonesia Tahun 1971*. Jakarta: Ditjen Cipta Karya.
- El-Reedy, M. A. (2009). *Advanced Materials and Techniques for Reinforced Concrete Structures*. Dunfermline, UK: CRC Press.
- Ferguson, B. K. (2005). *Porous Pavements*. USA: Taylor and Francis Group.
- McCormac, J. C. (2004). *Desain Beton Bertulang*, Edisi kelima. Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Nawy, E. G. (2008). *Beton Bertulang: Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT Refika Aditama.
- Nurlina, S. (2008). *Struktur Beton*. Malang: Bargie Media.
- SK SNI T15-1990-03. (1991). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.
- Sriravindrarajah, 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.
- Suharwanto. (2005). *Perilaku Mekanik Beton Agregat Daur Ulang: Aspek Material-Struktural*. Bandung: Perpustakaan ITB.
- Tam, W. Y. V., Gao, X. F. & Tam, C. M. (2005). *Microstructural Analysis Of Recycled Aggregate Concrete Produced From Two-Stage Mixing Approach*. *Cement and Concrete Research Journal*.

Tam, W. Y. V., Tam, C. M., & Wang, Y. (2007). *Optimization on Proportion for Recycled Aggregate in Concrete Using Two-Stage Mixing Approach*. Construction and Building Materials Journal.