

**PENGARUH PENGGUNAAN *SBR LATEX* TERHADAP KUAT
TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON POROUS
DENGAN MENGGUNAKAN RCA (*RECYCLED COARSE
AGGREGATE*)**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



JULIUS SIREGAR

NIM. 165060100111017

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2021

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PENGGUNAAN SBR LATEX TERHADAP KUAT TEKAN DAN
MODULUS ELASTISITAS BETON POROUS DENGAN MENGGUNAKAN RCA**

(RECYCLED COARSE AGGREGATE)

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan

Memperoleh gelar Sarjana Teknik



JULIUS SIREGAR

NIM. 165060100111017

Skrripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pada tanggal 28 JULI 2021

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Ir. Eva Arifi, ST., MT

NIK. 2010027712032001

Dr. Eng. Desv Setvowulan, ST., M.Sc.

NIK. 2011028412032001

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1



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

NIP. 19810220 200604 1 002



TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 010/UN10.F07.11.11/PP/2021

Sertifikat ini diberikan kepada :

JULIUS SIREGAR

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH PENGGUNAAN SBR LATEX TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS
ELASTISITAS BETON POROUS DENGAN MENGGUNAKAN RCA (RECYCLED COARSE AGGREGATE)**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 19 Agustus 2021



Jurusan Teknik Sipil

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

Alwafi Puji Cahario, ST, MI

Dr. Eng. Indradi Yumatiko, ST, M.Eng [Prac]

NIP. 19700829 200012 1 001

NIP. 19810220 200604 1 002



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Mayjend Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia
Telp.: +62-341-587710, 587711; Fax : +62-341-551430
<http://teknik.ub.ac> E-mail : teknik@ub.ac.id

SURAT KEPUTUSAN

Nomor : 1006/UN10.F07/KP/2021

Tentang

Pengangkatan Anggota Majelis Penguji Ujian Akhir
Jurusan Teknik Sipil

NO	NAMA MAHASISWA	NIM MAHASISWA	TGL UJIAN
1	Julius Siregar	165060100111017	23 Juni 2021
2	Fani Natasa	175060101111002	23 Juni 2021

DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Mengingat : SK Dekan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya : 192/J10.1.31/SK/2011

MEMUTUSKAN

Menetapkan: Susunan Majelis Penguji Ujian Akhir Jurusan Teknik Sipil sebagai berikut :

- 1 Ketua Majelis : Ir. Ananda Insan Firdausy, ST., MT., M.Sc
- 2 Sekretaris Majelis : Ir. Bhondana Bayu B K., ST., MT
- 3 Penguji Skripsi : Ir. Bhondana Bayu B K., ST., MT
Ir. Ananda Insan Firdausy, ST., MT., M.Sc
Dr. Eng. Ir. Eva Arifi, ST, MT
Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST., M.Sc
Dr. Eng. Ir. Ming Narto W, ST, M.Sc
Ir. Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc
- 4 Pembimbing Tugas Akhir : Dr. Eng. Ir. Eva Arifi, ST., MT.
Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST., M.Sc.
Dr. Eng. Ir. Ming Narto W, ST, M.Sc
Ir. Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc
- 5 Penguji Komprehensif : Ir. Ananda Insan Firdausy, ST., MT., M.Sc
Ir. Bhondana Bayu B K., ST., MT
- 6 Penguji Saksi : Dr. Eng. Ir. Indradi W., ST, M. Eng (Prac)

Ditetapkan di : Malang

Pada tanggal : 21 Juni 2021

Dekan



Prof. Ir. Hadi Saryono, ST., MT., Ph.D., IPU., ASEAN Eng
NIP. 19730520 200801 1 013

DAFTAR UJIAN AKHIR JURUSAN/PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
 Hari/Tanggal: Rabu, 23 Juni 2021

Lampiran No : 1806/UN10.F07/KP/2021
 Tanggal : 21 Juni 2021

NO	MAHASISWA	NIM	JUDUL SKRIPSI	PEMBIMBING	PENGUJI
1	Julius Siregar 08.30 WIB Sempro : 14 Februari 2020	165060100111017	Pengaruh Penggunaan SBR Latex terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Porous dengan Menggunakan RCA (Recycled Coarse Aggregate)	Dr. Eng. Ir. Eva Arifi, ST., MT. Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST., M.Sc.	Ir. Bhondana Bayu Brahmana K, ST., MT. Dr. Eng. Ir. Eva Arifi, ST., MT. Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST., M.Sc. Ir. Ananda Insan F, ST., MT, M.Sc
2	Fani Natasa 10.00 WIB Sempro : 26 Maret 2021	175060101111002	Analisis Permodelan Perilaku Beban dan Perpindahan pada Portal 2 (dua) Lantai dengan Bracing Eksentris Tipe V	Dr. Eng. Ir. Ming Narto W, ST., MT.,M.Sc Ir. Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc	Ir. Ananda Insan F, ST., MT, M.Sc Dr. Eng. Ir. Ming Narto W, ST., MT.,M.Sc Ir. Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc Ir. Bhondana Bayu Brahmana K, ST., MT

Ketua Majelis : Ir. Ananda Insan F, ST., MT, M.Sc
 Sekretaris Majelis : Ir. Bhondana Bayu Brahmana K, ST., MT.
 Penguji Saksi : Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng. (Pract)



Ir. Haryono, ST., MT., Ph.D., IPU, ASEAN Eng
 NIM 197306192008001 1 013



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Mayjend. Haryono No. 167, Malang, 65145, Indonesia
Telp. : +62-341-587710, 587711; Fax : +62-341-551430
http://teknik.ub.ac.id E-mail : teknik@ub.ac.id

SURAT KEPUTUSAN

NOMOR : 1006/UN10.F07/PP/2021

Tentang

Hasil Ujian Sarjana Jurusan Teknik Sipil Pada Bulan

JUNI 2021

Mengingat : Surat Keputusan Rektor UB Nomor: 198 /SK/ 2008
Menetapkan bahwa :
Saudara : **Julius Siregar**
NIM : **165060100111017**
Dinyatakan : **LULUS / TIDAK LULUS**, sebagai Sarjana Teknik Sipil
Dengan Predikat : Sangat Memuaskan
Catatan : Denan Revisi

Ditetapkan di : Malang Pada
Tanggal : 23 Juni 2021

Ketua Majelis Penguji,

**Ir. Ananda Insan Firdausy, ST., MT.,
M.ScNIK. 201607 900504 1 001**





*Terimakasih untuk Keluarga Tercinta
Bapak dan Ibu Dosen
Sahabat Seperjuangan Kuliah
Seluruh Elemen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya*



HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi : PENGARUH PENGGUNAAN *SBR LATEX* TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON POROUS DENGAN MENGGUNAKAN RCA (*RECYCLED COARSE AGGREGATE*)

Nama Mahasiswa : Julius Siregar

NIM : 165060100111017

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :

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

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST., M.Sc

Dosen Penguji 3 : Bhondana Bayu Brahmana K, ST, MT

Tanggal Ujian : 23 Juni 2021

SK Penguji : 1006/UN10.F07/PP/2021



LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

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

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

Malang, 27 Agustus 2021

Mahasiswa,

Julius Siregar

NIM. 165060100111017

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI i

DAFTAR TABEL iv

DAFTAR GAMBAR v

RINGKASAN vi

SUMMARY vii

BAB I 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Identifikasi Masalah 3

1.3 Rumusan Masalah 3

1.4 Batasan Masalah 3

1.5 Tujuan penelitian 4

1.6 Manfaat Penelitian 4

BAB II 5

2.2 Material Penyusun Beton *Porous* 6

2.1.1 Semen *Portland Pozzoland* 6

2.1.2 Air 7

2.1.3 Agregat Kasar Alami (*Natural Coarse Aggregate*) 8

2.1.4 Agregat Kasar Daur Ulang (*Recycled Coarse Aggregate*) 8

2.1.5 Bahan Tambahan (*Admixtures*) 9

2.3 Kuat Tekan Beton 10

2.4 Modulus Elastisitas 11

2.5 Pengaruh Beton *Porous* terhadap Lingkungan 12

2.6 Penelitian Pendahuluan untuk Agregat 13

2.6.1 Berat Jenis 13

2.6.2 Penyerapan (Absorsi) 14

2.6.3 Gradasi Agregat Kasar 15

2.6.4	Density (Kepadatan)	16
2.7	Workabilitas (<i>Workability</i>)	16
2.8	<i>Void Ratio</i>	17
2.9	Permeabilitas	18
2.10	Penelitian Terdahulu	19
2.11	Hipotesis Penelitian	20
BAB III		21
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2	Variabel Penelitian	21
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	21
3.3.1	Alat Penelitian	21
3.3.2	Bahan Penelitian	22
3.4	Analisis Bahan	22
3.4.1	Agregat Kasar Alami (<i>Natural Coarse Aggregate</i>)	22
3.4.2	Agregat Kasar Daur Ulang (<i>Recycled Coarse Aggregate</i>)	22
3.4.3	Semen	22
3.4.4	Air	23
3.4.5	SBR Latex	23
3.5	Rancangan Penelitian	23
3.5.1	Rancangan Benda Uji Kuat Tekan Beton	23
3.5.2	Mix Design Beton Porous	25
3.6	Prosedur Penelitian	25
3.6.1	Pengujian Bahan Dasar	25
3.6.2	Pengujian pada saat <i>Fresh Concrete</i>	25
3.6.3	Tahap <i>Curing</i>	26
3.6.4	Pembuatan Benda Uji	26
3.6.5	Pengujian dan Perhitungan Kuat Tekan Beton <i>Porous</i>	26

3.7	Tabulasi Hasil Pengujian	27
3.8	Diagram Alir Penelitian	32
BAB IV		33
4.1	Penelitian Pendahuluan	33
4.1.1	Gradasi Agregat Kasar	33
4.1.2	Berat Isi Natural Coarse Aggregate (NCA) dan Recycled Coarse Aggregate (RCA)	33
4.1.3	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Alami (NCA) dan Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)	34
4.1.4	Workabilitas (Workability)	37
4.2	Berat Volume dan Void Ratio	37
4.2.1	Berat Volume (Density)	37
4.2.2	Void Ratio	39
4.3	Kuat Tekan Beton <i>Porous</i>	41
4.4	Grafik Tegangan-Regangan Tiap Variasi Beton <i>Porous</i>	43
4.5	Grafik Tegangan-Regangan Rata-Rata Beton <i>Porous</i>	48
4.6	Modulus Elastisitas (E) Beton <i>Porous</i> dengan SBR	49
BAB V		53
5.1	Kesimpulan	53
5.2	Saran	53
DAFTAR PUSTAKA		55
<i>Halaman ini sengaja dikosongkan</i>		57
LAMPIRAN		58
<i>Halaman ini sengaja dikosongkan</i>		59

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Variasi Penelitian.....	25
Tabel 3. 2 Variasi Benda Uji.....	25
Tabel 3. 3 Jumlah Sampel Benda Uji.....	25
Tabel 3. 4 Faktor Benda Uji.....	26
Tabel 3. 5 Tabel Uji Kuat Tekan Beton <i>Pouros</i>	28
Tabel 3. 6 Form Uji <i>Slump</i>	28
Tabel 3. 7 Form Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan.....	29
Tabel 3. 8 Tabel Rata-Rata <i>Void Ratio</i>	30
Tabel 3. 9 Form Berat Isi Agregat Kasar.....	31
Tabel 3. 10 Form Massa Total Campuran.....	32
Tabel 4. 1 Berat Isi Agregat Kasar Alami (NCA)	35
Tabel 4. 2 Berat Isi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)	35
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Absorsi NCA.....	36
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Absorsi RCA.....	37
Tabel 4. 5 Uji Slump Beton Segar.....	38
Tabel 4. 6 Berat Volume.....	39
Tabel 4. 7 Berat Volume Material dan Massa Total Campuran.....	40
Tabel 4. 8 Perhitungan <i>Void Ratio</i>	41
Tabel 4. 9 Uji Kuat Tekan Beton <i>Porous</i>	42
Tabel 4. 10 Kuat Tekan Rata-Rata Silinder Beton Porous.....	43
Tabel 4. 11 Data Perhitungan Modulus Elastisitas (E)	52



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Porous Concrete5

Gambar 2. 2 Recycled Coarse Aggregate.....9

Gambar 2. 3 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Beton Normal11

Gambar 2. 4 Contoh Gradasi Kerikil.....16

Gambar 2. 5 Grafik Hubungan Antara Void Ratio, Permeabilitas, dan Kuat Tekan18

Gambar 2. 6 Uji Permeabilitas Falling Head Water Permeability19

Gambar 3. 1 Rencana Benda Uji23

Gambar 3. 2 Skema pengujian kuat tekan beton.....26

Gambar 4. 1 Pengambilan data Mc untuk berat volume41

Gambar 4. 2 Grafik hubungan antara *void ratio* dengan SBR Latex44

Gambar 4. 3 Grafik pengaruh penggunaan NCA dan RCA pada kuat tekan *beton porous*46

Gambar 4. 4 Grafik pengaruh variasi penambahan SBR Latex pada kuat tekan *beton porous*46

Gambar 4. 5 Grafik tegangan-regangan NCA SBR 0%47

Gambar 4. 6 Grafik tegangan-regangan NCA SBR 5%48

Gambar 4. 7 Grafik tegangan-regangan NCA SBR 10%49

Gambar 4. 8 Grafik rata-rata tegangan-regangan RCA SBR 0%49

Gambar 4. 9 Grafik tegangan-regangan RCA SBR 5%50

Gambar 4. 10 Grafik tegangan-regangan RCA SBR 10%50

Gambar 4. 11 Grafik rata-rata tegangan-regangan NCA dengan SBR51

Gambar 4. 12 Grafik rata-rata tegangan-regangan RCA dengan variasi SBR52

Gambar 4. 13 Grafik rata-rata tegangan-regangan NCA dan RCA SBR 0%53

Gambar 4. 14 Grafik rata-rata tegangan-regangan NCA dan RCA SBR 5%54

Gambar 4. 15 Grafik rata-rata tegangan-regangan NCA dan RCA SBR 10%55

RINGKASAN

Julius Siregar, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, April 2021,
Pengaruh Penggunaan SBR Latex terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Porous dengan Menggunakan RCA (Recycled Coarse Aggregate), Dosen Pembimbing: Dr. Eng. Eva Arifi, ST., MT dan Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST., M.Sc.

Penggunaan beton konvensional yang terus meningkat seiring pembangunan infrastruktur yang pesat di Indonesia mengakibatkan lapisan kedap air semakin luas. Salah satu solusi yang dapat mengatasi permasalahan tersebut adalah beton *porous* dengan menggunakan agregat kasar daur ulang atau RCA (*Recycled Coarse Aggregate*). Namun, beton *porous* memiliki kekurangan yaitu ikatan antar agregat yang lemah. Bahan tambah atau admixture adalah material tambahan pengadukan beton yang telah diolah sebelum atau selama proses mixing berjalan. Pada penelitian ini, bahan tambah yang digunakan adalah SBR. Penggunaan SBR Latex pada campuran beton berongga dapat meningkatkan daya lekat agregat pada campuran beton *porous*.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan beton terhadap beton *porous* dengan variasi SBR *Latex* sebesar 5% dan 10% terhadap berat semen serta variasi penggunaan agregat kasar daur ulang sebesar 0% dan 100%. Pengujian kuat tekan beton sesuai dengan SNI 03-1974-1990. Selain itu, pengujian berat isi, berat jenis, penyerapan, dan *void ratio* berdasarkan SNI 1969:2008, ASTM C29, dan ASTM C1688. Pembuatan sampel beton menggunakan perbandingan campuran semen dengan agregat sebesar 1:4 dan nilai faktor air semen (FAS) sebesar 0,27.

Penggunaan RCA pada pembuatan beton *porous* mengakibatkan penurunan kuat tekan beton berpori dibandingkan penggunaan NCA dan nilai modulus elastisitas RCA lebih rendah dibandingkan NCA. Hal ini disebabkan oleh mutu RCA yang lebih rendah dari pada NCA. Penggunaan SBR *Latex* pada pembuatan beton *porous* dapat meningkatkan kuat tekan beton. Pada pengujian beton porous dengan 5% SBR latex terjadi peningkatan kuat tekan beton sebesar 15,21% pada penggunaan NCA dan 22,3% pada penggunaan RCA. Beton porous dengan penambahan 10% SBR latex terjadi peningkatan sebesar 47,5% pada penggunaan NCA dan 65,87% pada penggunaan RCA.

Kata kunci: beton *porous*, agregat kasar daur ulang, SBR *Latex*, kuat tekan beton, modulus elastisitas

SUMMARY

Julius Siregar, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Brawijaya University, April 2021, *The Influence of SBR Latex on the Compressive Strength and Modulus of Elasticity of Porous Concrete Using RCA (Recycled Coarse Aggregate)*, Supervisor: Dr. Eng. Eva Arifi, ST., MT and Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST., M.Sc.

The use of conventional concrete, which continues to increase along with the rapid development of infrastructure in Indonesia, has resulted in a more extensive waterproof layer. One solution that can overcome this problem is porous concrete using recycled coarse aggregate or RCA (Recycled Coarse Aggregate). However, porous concrete has a disadvantage, there is a weak bond between aggregates. Added material or admixture is additional material for mixing the concrete that has been processed before or during the mixing process. In this research, the admixture is SBR Latex. SBR Latex can increase the adhesion of aggregates in porous concrete mixtures.

In this research, the compressive strength of concrete tested with SBR Latex variations of 5% and 10% of cement weight and variations of recycled coarse aggregate 0% and 100%. Concrete compressive strength testing is in accordance with SNI 03-1974-1990. Apart from that, test of content weight, specific gravity, absorption, and void ratio is based on SNI 1969: 2008, ASTM C29, and ASTM C1688. Making concrete samples using a cement mix ratio with aggregate of 1: 4 and a cement water factor (FAS) value of 0.27.

The use of RCA in porous concrete resulted in a decrease in the compressive strength of porous concrete compared to NCA and the modulus of elasticity of RCA was lower than NCA. This is due to the lower quality of RCA than NCA. The use of SBR Latex can increase the compressive strength of concrete. In tested porous concrete with 5% SBR latex, there was an increase in the compressive strength of the concrete by 15.21% with NCA and 22.3% with RCA. Porous concrete with the addition of 10% SBR latex, there was an increase of 47.5% in with NCA and 65.87% with of RCA.

Keywords: porous concrete, recycled coarse aggregate, SBR Latex, compressive strength of concrete, modulus of elasticity

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jumlah penduduk Indonesia yang terus meningkat mengakibatkan urbanisasi secara terus-menerus. Hal ini menyebabkan aktivitas manusia di kota-kota besar semakin meningkat. Oleh sebab itu, pembangunan infrastruktur semakin meningkat seiring meningkatnya aktivitas manusia di kota-kota besar. Kegiatan infrastruktur seperti pembangunan, renovasi, dan pembongkaran memberikan dampak yang sangat besar bagi pencemaran lingkungan di Indonesia. Salah satu pencemaran pembangunan infrastruktur adalah banyaknya beton sisa hasil pembongkaran beton.

Beton merupakan campuran dari agregat halus (pasir), agregat kasar, semen, air dan bahan tambahan lainnya sesuai dengan kebutuhan. Salah satu penggunaan beton adalah perkerasan jalan dengan beton konvensional. Penggunaan beton konvensional yang terus meningkat seiring pembangunan infrastruktur yang pesat di Indonesia mengakibatkan lapisan kedap air semakin luas. Hal ini mengakibatkan air hujan tidak dapat berinfiltrasi ke dalam tanah dan mengakibatkan genangan serta limpasan permukaan (*surface runoff*). Hal ini merupakan salah satu penyebab banjir dan genangan air di kota-kota besar. Genangan air menyebabkan infrastruktur jalan di Indonesia mengalami kerusakan seperti retak, pelepasan butiran, dan berlubang.

Salah satu solusi mengatasi permasalahan tersebut adalah beton *porous*. Beton *porous* atau beton non-pasir merupakan bentuk beton sederhana dari beton ringan yang dibuat dengan cara menghilangkan penggunaan agregat halus. Selain di kenal Beton *pourous*, beton ini juga dikenal dengan sebutan lain yaitu *permeconcrete*, *pervious concrete*, dan beberapa nama lainnya. Akibat tanpa menggunakan agregat halus dalam beton *porous* maka terciptalah rongga yang diisi udara dalam beton *porous*. Hal ini menyebabkan beton *pourous* memiliki berat yang lebih ringan dari beton konvensional. Rongga pada beton *pourous* mengakibatkan berkurangnya kepadatan dalam beton serta berkurangnya jumlah luasan yang perlu diselimuti oleh pasta semen. Hal inilah yang mengurangi porsi semen dalam campuran beton sehingga menghemat biaya produksi beton. Namun penggunaan beton *pourous* tidak direkomendasikan dengan baja

tulangan. Hal ini disebabkan sifatnya yang *pourous* dapat mempercepat laju korosi pada struktur.

Perkembangan dan pembangunan konstruksi yang pesat di Indonesia mengakibatkan banyaknya limbah konstruksi yang diakibatkan sisa-sisa pembangunan dan pembongkaran bangunan tersebut. Hal ini dapat kita manfaatkan dalam pembuatan beton baru. Agregat kasar daur ulang atau *Recycled Coarse Aggregate* (RCA) adalah hasil dari pembongkaran struktur beton atau sisa dari penelitian yang dapat didaur ulang menjadi agregat kasar. Agregat daur ulang atau *Recycled Coarse Aggregate* (RCA) merupakan hasil dari limbah beton yang dihancurkan dengan mesin penghancur batu dan diayak sehingga didapatkan agregat yang diinginkan. Penggunaan agregat daur ulang atau *Recycled Coarse Aggregate* merupakan salah satu inovasi ramah lingkungan menggantikan *Natural Coarse Aggregate* (NCA) dalam membangun konstruksi beton. Dari segi kekuatan, mutu beton yang menggunakan RCA lebih rendah dari mutu beton yang menggunakan NCA. Namun, penggunaan beton di lapangan menggunakan variasi yang beragam sehingga mutu beton RCA dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan konstruksi. Mutu beton RCA lebih rendah karena fisik RCA yang diselimuti oleh mortar dan retak mikro akibat mesin pemecah batu. Oleh sebab itu, penggunaan RCA tidak dapat dilakukan pada konsturksi kompleks yang memiliki beban yang berat. Menurut penelitian Naila Mahdiana (2018), Penggunaan RCA dapat menurunkan kuat tekan beton karena RCA mengandung mortar dan menyebabkan penyerapannya semakin besar dan mudah retak dibandingkan dengan NCA. Selain itu, permeabilitas paling tinggi menggunakan variasi mix design 50% RCA dan ukuran agregat 1-2 cm.

Penggunaan bahan tambah atau *admixture* dapat mengurangi kekurangan dari beton *porous* yang telah dijelaskan. Bahan tambah atau *admixture* adalah material tambahan pengadukan beton yang telah diolah sebelum atau selama proses mixing berjalan. Pada penelitian ini, bahan tambah yang digunakan adalah SBR. Penggunaan SBR *Latex* pada campuran beton berongga dapat meningkatkan daya lekat agregat pada campuran beton berongga. SBR *Latex* juga dapat meningkatkan aspek ketahanan retak pada suhu rendah, stabilitas pada suhu tinggi, adhesi, dan daya tahan (Ronghui, 2007).

Dari beberapa hal yang telah dijelaskan, beton *pourous* dengan dengan bahan tambah (*admixture*) merupakan salah satu solusi mengurangi lapisan kedap air di Indonesia. Oleh karena itu, dilakukan penelitian yang berjudul "Pengaruh Penggunaan

SBR Latex Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton *Pouros* Dengan Menggunakan RCA (*recycled coarse aggregate*)”.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan diatas, maka perlu diadakan indentifikasi masalah secara menyeluruh, banyaknya lapisan kedap air di Indonesia yang diakibatkan penggunaan beton konvensional. Salah satunya pada jalan-jalan di Indonesia yang belum memiliki sistem drainase yang baik. Genangan air menyebabkan infrastruktur jalan di Indonesia mengalami kerusakan seperti retak, pelepasan butiran, dan berlubang. Perkembangan dan pembangunan konstruksi yang pesat di Indonesia mengakibatkan banyaknya limbah konstruksi yang diakibatkan sisa-sisa pembangunan dan pembongkaran bangunan tersebut. Menggunakan beton porous dengan bahan beton daur ulang dapat menjadi solusi dari permasalahan yang ada, namun karena beton porous yang hanya tersusun dari agregat kasar dan semen maka mengakibatkan kekuatan beton menjadi tergantung dari kualitas agregat kasar dan semen yang digunakan maka penambahan *SBR Latex* dan dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan terhadap kuat tekan dan elastisitas dari beton porous tersebut.

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penggunaan agregat kasar daur ulang RCA (*Recycled Coarse Aggregate*) dan agregat kasar alam NCA (*Natural Coarse Aggregate*) terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton porous?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *SBR Latex* pada campuran beton terhadap kuat tekan dan elastisitas beton porous?

1.4 Batasan Masalah

1. Benda uji berbentuk tabung dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm.
2. Penggunaan agregat kasar daur ulang (RCA) berasal limbah sisa penelitian Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Brawijaya dengan ukuran 0,5 cm sampai 1 cm.
3. Semen menggunakan Semen Gresik jenis PPC.
4. Menggunakan bahan tambah *SBR Latex*.

5. Perbandingan campuran agregat kasar daur ulang (RCA) adalah 0% dan 100% terhadap agregat kasar alam (NCA).
6. Pengujian beton akan dilakukan saat beton berumur 28 hari serta dilakukan perawatan dengan cara ditutup plastik selama 7 hari.
7. Faktor air semen (FAS) yang digunakan sebesar 0,27.
8. Air yang digunakan berasal dari PDAM Kota Malang.
9. Alat yang digunakan untuk pengujian adalah *Compression machine*
10. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Brawijaya.

1.5 Tujuan penelitian

1. Mendapatkan pengaruh penggunaan agregat kasar daur ulang RCA (*Recycled Coarse Aggregate*) dan agregat kasar alam NCA (*Natural Coarse Aggregate*) terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton porous.
2. Mendapatkan pengaruh penambahan *SBR Latex* dan pada campuran beton terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton *porous*.

1.6 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan pengetahuan mengenai bagaimana pengaruh penambahan *SBR Latex* sebagai *admixture* terhadap kuat tekan dan elastisitas *porous* yang menggunakan RCA (*Recycle Coarse Aggregate*).
2. Penelitian ini juga diharapkan dapat dijadikan acuan penelitian selanjutnya mengenai beton porous sebagai bahan konstruksi yang ramah lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Porous

Beton berpori (*Porous Concrete*) adalah material beton spesial dengan porositas tinggi yaitu antara 15-30% rongga udara sehingga mudah untuk dilalui air. Beton berpori dibuat dari campuran air, semen, agregat kasar dengan sedikit atau tanpa agregat halus agar didapatkan pori-pori yang cukup banyak dan berhubungan. (Antoni, 2008)

Porositas adalah ukuran dari proporsi total volume yang ditempati oleh pori-pori dan biasanya dinyatakan sebagai presentase dari volume *sample*. Porositas merupakan salah satu parameter penting struktur beton, yang mempengaruhi kekuatan, permeabilitas, dan daya tahan pasta semen, mortar, dan beton. (Kusno, 2002)

Beton berpori yang menggunakan agregat satu ukuran atau agregat seragam mempunyai kuat tekan rendah dan permeabilitas yang bagus. Beton berpori pada umur 28 hari mempunyai kuat tekan antara 5 sampai 21 MPa dengan porositas 14-31% dan permeabilitas berkisar 0,25 sampai 6,1 mm/detik. (Schaefer et all, 2006)



Gambar 2. 1 Porous Concrete

Sumber: <https://www.dwikusuma.com>

Pada gambar 2.1 terlihat bahwa beton berongga memiliki porositas yang tinggi karena beton berongga memiliki rongga udara 15-30% dari total volume sampel. Rongga pada beton berongga mengakibatkan berkurangnya kepadatan dari beton dan berkurangnya jumlah lapisan yang perlu dilapisi oleh semen. Hal ini mengakibatkan berkurangnya porsi semen yang dibutuhkan dan menghemat biaya produksi semen. Namun tingginya rongga pada beton berongga mengakibatkan kepadatan dan kuat tekan beton berongga relatif lebih rendah dari

beton konvensional. Hal ini diakibatkan terjadinya penurunan ikatan-ikatan antar agregat dan semen.

Beton yang dapat tembus sensitif terhadap perubahan kadar air, sehingga penyesuaian lapangan dari campuran beton segar biasanya diperlukan. Terlalu banyak air akan menyebabkan pasta mengalir turun, dan terlalu sedikit air dapat menghambat perawatan yang memadai dari beton dan menyebabkan kegagalan. Proporsi campuran yang benar memberikan campuran dengan penampilan seperti logam basah. (Desai, 2014).

Beton porous merupakan material yang unik dan ramah lingkungan. Beton porous memiliki porositas yang tinggi sehingga dapat membiarkan air mengalir melewati beton. Hal ini dapat mengurangi air tergenang dan mengisi kembali persediaan air tanah lokal.

Aplikasi penggunaan beton porous adalah lapangan parkir, trotoar, jalan setapak, lapangan tenis, stabilitas lereng, teras kolam renang, lantai rumah kaca, area kebun binatang, bahu jalan, drainase, peredam kebisingan, lapisan permukaan pada perkerasan jalan raya, lapisan permeabil di bawah perkerasan beton, dan jalan dengan volume lalu lintas rendah. Beton yang dapat tembus umumnya tidak digunakan untuk perkerasan dengan lalu lintas padat dan beban roda berat. (Obla, 2007).

2.2 Material Penyusun Beton *Porous*

2.1.1 Semen *Portland Pozzoland*

Semen *Portland Pozzoland* (*Portland Pozzoland Cement* atau *PPC*) merupakan suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran antara semen portland dengan pozzolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozzolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozzolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozzolan 6% sampai 40% massa semen *portland pozzoland* (SNI 15-0302-2004). Pozzolan adalah bahan yang mengandung silika atau senyawanya dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang bersifat seperti semen (SNI 15-0302-2004)

Berdasarkan aplikasinya semen dibedakan menjadi beberapa tipe, yaitu sebagai berikut:

1. Type I: Semen portland jenis umum (normal portland cement), yaitu jenis semen portland untuk penggunaan dalam konstruksi beton secara umum yang tidak memerlukan sifat-sifat khusus.
2. Type II: Semen jenis umum dengan perubahan-perubahan (modified portland cement). Semen ini memiliki panas hidrasi lebih rendah dan keluarnya panas lebih lambat daripada semen Type I. Semen Type II digunakan untuk pencegahan serangan sulfat dari lingkungan terhadap bangunan beton, seperti struktur bangunan air/drainase dengan kadar konsentrasi sulfat tinggi didalam air tanah.
3. Type III: Jenis semen dengan waktu pengerasan yang cepat (highearly-strength portland cement). Waktu perkerasan bagi jenis ini umumnya kurang dari seminggu. Digunakan pada struktur-struktur bangunan yang bekistingnya harus cepat dibuka dan akan segera dipakai kembali.
4. Type IV: Semen dengan hidrasi panas rendah yang digunakan pada konstruksi dam/bendungan, bangunan-bangunan masif, dengan tujuan panas yang terjadi sewaktu hidrasi merupakan faktor penentu bagi keutuhan beton.
5. Type V: Semen penangkal sulfat. Digunakan untuk beton yang lingkungannya mengandung sulfat, terutama pada tanah/air tanah dengan kadar sulfat tinggi.

2.1.2 Air

Air merupakan salah satu bahan utama dalam dunia konstruksi. Air berguna untuk pembuatan beton, perawatan beton, pemadatan kapur, dan campuran adukan pasangan dan plesteran. Pada pembuatan beton, air berfungsi untuk memungkinkan terjadinya reaksi kimia antara pasta semen dan agregat dan pelincir campuran pasir, semen, dan kerikil dalam proses pencetakan beton

Air yang digunakan membuat beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam, zat organik atau bahan-bahan lain yang bersifat merusak beton dan baja tulangan. Nilai banding air dan semen untuk suatu adukan beton disebut faktor air semen (fas).

(Dipohusodo, 1999). Penggunaan air sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut, (Tjokrodimulyo, 2007):

1. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/ltr.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr.

3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/ltr.

Dalam penelitian ini digunakan FAS (Faktor Air Semen) sebesar 0,27. Menurut ACI 522R-10, faktor air semen yang paling baik dalam pembuatan beton porous harus berkisar antara 0,27-0,34.

2.1.3 Agregat Kasar Alami (*Natural Coarse Aggregate*)

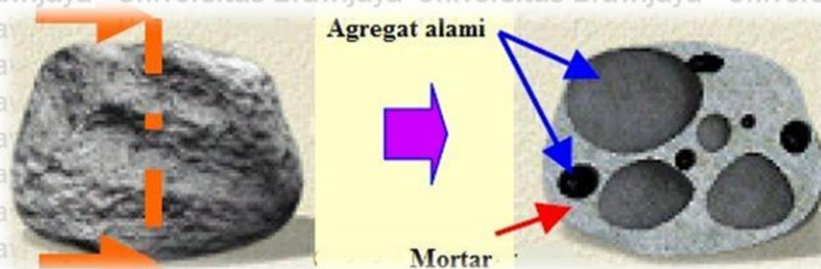
Agregat kasar alami adalah agregat dengan besar butir lebih dari 5 mm. Agregat kasar alami merupakan hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu. Agregat kasar yang baik terdiri dari butiran keras dan tidak berpori, tidak mengandung lumpur lebih dari 1% dalam berat keringnya, tidak mengandung zat yang dapat merusak beton seperti alkali, bersifat kekal atau tahan terhadap pengaruh cuaca, dan angka kehalusan (*Fineness Modulus*) antara 6 – 7,5 (PBBI 1971, NI-2). Sifat yang paling penting pada agregat kasar adalah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan yang dapat mempengaruhi ikatan pada pasta semen, porositas, dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia. Agregat kasar juga memiliki sifat ketahanan terhadap penyusutan.

2.1.4 Agregat Kasar Daur Ulang (*Recycled Coarse Aggregate*)

Agregat kasar daur ulang (*Recycled Coarse Aggregate*) adalah agregat kasar yang telah mengalami proses *pulsed power* yaitu proses pemisah antara pasta semen dengan agregat kasar dari beton daur ulang (Arifi, 2014). Agregat kasar daur ulang biasanya diperoleh dari hasil pengolahan kembali sisa-sisa pembongkaran beton dan beton sisa pengujian di laboratorium. Pengolahan kembali beton dilakukan dengan menghancurkan beton menggunakan mesin pemecah batu (*Stone Crusher*) kemudian diayak sesuai dengan ukuran yang diperlukan. Pemilihan mutu beton terbatas dikarenakan agregat kasar daur ulang dihasilkan dari proses pembongkaran dan sisa laboratorium.

Kinerja material dan struktur agregat kasar daur ulang cenderung berbeda dengan agregat kasar alami. Agregat kasar daur ulang mengandung mortar 25%-45% dari total volume agregat (Suharwanto, 2008). Kandungan mortar yang tinggi menyebabkan berat jenis agregat lebih kecil dan lebih berpori. Selain itu, agregat kasar daur ulang juga terdapat retak mikro yang diakibatkan tumbukan mesin pemecah batu pada saat produksi agregat kasar daur ulang. Retak mikro juga dapat disebabkan beberapa agregat yang terikat oleh mortar tapi tidak

dapat pecah. Hal ini menyebabkan RCA mengandung mortar sehingga meningkatkan penyerapan dan mudah retak dibandingkan dengan NCA (Mahdiana, 2018). Kandungan mortar pada RCA terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Recycled Coarse Aggregate

Sumber: Dosho (2007)

Sifat beton dengan agregat daur ulang jika dibandingkan dengan beton yang menggunakan agregat alami antara lain: (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).

2.1.5 Bahan Tambahan (*Admixtures*)

Menurut (SK SNI S-18-1990-03), bahan tambah (*admixture*) adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan yang ditambahkan ke dalam campuran adukan beton selama pengadukan, dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya. Fungsi bahan tambah ini adalah mengubah sifat-sifat beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu, atau untuk menghemat biaya. Bahan tambah (*admixture*) terdapat 2 jenis yaitu bahan tambah kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah mineral (*additive*).

2.1.5.1 SBR Latex

Lateks adalah getah tanaman karet (*Hevea brasiliensis*) dan biasa disebut dengan nama karet mentah. Aplikasi penggunaan lateks biasanya digunakan sebagai bahan baku karet. Lateks diperoleh dengan menyadap pohon karet. Kulit pohon karet digores agar getahnya dapat keluar dan ditampung pada suatu wadah. Getah karet atau lateks adalah suspensi koloidal dari air dan bahan kimia. Dua komponen utama lateks adalah serum dan butir-butir karet yang dilapisi protein tipis. Serum di dalam lateks terdiri dari mineral, protein, enzim, dan bahan-bahan lain yang bukan karet. Kadar karet yang terdapat pada bagian koloid

amat beragam, tergantung pada jenis klon, intensitas sadap, iklim dan cuaca, serta pemupukan (Nazaruddin dan Paimin, 1998).

Pada penelitian Roestaman *et al.* (2007) terlihat bahwa campuran beton dengan remah karet mengakibatkan penurunan *workability*, penurunan kuat tekan kuat tekan, dan penurunan kuat lentur. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penambahan *plasticizer* dapat meningkatkan *workability* lebih baik daripada beton segar dengan kandungan faktor air semen yang lebih rendah.

Penelitian ini akan menggunakan lateks jenis *SBR Latex*. *SBR Latex* merupakan karet sintetis hasil yang dibuat secara polimerisasi fraksi-fraksi minyak bumi. Jenis lateks *SBR Latex* merupakan salah satu jenis karet yang paling banyak diproduksi dan digunakan. *SBR Latex* merupakan salah satu polimer yang memperlihatkan resilensi (daya pegas) atau kemampuan meregang dan kembali ke keadaan semula dengan cepat. Penggunaan *SBR Latex* pada beton *pourous* dapat meningkatkan ikatan antar agregat. Berdasarkan hasil penelitian Akbar (2014), penggunaan *SBR Latex* pada beton aspal dapat meningkatkan nilai kelelahan (*flow*) dan menambah kelenturan karena sifat resilensi polime *SBR Latex* yang baik.

2.3 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Dan berdasar pada SNI 03-1974-1990 dan ASTM C-39, untuk mendapatkan kuat tekan beton dihitung dengan persamaan berikut:

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan:

f'_c = kuat tekan beton umur rencana (N/mm²)

P = beban uniaksial tekan maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

Beton *porous* sendiri memiliki kuat tekan rata-rata lebih rendah daripada beton normal. Hal ini diakibatkan karena adanya rongga pada beton *porous*. Kekuatan beton *porous* sesuai dengan ACI (*American Concrete Institute*) 522R-10 tentang beton porous adalah sebesar 2,8–28 MPa.

Kuat tekan beton berpori berkisar antara 3 Mpa sampai 28 Mpa pada umur 28 hari menurut (Schaefer et all, 2006). Nilai kuat tekan didapatkan melalui pengujian standar berdasarkan SNI 1974-2011 dengan benda uji berupa silinder beton. Faktor-faktor yang

sangat mempengaruhi kuat tekan antara lain faktor air semen, umur beton, jenis semen, jumlah semen dan sifat agregat.

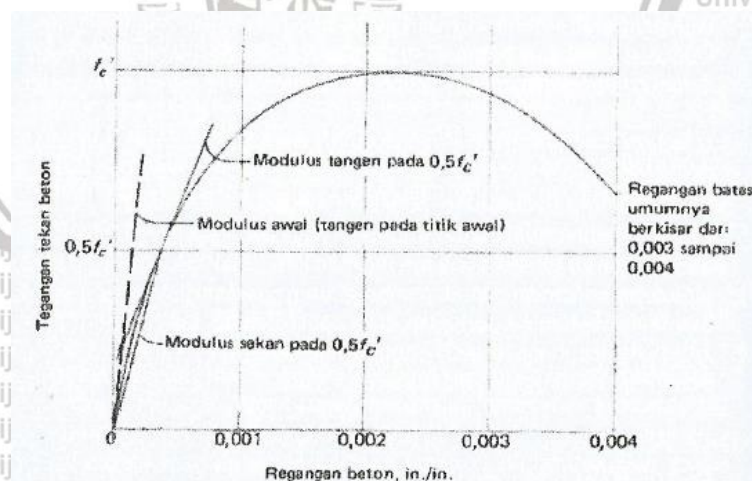
Kuat beton diperoleh dari pengujian standar dengan menggunakan mesin uji. Cara kerja mesin tersebut adalah dengan memberikan beban secara bertahap pada benda uji yang berbentuk kubus atau silinder sampai benda uji tersebut retak.

Pengujian kuat tekan beton berpori akan dilakukan dengan benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Pengujian kuat tekan beton berpori menggunakan alat *compression machine*.

2.4 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau modulus *young* merupakan hubungan linier antara tegangan dan regangan untuk suatu batang yang mengalami gaya tarik dan gaya tekan. Semakin besar modulus elastisitas maka semakin kecil regangan elastisitas yang terjadi pada suatu tingkat pembebanan tertentu dan dapat dikatakan material tersebut semakin kaku.

Modulus elastisitas suatu material ditentukan oleh energi ikatan antar atom-atom. Besarnya nilai modulus dapat berubah dengan mengubah struktur bahan. Modulus elastisitas adalah kemiringan kurva tegangan-regangan di dalam daerah elastis linier pada sekitar 40% beban puncak (*ultimate load*). (Gere & Timoshenko, 1997)



Gambar 2. 3 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Beton Normal

Sumber : Siti Nurlina (2008)

Modulus elastisitas dapat dihitung dari slope kemiringan garis elastis yang linier, dengan permasamaan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan:

E = Modulus elastisitas (N/mm^2)

σ = Tegangan (N/mm^2)

ϵ = Regangan

Faktor-faktor yang mempengaruhi modulus elastisitas menurut Nawy (1990) :

1. Kelembaban
Beton dengan kandungan air yang lebih tinggi mempunyai modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada beton dengan spesifikasi yang sama.
2. Agregat
Nilai modulus elastisitas dan proporsi volume agregat dalam campuran mempengaruhi modulus elastisitas beton. Semakin tinggi modulus elastisitas agregat dan semakin besar proporsi agregat dalam beton, semakin tinggi pula modulus elastisitas beton tersebut
3. Umur beton
Modulus elastisitas semakin besar seiring dengan bertambahnya umur beton, seperti kuat tekannya, namun modulus elastisitas bertambah lebih cepat dari kuat tekannya.
4. *Mix design* beton
Jenis beton memberikan nilai modulus elastisitas yang berbeda pada umur dan kekuatan yang sama.

2.5 Pengaruh Beton *Porous* terhadap Lingkungan

Beton berpori merupakan salah satu inovasi pada perkerasan kaku beton yang ramah lingkungan. Beton berpori dikatakan ramah lingkungan karena memiliki porositas yang tinggi dan dapat membiarkan air mengalir melewati beton berpori sehingga mengurangi air tergenang dan kontaminasi aliran air sehingga mengisi kembali persediaan air tanah lokal. Selain itu, beton porous dapat mengurangi dampak pembangunan terhadap pohon. Perkerasan beton yang dapat tembus memudahkan pemindahan udara dan air ke sistem akar sehingga pohon dapat tumbuh subur bahkan di daerah maju seperti perkotaan.

Beton berpori memiliki berbagai macam fungsi. Beton berpori bisa digunakan pada lapangan parkir, trotoar, lapangan tenis, jalan setapak, stabilitas lereng, area jalan setapak kebun binatang, lantai rumah kaca, teras sekitar kolam renang, bahu jalan, drainase, peredam kebisingan, lapisan permukaan pada perkerasan jalan raya, lapisan permeabil di bawah perkerasan beton, dan jalan dengan volume lalu lintas rendah. Penggunaan beton berpori memiliki banyak pilihan kegunaan sehingga dapat mengurangi lapisan kedap air yang diakibatkan beton konvensional.

2.6 Penelitian Pendahuluan untuk Agregat

Penelitian pendahuluan adalah penelitian yang dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi kualitas beton. Penelitian akan dilakukan dengan menggunakan pada material yang mempengaruhi kualitas beton. Material yang dimaksud adalah agregat kasar daur ulang (*Recycle Coarse Aggregate*) dan agregat kasar alami (*Natural Coarse Aggregate*). Kedua agregat dilakukan penelitian pendahuluan karena RCA berasal dari hasil sisa beton konstruksi dan sisa uji lab yang dihancurkan dan NCA berasal dari hasil penghancuran batu yang ada di alam sehingga. Penelitian pendahuluan diperlukan agar mendapatkan data yang diperlukan untuk keperluan *mix design*. Penelitian pendahuluan ini terdiri dari berat jenis agregat, berat isi agregat, penyerapan agregat dan gradasi agregat.

2.6.1 Berat Jenis

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air dengan volume yang sama. Nilai berat jenis agregat sangat penting bagi perencanaan beton berpori karena berat jenis agregat menentukan banyaknya pori pada agregat tersebut. Berat jenis agregat daur ulang lebih rendah dari agregat alam, yaitu 2100 –2500 kg/m³ untuk agregat daur ulang (Hansen, 1992) sedangkan agregat alam mempunyai berat jenis 2400–3000 kg/m³ (Nevile, 1996). Berat jenis agregat ada berbagai macam, yaitu sebagai berikut:

1. Berat jenis curah (*Bulk Specific Gravity*)

Berat jenis curah merupakan berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan seluruh volume agregat. Persamaan perhitungan berat jenis curah sebagai berikut:

$$G_{sb} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

Bk = Berat kering kering oven (kg)

Bj = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (kg)

Ba = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh di dalam Air (kg)

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

Berat jenis kering permukaan (*Saturated Surface Dry*) adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering permukaan.

$$G_{sb} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

Bj = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (kg)

Ba = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh di dalam Air (kg)

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

Berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan volume agregat yang tidak dapat diresapi oleh air.

$$G_{sb} = \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

Bk = Berat Benda Uji Kering Oven (kg)

Ba = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh di dalam Air (kg)

2.6.2 Penyerapan (Absorsi)

Penyerapan merupakan kemampuan air untuk bergerak melalui rongga-rongga kapiler melalui permukaan hingga lapisan dalam pada agregat ketika agregat tersebut bersentuhan dengan air. Penelitian absorsi dilakukan dengan mengukur presentase antara perbedaan massa dari kondisi kering dengan kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*).

Penyerapan air atau absorpsi yang terjadi pada agregat daur ulang sebesar 3–10 % (Hansen, 1992) sedangkan absorpsi agregat alam sebesar 0.2%-4.5% (Nevile, 1996).

Berdasarkan SNI 1969-2008, penyerapan diisyaratkan maksimal yaitu 5% dan dirumuskan sebagai berikut:

$$Absorpsi = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \% \quad (2.6)$$

Keterangan:

$Absorpsi$ = penyerapan (%)

B_j = berat basah/ setelah direndam air selama 24 jam (kg)

B_k = berat kering (kg)

2.6.3 Gradasi Agregat Kasar

Gradasi agregat adalah distribusi proporsi butiran agregat dalam suatu campuran beton (Mindless et al, 1996). Gradasi agregat pada campuran beton akan berpengaruh pada sifat-sifat workabilitas adukan tersebut. Jika butir agregat memiliki ukuran bervariasi maka volume pori kecil, karena butiran yang kecil mengisi pori di antara butiran yang lebih besar sehingga porinya sedikit dan kemampatannya tinggi. Jika butir agregat memiliki ukuran yang sama (seragam) maka volume pori besar. Ada 3 macam gradasi yang dikenal, yaitu sebagai berikut:

1. Gradasi Seragam

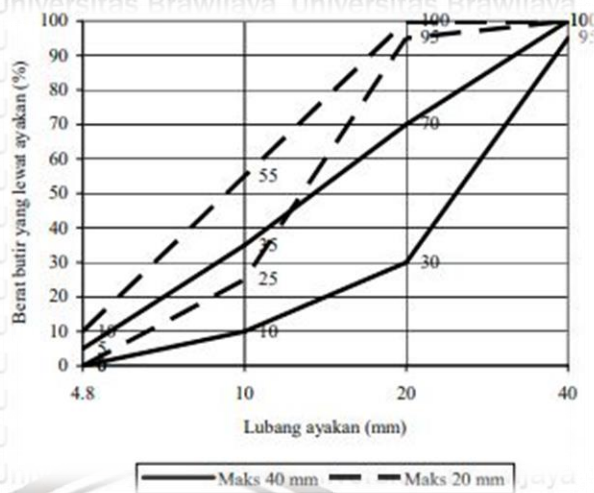
Gradasi seragam pada agregat adalah agregat yang terdiri dari butiran yang berada pada batas yang sempit dari ukuran fraksi.

2. Gradasi Menerus

Gradasi menerus pada agregat adalah suatu agregat yang memiliki proporsi yang seimbang di tiap ukuran butiran.

3. Gradasi Sela

Gradasi sela atau gradasi senjang pada agregat adalah suatu agregat dengan gradasi salah satu fraksi atau lebih yang berukuran tertentu tidak ada. Pada gambar 2.4 terlihat grafik lubang ayakan gradasi kerikil yang merupakan gradasi sela.



Gambar 2. 4 Contoh Gradasi Kerikil

Sumber : British Standard

2.6.4 Density (Kepadatan)

Density merupakan perbandingan antara massa benda dengan volume wadah alat uji didasrakan pada ASTM C168M-10 yaitu pengujian density untuk beton segar. Nilai Density diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

D = densitas beton (kg/m³)

M_c = massa wadah ukur yang diisi beton (kg)

M_m = massa wadah ukur (kg)

V_m = volume wadah ukur (m³)

2.7 Workabilitas (Workability)

Workability atau workabilitas adalah tingkat kemudahan beton dalam pencampuran, pengangkutan, penuangan, dan pemadatan. Suatu adukan dapat dikatakan *workable* jika memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. *Plasticity*, artinya adukan beton harus cukup plastis (Kondisi antara cair dan padat), sehingga dapat dikerjakan dengan mudah tanpa perlu usaha tambahan ataupun terjadi perubahan bentuk pada adukan.
2. *Cohesiveness*, artinya adukan beton harus mempunyai gaya-gaya kohesi yang cukup sehingga adukan masih saling melekat selama proses pengerjaan.
3. *Fluidity*, artinya adukan harus mempunyai kemampuan untuk mengalir selama proses penuangan.
4. *Mobility*, artinya adukan harus mempunyai kemampuan untuk bergerak / berpindah tempat tanpa terjadi perubahan bentuk.

2.8 Void Ratio

Menurut ASTM C1688. *Void ratio* merupakan persentase keseluruhan void atau rongga di bandingkan volume benda. Isi pori dapat ditentukan menurut ASTM C1688. Isi pori ditentukan berdasarkan presentase total dari pori-pori oleh volume dalam sampel. Pada gambar 2.5 terlihat bahwa nilai *void ratio* berbanding lurus dengan nilai permeabilitas, tetapi nilai *void ratio* berbanding terbalik dengan nilai kuat tekan beton. Isi pori dari beton berpori dihitung berdasarkan persamaan:

$$\text{Void Ratio} : U (\%) = \frac{T-D}{T} \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\text{Density} : D (kg/m^3) = \frac{Mc-Mm}{Vm} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\text{Theoritical density} : T (kg/m^3) = \frac{Ms}{Vs} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan:

D = Density atau unit weight (kg/m^3)

Ms = Berat total semua campuran material (kg)

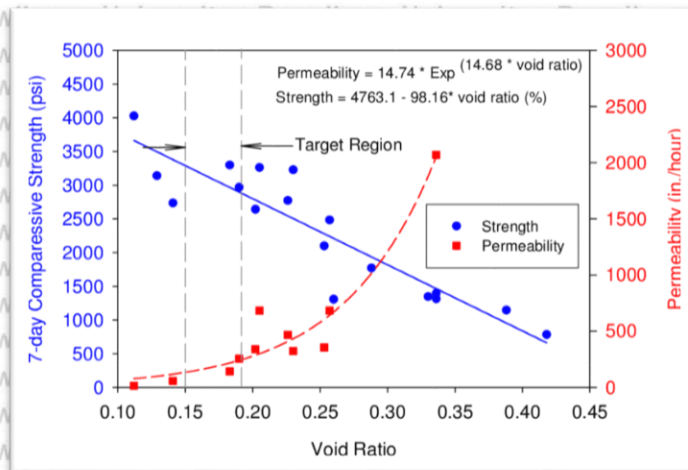
Mm = Berat alat ukur dan benda uji (kg)

Mc = Berat benda uji (kg)

T = Densitas teoritis beton pada udara bebas (kg/m^3)

Vs = Total volume absolut dari seluruh komponen campuran (m^3)

Vm = Volume alat ukur (m^3)



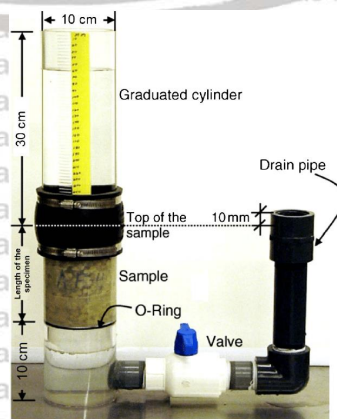
Gambar 2.5 Grafik Hubungan Antara Void Ratio, Permeabilitas, dan Kuat Tekan

Sumber : Schaefer (2006)

2.9 Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemampuan suatu media untuk meresapkan suatu cairan secara bebas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dengan ketinggian tertentu pada campuran beton porous yang telah dipadatkan dan telah dilepaskan dari cetakan. Permeabilitas dipengaruhi oleh porositas beton.

Permeabilitas merupakan hal yang penting pada beton berpori karena beton berpori selain berfungsi menahan beban saat digunakan sebagai perkerasan kaku juga berfungsi sebagai sarana resapan agar air hujan tidak tergenang dan meresap ke lapisan bawah perkerasan beton berpori. Untuk pengukuran permeabilitas pada beton pourus dapat menggunakan metode pada ACI-522R. Pengujian permeabilitas dilakukan dengan alat uji permeabilitas yaitu *water permeability test* dengan tipe tes *falling head water permeability test*.



Gambar 2. 6 Uji Permeabilitas Falling Head Water Permeability

Sumber : ACI-522R

Beton berpori akan diuji permeabilitasnya pada umur 28 hari. Perhitungan permeabilitas beton berpori menggunakan persamaan:

$$k = \frac{A_1 l}{A_2 t} \log \frac{h_1}{h_2} \quad \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan:

K = Permeabilitas air

A1 = Luas sample (mm)

A2 = Luas kubus (mm)

l = Panjang sample (mm)

t = Waktu (s)

h1 = Tinggi muka air awal (mm)

h2 = Tinggi muka air akhir (mm)

2.10 Penelitian Terdahulu

Menurut penelitian Naila Mahdiana (2018), penggunaan RCA dapat menurunkan kuat tekan beton karena RCA mengandung mortar dan menyebabkan penyerapannya semakin besar dan mudah retak dibandingkan dengan NCA. Selain itu, permeabilitas paling tinggi menggunakan variasi mix design 50% RCA dan ukuran agregat 1-2 cm. Pada penelitian Edwin Jong (2017), Penambahan *superplasticizer*, *fly ash*, dan *silica fume* pada campuran RCA mengakibatkan penurunan kuat tekan beton karena sifat *superplasticizer* yang mengencerkan pasta dan menyebabkan menurunnya daya rekan agregat beton *pouros*. Namun penggunaan *superplasticizer* pada campuran RCA menghasilkan kuat tekan beton yang lebih tinggi daripada digunakan pada campuran NCA 100%. Selain itu, menurut penelitian Eva Arifi (2014), penggunaan *fly ash* pada RCA dengan metode *pulse power discharge method* menghasilkan peningkatan kekuatan pada beton. Pada penelitian Prima Adikasih (2018), penggunaan *Polypropylene Fiber* dapat meningkatkan nilai regangan karena *Polypropylene Fiber* dapat mengurangi sifat getas pada beton *pouros* daripada penggunaan *glass fiber*.

2.11 Hipotesis Penelitian

1. Penggunaan RCA dapat menghasilkan nilai kuat tekan dan nilai modulus elastisitas yang lebih rendah dibandingkan penggunaan NCA pada beton porous.
2. Komposisi *SBR Latex* sebagai zat tambahan dapat meningkatkan nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton *porous*.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pembuatan sampel dan pengujian dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada semester VIII tahun ajaran 2019-2020.

3.2 Variabel Penelitian

a. Variabel Bebas (*Independent Variable*) adalah variabel yang mempengaruhi variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini meliputi:

1. Variasi presentase Agregat RCA (0% dan 100%) terhadap NCA.
2. Variasi presentase *SBR Latex* (0%, 5%, dan 10%) terhadap berat semen.

b. Variabel Terikat (*Dependent Variable*) adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton porous.

c. Variabel Terkontrol (*Control Variable*) adalah variabel yang bersifat konstan dan dapat dikendalikan serta tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang diteliti dan menjadi kontrol. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar berukuran 0,5 cm sampai 1,0 cm.
2. FAS yang digunakan sebesar 0,27.
3. Benda uji beton yang dibuat berbentuk silinder dengan tinggi 20 cm dan berdiameter 10 cm.
4. Pengujian beton dilakukan pada saat umur beton 28 hari

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Pelaksanaan uji kuat tekan dan modulus elastisitas beton *pouros* pada penelitian beton porous ini diperlukan peralatan sebagai berikut:

1. Bekisting pipa dengan tinggi 20 cm dan berdiameter 10 cm.
2. Timbangan dengan kapasitas 150 kg dengan ketelitian 100 gr.
3. Timbangan dengan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 1gr.
4. *Standard Hammer Proctor* diameter 5,1 cm dengan tinggi jatuh 450 mm.
5. Ayakan dengan ukuran 0,5-1 cm.

6. Satu set alat uji *slump* beton.
7. Satu set alat uji *void ratio* beton.
8. *Concrete Mixer*.
9. *Compression machine*
10. Ember.
11. Sekop dan cetok.
12. Jangka sorong dan mistar pengukur.

3.3.2 Bahan Penelitian

1. Agregat kasar berupa kerikil RCA dan NCA;
2. Semen *Portland Pozzolan* merek semen Gresik;
3. Air PDAM Kota Malang;
4. *SBR Latex*

3.4 Analisis Bahan

3.4.1 Agregat Kasar Alami (*Natural Coarse Aggregate*)

NCA didapatkan dari salah satu toko bangunan yang ada pada Kota Malang berada di Jalan Kalpataru. Sebelum digunakan, agregat NCA di uji terlebih dahulu. NCA yang di uji dengan ukuran 0,5 cm sampai 1,0 cm. Pengujian tersebut antara lain: *Density*, *Berat Jenis*, *Berat isi*, *Kadar air* dan *Absorpsi*.

3.4.2 Agregat Kasar Daur Ulang (*Recycled Coarse Aggregate*)

RCA yang digunakan berasal dari limbah beton normal sisa pengujian di laboratorium dengan mutu berkisar antara K-300 sampai K-400 yang berasal dari Kota Malang. Beton yang masih dalam bentuk silinder kemudian di hancurkan dengan di *crusher* untuk menjadi agregat daur ulang dengan ukuran yang diinginkan. Sebelum digunakan, RCA di uji terlebih dahulu. RCA yang digunakan dengan ukuran 0,5 cm sampai 1,0 cm. Pengujian tersebut antara lain: *Density*, *Berat Jenis*, *Berat isi*, *Kadar air* dan *Absorpsi*.

3.4.3 Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian bermerek Semen Gresik. Merupakan *Portland Pozzoland Cement* dan tidak dilakukan pengujian.

3.4.4 Air

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

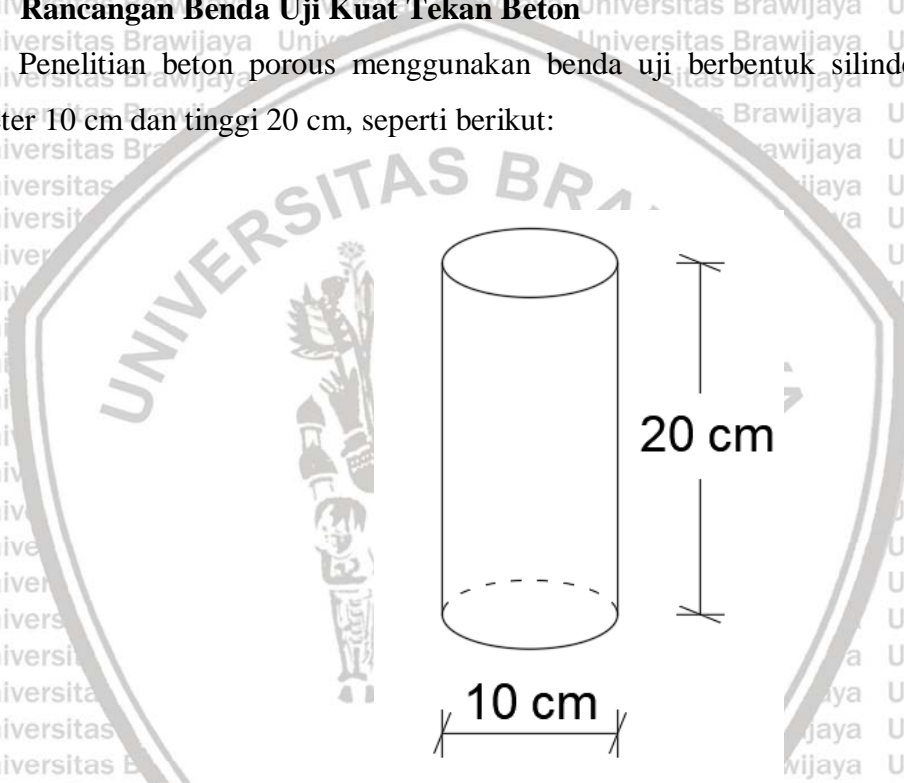
3.4.5 SBR Latex

SBR Latex menggunakan produk PT. Sika Indonesia.

3.5 Rancangan Penelitian

3.5.1 Rancangan Benda Uji Kuat Tekan Beton

Penelitian beton porous menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm, seperti berikut:



Gambar 3. 1 Rencana Benda Uji

Uji kuat tekan beton porous yang dilakukan yaitu pada saat umur beton mencapai 28 hari. Rancangan benda uji beton porous menggunakan agregat daur ulang dan agregat normal serta variasi *SBR Latex* terhadap berat semen

Tabel 3.1

Variasi Penelitian

Variasi Penelitian	Komposisi	Variabel	Keterangan
Variasi agregat kasar daur ulang	0%	R0	Agregat kasar alami 100%
	100%	R1	Agregat kasar daur ulang 100%
Variasi SBR latex	0%	S1	SBR latex 0%
	5%	S2	SBR latex 5%
	10%	S3	SBR latex 10%

Tabel 3.2

Variasi Benda Uji

Mix Design	Keterangan
R0S1	(Agregat kasar alami 100%, SBR latex 0%)
R0S2	(Agregat kasar alami 100%, SBR latex 5%)
R0S3	(Agregat kasar alami 100%, SBR latex 10%)
R1S1	(Agregat kasar daur ulang 100%, SBR latex 0%)
R1S2	(Agregat kasar daur ulang 100%, SBR latex 5%)
R1S3	(Agregat kasar daur ulang 100%, SBR latex 10%)

Tabel 3.3

Jumlah Sampel Benda Uji

Nama sampel	Persentase SBR latex (%)	Persentase agregat kasar daur ulang (%)	Persentase agregat kasar alami (%)	Jumlah Benda Uji
R0S1	0	0	100	3
R0S2	5	0	100	3
R0S3	10	0	100	3
R1S1	0	100	0	3
R1S2	5	100	0	3
R1S3	10	100	0	3

3.5.2 Mix Design Beton Porous

Pada penelitian ini, digunakan faktor air semen (FAS) sebesar 0,27 dikarenakan *admixture SBR Latex* dapat menambahkan kelecakan (*workability*). Campuran beton menggunakan perbandingan semen dengan agregat sebesar 1:4 dengan 3 sampel benda uji pada setiap variasi penelitian.

Tabel 3. 4

Faktor Benda Uji

Variasi	Komposisi	Keterangan
Faktor Air Semen	0,27	Ratio air : semen (w/c) 0,27
Komposisi semen dan agregat	1:4	Ratio semen : agregat 1:4
Komposisi SBR Latex	0%	Tanpa SBR Latex
	5%	5 % terhadap berat semen
	10%	10 % terhadap berat semen

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Pengujian Bahan Dasar

3.6.1.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 1970:2008. Pengujian ini dilakukan untuk menghitung berat jenis, berat jenis semu, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), dan presentase berat air yang mampu diserap pori terhadap berat agregat kasar kering.

3.6.1.2 Pengujian Berat Isi Agregat

Pengujian berat isi agregat dilakukan berdasarkan ASTM C29. Pengujian berat isi agregat dilakukan untuk menghitung perbandingan berat material kering agregat dengan volumenya.

3.6.2 Pengujian pada saat *Fresh Concrete*

3.6.2.1 Pengujian Kelecakan (*Slump Test*)

Pengujian ini mengacu pada SNI 1972-2008.

3.6.2.2 Pengujian *Density* dan *Void Ratio* pada *Fresh Concrete*

Tahapan pada pengujian ini didasarkan oleh ASTM C1688 tentang “*Standard Test Method for Density and Void Content of Freshly Mixed Pervious Concrete*”.

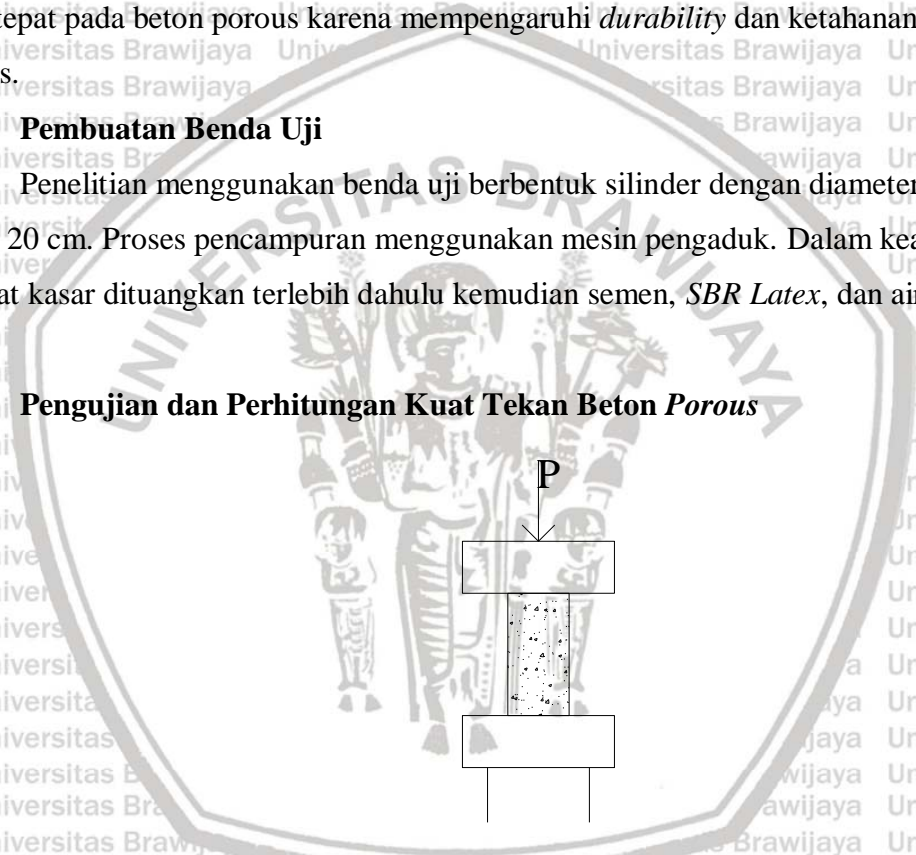
3.6.3 Tahap *Curing*

Metode *Curing* dilakukan berdasarkan ACI 552 1-3 dengan menutup permukaan beton menggunakan lembaran polietilen (plastik) selama 7 hari. Metode perawatan beton porous sangat berbeda dengan metode perawatan beton normal karena beton porous memiliki porositas yang tinggi sehingga proses evaporasi mudah terjadi. Diperlukan metode perawatan yang tepat pada beton porous karena mempengaruhi *durability* dan ketahanan dari beton porous.

3.6.4 Pembuatan Benda Uji

Penelitian menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Proses pencampuran menggunakan mesin pengaduk. Dalam keadaan menyala, agregat kasar dituangkan terlebih dahulu kemudian semen, *SBR Latex*, dan air.

3.6.5 Pengujian dan Perhitungan Kuat Tekan Beton *Porous*



Gambar 3. 2 Skema pengujian kuat tekan beton

Tahapan pada pengujian ini didasarkan oleh SNI 03-1974-1990 dan standar ASTM C-39 (*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*).

Perhitungan kuat tekan beton *pouros* menggunakan persamaan sebagai berikut:

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas bidang permukaan (cm²)

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{A}$$

Tabel 3.5

Tabel Uji Kuat Tekan Beton Porous

No	Mix Design	Keterangan	Rata - rata (Mpa)
1	R0S1	(Agregat kasar alami 100%, SBR <i>latex</i> 0%)	
2	R0S2	(Agregat kasar alami 100%, SBR <i>latex</i> 5%)	
3	R0S3	(Agregat kasar alami 100%, SBR <i>latex</i> 10%)	
4	R1S1	(Agregat kasar daur ulang 100%, SBR <i>latex</i> 0%)	
5	R1S2	(Agregat kasar daur ulang 100%, SBR <i>latex</i> 5%)	
6	R1S3	(Agregat kasar daur ulang 100%, SBR <i>latex</i> 10%)	

3.7 Tabulasi Hasil Pengujian

Tabel 3.6

Form Uji Slump

No	Mix Design	Keterangan	Slump (cm)
1	R0S1	(Agregat kasar alami 100%, SBR <i>latex</i> 0%)	
2	R0S2	(Agregat kasar alami 100%, SBR <i>latex</i> 5%)	
3	R0S3	(Agregat kasar alami 100%, SBR <i>latex</i> 10%)	
4	R1S1	(Agregat kasar daur ulang 100%, SBR <i>latex</i> 0%)	
5	R1S2	(Agregat kasar daur ulang 100%, SBR <i>latex</i> 5%)	
6	R1S3	(Agregat kasar daur ulang 100%, SBR <i>latex</i> 10%)	

Tabel 3.7

Form Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

No	Keterangan		1	2	3
1	Berat benda uji kering permukaan jenuh	B_j (gr)			
2	Berat benda uji kering oven	B_k (gr)			
3	Berat benda uji dalam air	B_a (gr)			
4	Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$B_k/(B_j-B_a)$			
5	Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	$B_j/(B_j-B_a)$			
6	Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	$B_k/(B_k-B_a)$			
7	Penyerapan (%) (Absorption)	$(B_j - B_k)/B_k \times 100\%$			
Average					

Tabel 3. 8

Tabel Rata-Rata *Void Ratio*

No	Mix Design	Keterangan	Mc	Mm	Vm (m3)	Ms	Vs (m3)	Density (D) (kg/m3)	Theoretical Density (T) (kg/m3)	Void Ratio (U) %	Rata-rata Void Ratio (U) %
1	R0S1	NCA Kontrol									
2	R0S2	NCA 5% SBR Latex									
3	R0S3	NCA 10% SBR Latex									
4	R1S1	RCA Kontrol									
5	R1S2	RCA 5% SBR Latex									
6	R1S3	RCA 10% SBR Latex									

Tabel 3. 9

Form Berat Isi Agregat Kasar

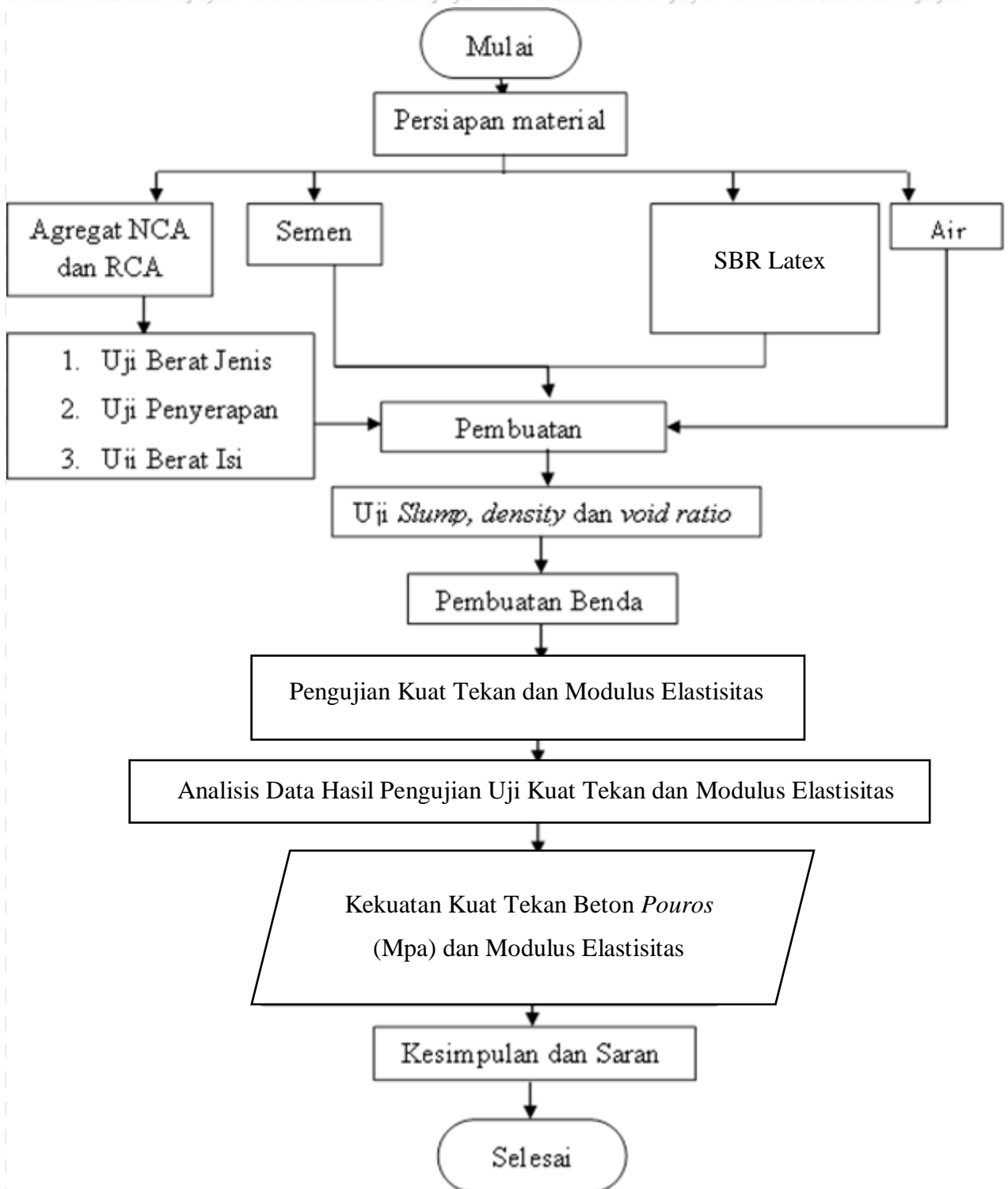
NO	KETERANGAN	1		2		3	
		Rodded	Shoveled	Rodded	Shoveled	Rodded	Shoveled
1	berat takaran gr						
2	berat takaran + air gr						
3	berat air = (2)-(1) gr						
4	volume air = (3)/1000 l						
5	berat takaran gr						
6	berat takaran + benda uji gr						
7	berat benda uji = (6)-(5) gr						
8	berat isi agregat kasar = (7)/(4) gr/l						
9	berat isi agregat kasar rata-rata kg/m ³						

Tabel 3. 10

Form Massa Total Campuran

NO	Kode mix design	Volume total (m ³)	Volume Campuran Akhir (m ³)	Volume Semen (m ³)	Berat Volume Semen (kg/m ³)	Berat Semen (kg)	Berat volume agregat kasar	Berat Volume agregat kasar (kg/m ³)	Berat Agregat Kasar (kg)	FAS	Berat air (kg)	Berat SBR (kg)	Massa Total campuran (kg)
1	R0S1												
2	R0S2												
3	R0S3												
4	R1S1												
5	R1S2												
6	R1S3												

3.8 Diagram Alir Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengaruh penggunaan *SBR Latex* terhadap kuat tekan beton porous dengan menggunakan aggregate kasar *Natural Coarse Aggregate* (NCA) dan *Recycled Coarse Aggregate* (RCA) akan dibahas pada bab ini. Penelitian ini berdasarkan pengujian yang dilakukan di laboratorium dan hasilnya akan diolah berdasarkan literatur.

4.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan bertujuan untuk mengetahui karakteristik bahan-bahan campuran beton yang akan memengaruhi kualitas beton yang akan dibuat. Ada dua jenis agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Natural Coarse Aggregate* (NCA) dan *Recycled Coarse Aggregate* (RCA). *Natural Coarse Aggregate* (NCA) berasal dari alam dan dipecah dengan menggunakan alat pemecah batu (*stone crusher*). *Recycled Coarse Aggregate* (RCA) berasal dari beton K-300 sampai K-400 dari sampel proyek yang dihancurkan dengan alat pemecah batu (*stone crusher*). Penelitian pendahuluan ini meliputi gradasi agregat kasar, berat isi agregat, berat jenis agregat dan penyerapan agregat.

4.1.1 Gradasi Agregat Kasar

Agregat kasar pada penelitian ini menggunakan dua jenis, yaitu *Natural Coarse Aggregate* (NCA) dan *Recycled Coarse Aggregate* (RCA). Gradasi agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini merupakan agregat dengan ukuran 5 mm sampai 10 mm.

4.1.2 Berat Isi Natural Coarse Aggregate (NCA) dan Recycled Coarse Aggregate (RCA)

Berat isi didapatkan dari hasil perbandingan massa agregat dan volume agregat. Penelitian berat isi digunakan dalam perhitungan *mix design* yang akan dibuat. Penelitian berat isi dilakukan dengan cara menimbang agregat pada volume yang telah ditentukan. Hasil dari penelitian berat isi NCA dan RCA terdapat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1

Berat Isi Agregat Kasar Alami (NCA)

NO	KETERANGAN		1		2		3		
			Rodded	Shoveled	Rodded	Shoveled	Rodded	Shoveled	
1	berat takaran	gr	1631.5	1631.5	1631.5	1631.5	1631.5	1631.5	
2	berat takaran + air	gr	4794.0	4794.0	4794.0	4794.0	4794.0	4794.0	
3	berat air = (2)-(1)	gr	3162.5	3162.5	3162.5	3162.5	3162.5	3162.5	
4	volume air = (3)/1000	l	3.1625	3.1625	3.1625	3.1625	3.1625	3.1625	
5	berat takaran	gr	1631.5	1631.5	1631.5	1631.5	1631.5	1631.5	
6	berat takaran + benda uji	gr	5980.00	5721	6175	5667	6073	5732	
7	berat benda uji = (6)-(5)	gr	4348.5	4089.5	4543.5	4035.0	4441.5	4100.0	
8	berat isi agregat kasar = (7)/(4)	gr/l	1375.020	1293.123	1436.680	1275.889	1404.427	1296.443	
9	berat isi agregat kasar rata-rata	kg/m ³	1346.9						
			1334.071		1356.285		1350.435		

Tabel 4.2

Berat Isi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

NO	KETERANGAN		1		2		3		
			Rodded	Shoveled	Rodded	Shoveled	Rodded	Shoveled	
1	berat takaran	gr	1631.50	1631.50	1631.50	1631.50	1631.50	1631.50	
2	berat takaran + air	gr	4794.00	4794.00	4794.00	4794.00	4794.00	4794.00	
3	berat air = (2)-(1)	gr	3162.50	3162.50	3162.50	3162.50	3162.50	3162.50	
4	volume air = (3)/1000	l	3.1625	3.1625	3.1625	3.1625	3.1625	3.1625	
5	berat takaran	gr	1631.50	1631.50	1631.50	1631.50	1631.50	1631.50	
6	berat takaran + benda uji	gr	5580.00	5230.00	5714.50	5476.50	5863.00	5487.50	
7	berat benda uji = (6)-(5)	gr	3948.50	3598.50	4083.00	3845.00	4231.50	3856.00	
8	berat isi agregat kasar = (7)/(4)	gr/l	1248.54	1137.87	1291.07	1215.81	1338.02	1219.29	
9	berat isi agregat kasar rata-rata	kg/m ³	1241.7655						
			1193.2016		1253.4387		1278.6561		

Berdasarkan hasil dari tabel 4.1 dan tabel 4.2 didapatkan berat isi dari agregat kasar alami sebesar 1346,9,3 kg/m³ yang lebih besar dari berat isi agregat kasar daur ulang yang sebesar 1241,7655 kg/m³. Berdasarkan Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 dapat didapatkan bahwa NCA lebih berat dan lebih padat daripada RCA.

4.1.3 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Alami (NCA) dan Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air dengan volume yang sama. Nilai berat jenis agregat sangat penting bagi perencanaan beton berpori karena berat jenis agregat menentukan banyaknya pori pada agregat tersebut. Berat jenis ada tiga macam yaitu, berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, dan berat jenis semu. Dan penyerapan adalah perbandingan antara air

yang berada di pori-pori agregat dan berat kering agregat tersebut. Hasil dari pengujian berat jenis agregat kasar alami terdapat pada tabel 4.3 dan tabel 4.4.

Tabel 4.3
Hasil Pengujian Berat Jenis dan Absorpsi NCA

Keterangan		1	2	3	Rata-rata
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj (gr)	5.070	5.165	5.1765	5.1370
Berat benda uji kering oven	Bk (gr)	4.900	4.8850	4.891	4.8918
Berat benda uji dalam air	Ba (gr)	2.9820	3.5350	3.5350	3.3507
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	Bk/(Bj-Ba)	2.3467	2.9979	2.9793	2.7746
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	Bj/(Bj-Ba)	2.4282	3.1694	3.1535	2.9170
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	Bk/(Bk-Ba)	2.5547	3.6185	3.6079	3.2604
Penyerapan (%) (Absorption)	$\frac{(Bj - Bk)}{Bk} \times 100\%$	3.4694	5.7216	5.8481	5.0130

Berdasarkan tabel 4.3 didapatkan hasil pengujian berat jenis curah rata-rata sebesar 2,77, berat jenis kering permukaan jenuh rata-rata sebesar 2,92, dan berat jenis semu rata-rata sebesar 3,26. Untuk penyerapan agregat didapatkan 5,01 %.

Tabel 4.4

Hasil Pengujian Berat Jenis dan Absorpsi RCA

Keterangan		1	2	3	Rata-rata
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj (gr)	5.3300	5.2000	5.1600	5.2300
Berat benda uji kering oven	Bk (gr)	4.8165	4.9800	4.7175	4.8380
Berat benda uji dalam air	Ba (gr)	3.5580	3.0020	3.0020	3.1873
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$Bk/(Bj - Ba)$	2.7181	2.2657	2.1861	2.3900
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	$Bj/(Bj - Ba)$	3.0079	2.3658	2.3911	2.5883
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)W	$Bk/(Bk - Ba)$	3.8272	2.5177	2.7499	3.0316
Penyerapan (%) (Absorption)	$(Bj - Bk)/Bk \times 100\%$	10.6613	4.4177	9.3800	8.1530

Berdasarkan tabel 4.4 didapatkan hasil pengujian berat jenis curah rata-rata sebesar 2,39, berat jenis kering permukaan jenuh rata-rata sebesar 2,58, dan berat jenis semu rata-rata sebesar 3,03. Untuk penyerapan agregat didapatkan 8,15%.

Perbandingan besar berat jenis pada tabel 4.3 dan tabel 4.4 menunjukkan berat jenis NCA lebih besar dibandingkan berat jenis RCA dan penyerapan NCA lebih kecil dibandingkan penyerapan RCA. Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.1 sampai dengan tabel 4.4 didapatkan bahwa mutu dari NCA lebih baik dari mutu RCA

4.1.4 Workabilitas (Workability)

Workability atau workabilitas adalah tingkat kemudahan beton dalam pencampuran, pengangkutan, penuangan, dan pemadatan. Pengujian ini dilakukan saat kondisi beton segar. Pada tabel 4.5 menunjukkan hasil pemadatan yang diuji dengan pengujian slump pada enam variasi *mix design*. Hasil pengujian slump ini menggunakan FAS sebesar 0,27.

Tabel 4.5
Uji Slump Beton Segar

No	Mix Design	Keterangan	Slump (cm)
1	R0S1	(NCA 100%, RCA 0%, SBR Latex 0%)	16.5
2	R0S2	(NCA 100%, RCA 0%, SBR Latex 5%)	17
3	R0S3	(NCA 100%, RCA 0%, SBR Latex 10%)	13.5
4	R1S1	(NCA 0%, RCA 100%, SBR Latex 0%)	15
5	R1S2	(NCA 0%, RCA 100%, SBR Latex 5%)	18.3
6	R1S3	(NCA 0%, RCA 100%, SBR Latex 10%)	15.5

Pada tabel 4.5, nilai slump yang tercatat berkisar antara 13,5 cm sampai dengan 18,3 cm. Semakin besar nilai slump suatu campuran beton akan berdampak pada kemudahan pengerjaan beton tersebut. Sebaliknya semakin kecil nilai slump akan mengakibatkan pengerjaan beton lebih sulit.

4.2 Berat Volume dan Void Ratio

4.2.1 Berat Volume (Density)

Berat volume (*density*) merupakan perbandingan antara massa benda dengan volume wadah alat uji. Pada penelitian ini dilakukan test berat volume sebanyak tiga sampel tiap variasi *mix design*. Pengecekan berat volume dilakukan dengan cara menuangkan beton segar ke alat uji secara bertahap, yaitu dibagi menjadi dua lapisan. Tiap lapisnya akan dipadatkan dengan *proctor hammer* sebanyak sepuluh kali sesuai dengan ASTM C 1688/C1688M-08. Dan hasil dari pengecekan ini dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6
Berat Volume

No	Mix Design	Ket	Mc	Mm	Vm (m ³)	Ms	Vs (m ³)	Density (D) (kg/m ³)	Rata-rata Densit (kg/m ³)
1	R0S1	NCA 0% SBR Latex	7.210	1.63	0.0048	117	0.08442	1163.95	1152.83
			7.110	1.63	0.0048	117	0.08442	1143.10	
			7.150	1.63	0.0048	117	0.08442	1151.44	
2	R0S2	NCA 5% SBR Latex	7.068	1.63	0.0048	118	0.08442	1134.23	1134.79
			7.073	1.63	0.0048	118	0.08442	1135.38	
			7.070	1.63	0.0048	118	0.08442	1134.75	
3	R0S3	NCA 10% SBR Latex	7.450	1.63	0.0048	119	0.08442	1214.02	1247.53
			7.680	1.63	0.0048	119	0.08442	1261.99	
			7.702	1.63	0.0048	119	0.08442	1266.58	
4	R1S1	RCA 0% SBR Latex	6.794	1.63	0.0048	110.35	0.08442	1077.18	1052.29
			6.700	1.63	0.0048	110.35	0.08442	1057.57	
			6.530	1.63	0.0048	110.35	0.08442	1022.11	
5	R1S2	RCA 5% SBR Latex	6.758	1.63	0.0048	111.20	0.08442	1069.57	1066.23
			6.727	1.63	0.0048	111.20	0.08442	1063.20	
			6.740	1.63	0.0048	111.20	0.08442	1065.92	
6	R1S3	RCA 10% SBR Latex	6.880	1.63	0.0048	112.06	0.08442	1095.12	1094.08
			6.870	1.63	0.0048	112.06	0.08442	1093.03	
			6.875	1.63	0.0048	112.06	0.08442	1094.08	

Pengukuran Mc untuk perhitungan void ratio pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pengambilan data Mc untuk berat volume

4.2.2 Void Ratio

Void ratio merupakan persentase keseluruhan void atau rongga di bandingkan volume benda. Isi pori dapat ditentukan menurut ASTM C1688. Isi pori ditentukan berdasarkan presentase total dari pori-pori oleh volume dalam sampel. *Void ratio* yang tinggi menandakan rongga pada beton porous sangat banyak sehingga akan membuat beton porous mengalami penurunan kekuatan dan koefisien permeabilitas akan meningkat. *Void Ratio* diperoleh dari perbandingan antara selisih *teoritical density* dan *actual density* dengan *teoritical density* dan dikalikan dengan 100%. *Teoritical density* adalah perbandingan antar massa total semua campuran material dengan total volume dari seluruh campuran. *Actual density* diperoleh dari pembagian massa benda uji dengan volume benda uji beton seperti yang sudah ditulis pada tabel 4.6. Sedangkan perhitungan massa total dan volume total campuran untuk perhitungan *teoritical density* akan disajikan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7

Berat volume material dan massa total campuran

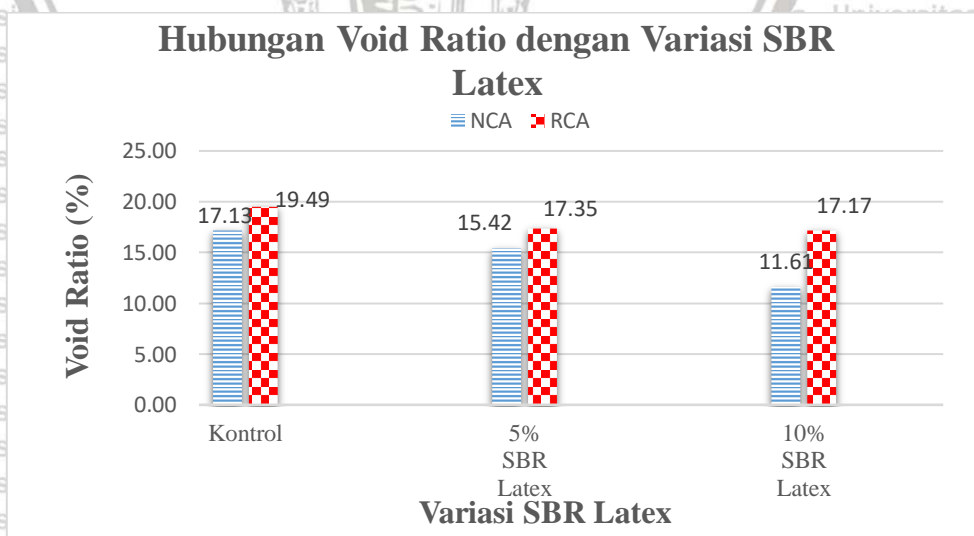
NO	Kode mix design	Volume total (m3)	Volume campuran n 150% (m3)	Volume Semen (m3)	Berat Volume Semen (kg/m3)	Berat Semen (kg)	volume agregat kasar	Berat Volume agregat kasar	Berat Agregat Kasar (kg)	FAS	Berat air (kg)	Berat SBR (kg)	Massa Total campura n (kg)
1	R0S1	0.0562 m3	0.0844	0.01688	1300	21.944	0.06752	1346.930	90.9447	0.27	4.5576	0	117.446
2	R0S2	0.0562 m4	0.0844	0.01688	1300	21.944	0.06752	1346.930	90.9447	0.27	4.5576	0.85666	118.303
3	R0S3	0.0562 m5	0.0844	0.01688	1300	21.944	0.06752	1346.930	90.9447	0.27	4.5576	1.71332	119.16
4	R1S1	0.0562 m6	0.0844	0.01688	1300	21.944	0.06752	1241.765	83.844	0.27	4.5576	0	110.346
5	R1S2	0.0562 m7	0.0844	0.01688	1300	21.944	0.06752	1241.765	83.844	0.27	4.5576	0.85666	111.202
6	R1S3	0.0562 m8	0.0844	0.01688	1300	21.944	0.06752	1241.765	83.844	0.27	4.5576	1.71332	112.059

Selanjutnya untuk menghitung *void ratio* adalah dengan cara membagi antara selisih *teoritical density* (M_s/V_s) dan *actual density* ($\frac{M_c - M_m}{V_m}$) dengan *teoritical density* atau bisa kita tulis menjadi $\frac{T-D}{T} \times 100\%$. Perhitungan *void ratio* dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8
Perhitungan *Void Ratio*

No	Mix Design	Keterangan	Mc	Mm	Vm (m3)	Ms	Vs (m3)	Density (D) (kg/m3)	Theoretical Density (T) (kg/m3)	Void Ratio (U) %	Kata-rata Void Ratio (U) %
1	R0S1	NCA 0% SBR Latex	7.210	1.63	0.0048	117	0.084	1163.95	1391.16	16.33	17.13
			7.110	1.63	0.0048	117	0.084	1143.10	1391.16	17.83	
			7.150	1.63	0.0048	117	0.084	1151.44	1391.16	17.23	
2	R0S2	NCA 5% SBR Latex	7.310	1.63	0.0048	118	0.084	1184.81	1401.31	15.45	15.42
			7.320	1.63	0.0048	118	0.084	1186.90	1401.31	15.30	
			7.306	1.63	0.0048	118	0.084	1183.98	1401.31	15.51	
3	R0S3	NCA 10% SBR Latex	7.450	1.63	0.0048	119	0.084	1214.02	1411.46	13.99	11.61
			7.680	1.63	0.0048	119	0.084	1261.99	1411.46	10.59	
			7.702	1.63	0.0048	119	0.084	1266.58	1411.46	10.26	
4	R1S1	RCA 0% SBR Latex	6.794	1.63	0.0048	110.35	0.084	1077.18	1307.05	17.59	19.49
			6.700	1.63	0.0048	110.35	0.084	1057.57	1307.05	19.09	
			6.530	1.63	0.0048	110.35	0.084	1022.11	1307.05	21.80	
5	R0S2	RCA 5% SBR Latex	6.819	1.63	0.0048	111.20	0.084	1082.39	1317.20	17.83	17.35
			6.879	1.63	0.0048	111.20	0.084	1094.81	1317.20	16.88	
			6.849	1.63	0.0048	111.20	0.084	1088.60	1317.20	17.35	
6	R0S3	RCA 10% SBR Latex	6.890	1.63	0.0048	112.06	0.084	1097.20	1327.35	17.34	17.17
			6.903	1.63	0.0048	112.06	0.084	1099.92	1327.35	17.13	
			6.910	1.63	0.0048	112.06	0.084	1101.38	1327.35	17.02	

Pada tabel 4.8 dapat dilihat perhitungan dan rata-rata *void ratio* dari sepuluh variasi *mix design* beton porous. *Void ratio* yang didapat berkisar antara 11% sampai dengan 19%. *Void ratio* terkecil didapat pada *mix design* NCA 10% SBR Latex sebesar 11,61% dan *void ratio* terbesar didapat pada RCA Kontrol sebesar 19,49%. Pada gambar 4.2 merupakan grafik hubungan *void ratio* dengan komposisi SBR Latex.



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara void ratio dengan SBR Latex

4.3 Kuat Tekan Beton *Porous*

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *SBR Latex* terhadap kuat tekan beton porous. Selain dipengaruhi oleh void ratio dan permeabilitas dari beton porous pengujian kuat tekan pada penelitian ini dilakukan saat beton berumur 28 hari. Pada penelitian ini mempunyai enam variasi *mix design*, dan tiap-tiap *mix design* mempunyai tiga benda uji beton porous. Hasil dari pengujian kuat tekan beton porous dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9

Uji Kuat Tekan Beton Porous

No	Mix Design	P/A (Mpa)	Rata-Rata (Mpa)
1	SBR 0% NCA 1	5.727	6.028
2	SBR 0% NCA 2	4.785	
3	SBR 0% NCA 3	7.573	
4	SBR 0% RCA 1	3.844	3.555
5	SBR 0% RCA 2	3.055	
6	SBR 0% RCA 3	3.767	
7	SBR 5% NCA 1	4.964	6.495
8	SBR 5% NCA 2	8.298	
9	SBR 5% NCA 3	6.224	
10	SBR 5% RCA 6	4.200	4.348
11	SBR 5% RCA 7	4.442	
12	SBR 5% RCA 8	4.404	
13	SBR 10% NCA 1	9.469	8.892
14	SBR 10% NCA 2	6.936	
15	SBR 10% NCA 3	10.271	
16	SBR 10% RCA 1	6.847	5.897
17	SBR 10% RCA 2	5.498	
18	SBR 10% RCA 3	5.345	

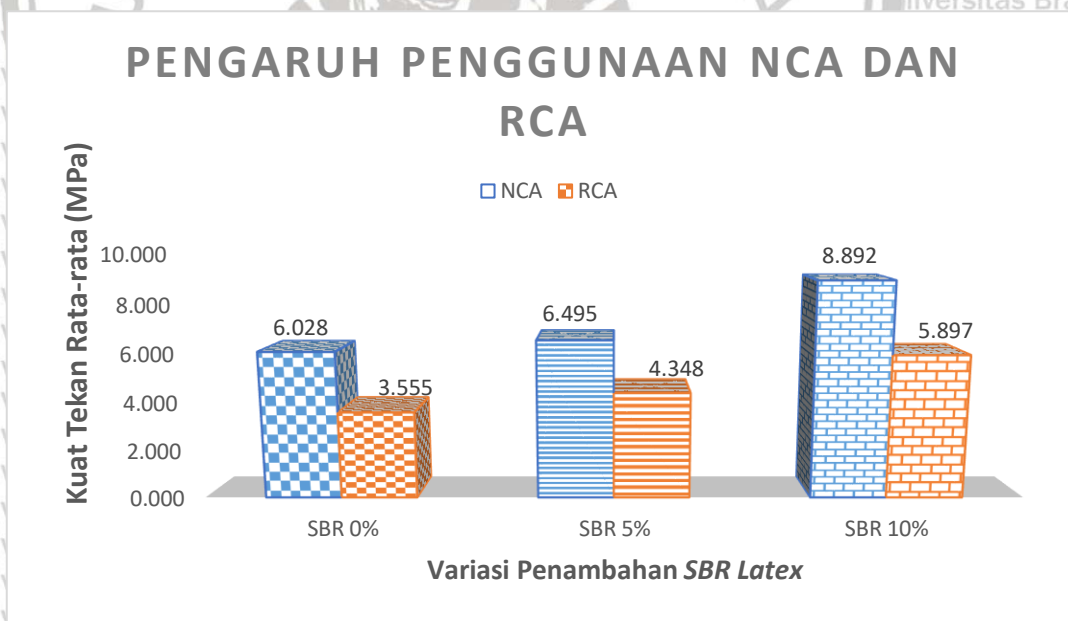
Hasil dari pengujian kuat tekan yang disajikan pada tabel 4.9 dapat disimpulkan menjadi kuat tekan rata-rata tiap variasi *mix design* yang dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10.

Kuat Tekan Rata-rata Silinder Beton Porous

No	Mix Design	Sample	Rata-rata (Mpa)
1	R0S1	SBR 0%	6.028
2	R0S1	SBR 5%	6.495
3	R0S3	SBR10%	8.892
4	R1S1	SBR 0%	3.555
5	R1S2	SBR 5%	4.348
6	R1S3	SBR10%	5.897

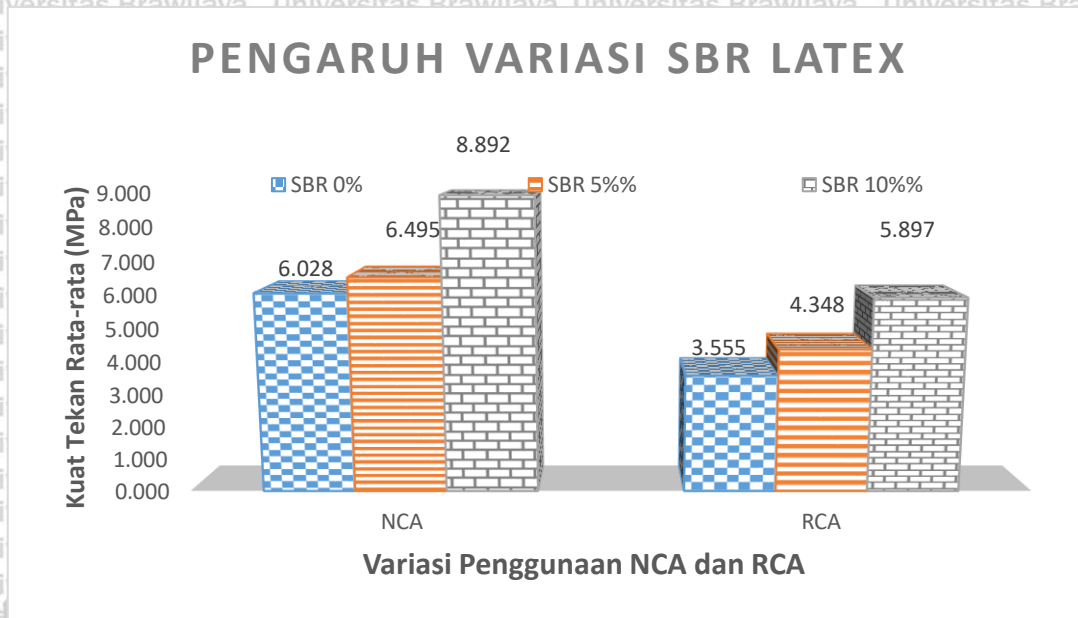
Pada tabel 4.10 dapat dilihat bahwa penggunaan agregat kasar alami (NCA) memiliki kuat tekan yang lebih besar daripada kuat tekan yang menggunakan agregat kasar daur ulang (RCA). Penambahan SBR pada NCA dan RCA meningkatkan kuat tekan seiring bertambahnya SBR. Hasil dari pengujian ini juga dapat dilihat pada gambar 4.6 dan gambar 4.7.



Gambar 4.3 Grafik pengaruh penggunaan NCA dan RCA pada kuat tekan beton porous

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa dari keenam variasi penambahan *SBR Latex* didapatkan hasil kuat tekan beton porous yang menggunakan agregat kasar alami (NCA) lebih tinggi daripada menggunakan agregat kasar daur ulang (RCA). Hal ini disebabkan

mutu NCA yang memang lebih baik dari mutu RCA berdasarkan pengujian agregat pada tabel 4.1 sampai dengan tabel 4.4.

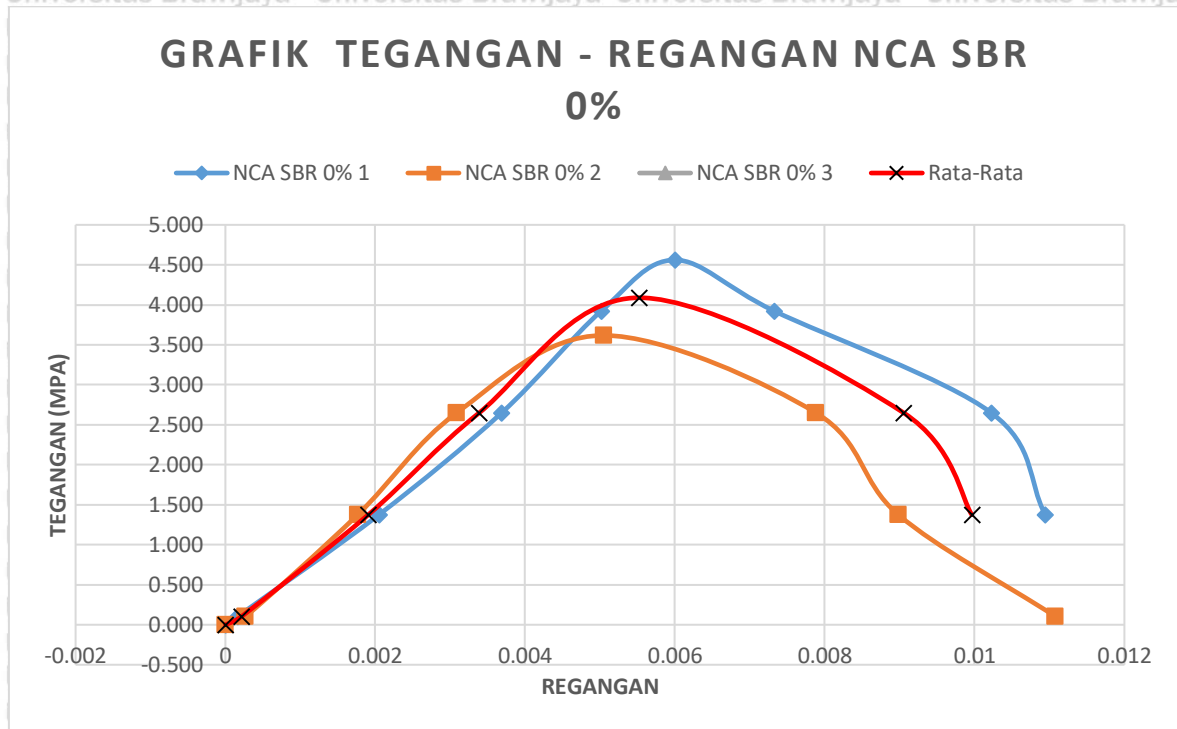


Gambar 4.4 Grafik pengaruh variasi penambahan SBR Latex pada kuat tekan beton porous

Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan kuat tekan beton porous yang dihasilkan dari penambahan *SBR Latex*. Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa penambahan komposisi *SBR Latex* pada beton berpori NCA dan RCA dapat meningkatkan kuat tekan beton. Pada pengujian beton porous dengan 5% SBR latex terjadi peningkatan kuat tekan beton sebesar 15,21% pada penggunaan NCA dan 22,3% pada penggunaan RCA. Beton porous dengan penambahan 10% SBR latex terjadi peningkatan sebesar 47,5% pada penggunaan NCA dan 65,87% pada penggunaan RCA

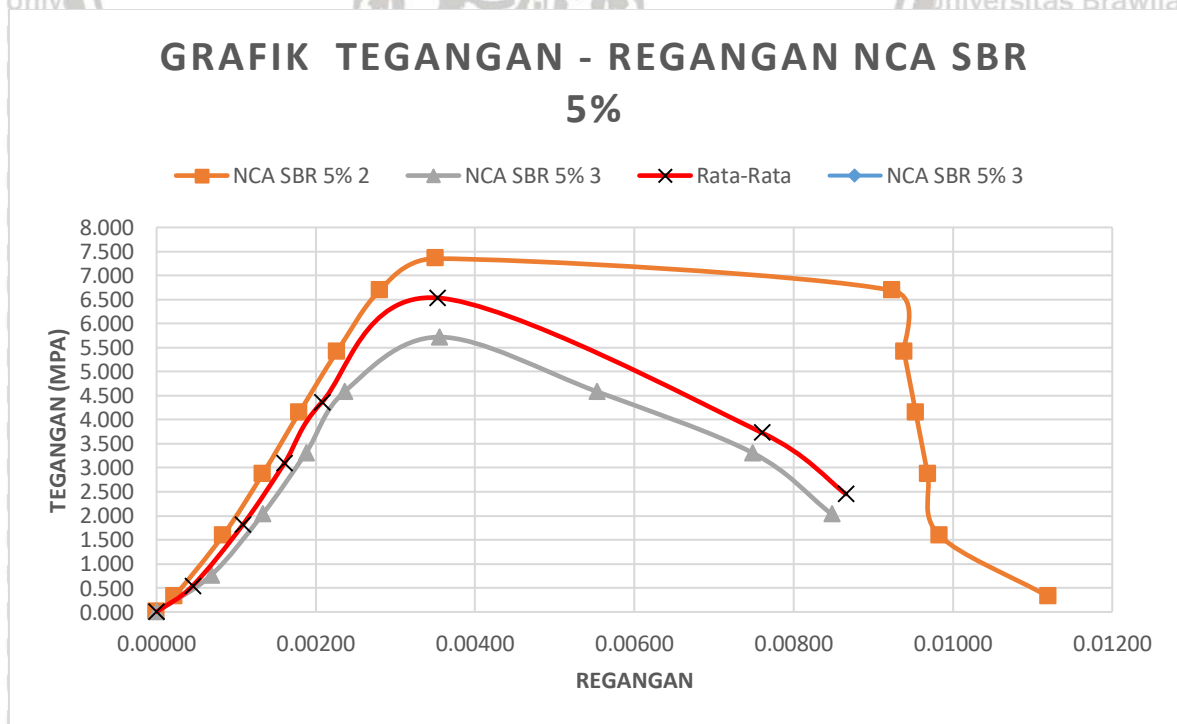
4.4 Grafik Tegangan-Regangan Tiap Variasi Beton Porous

Grafik tegangan-regangan dibuat untuk mengetahui besarnya modulus elastisitas beton porous yang ditambah dengan *SBR Latex* dibandingkan dengan beton porous normal. Dan grafik tegangan-regangan tersebut dapat digunakan untuk mencari nilai modulus elastisitas (E) beton porous. Grafik tegangan-regangan untuk tiap-tiap variasi dapat dilihat pada gambar 4.5 sampai dengan gambar 4.10.



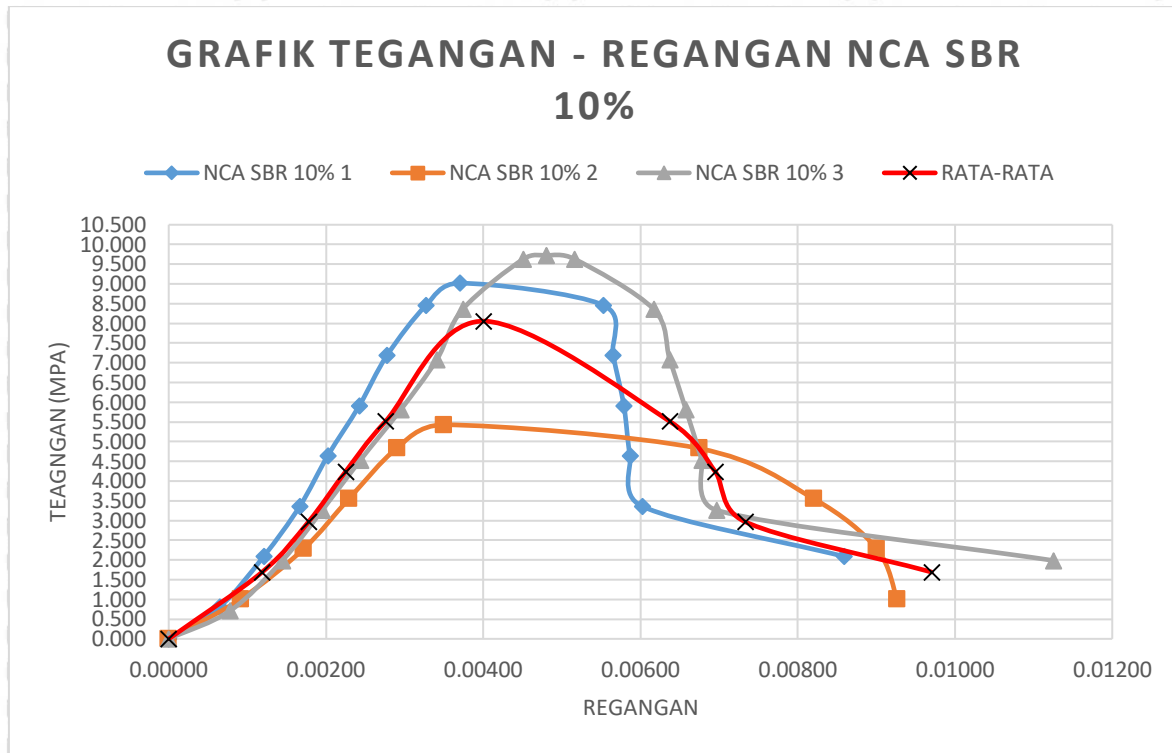
Gambar 4.5 Grafik tegangan-regangan NCA SBR 0%

Pada Gambar 4.5 merupakan grafik tegangan-regangan dengan variasi NCA SBR 0% dengan rata-rata grafik tegangan regangan tersebut.



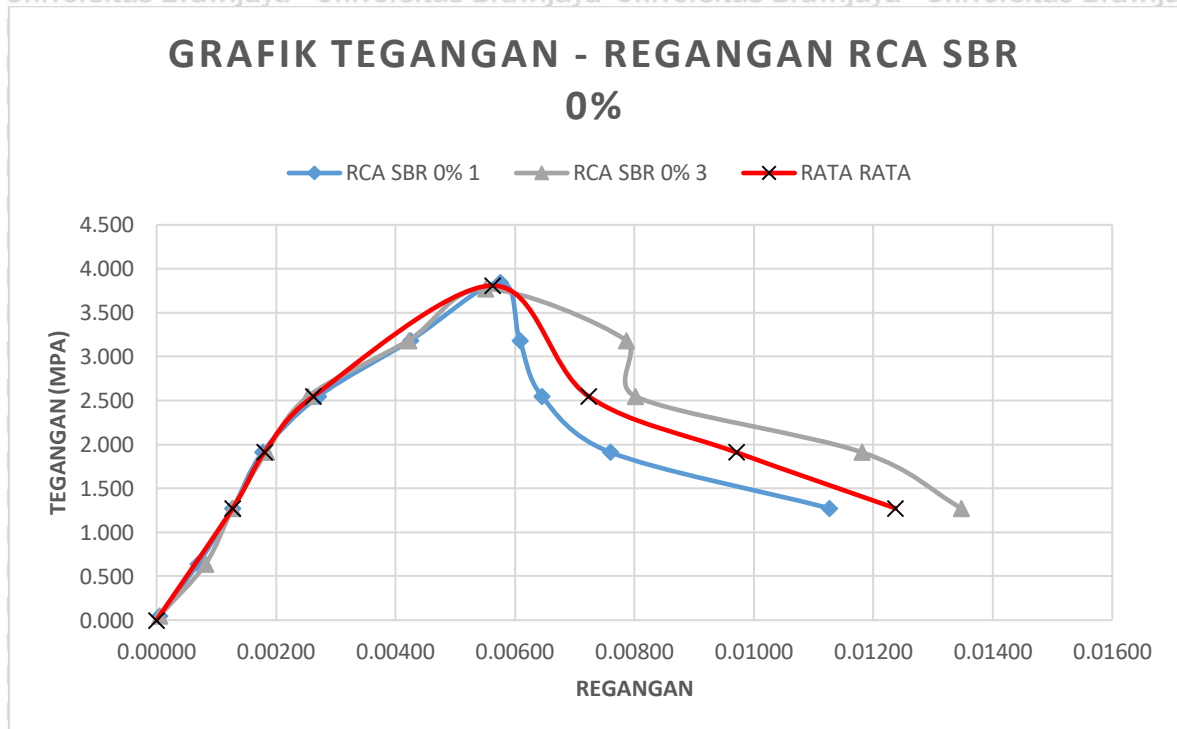
Gambar 4.6 Grafik tegangan-regangan NCA SBR 5%

Pada Gambar 4.6 merupakan grafik tegangan-regangan dengan variasi NCA SBR 5% dengan rata-rata grafik tegangan regangan tersebut.



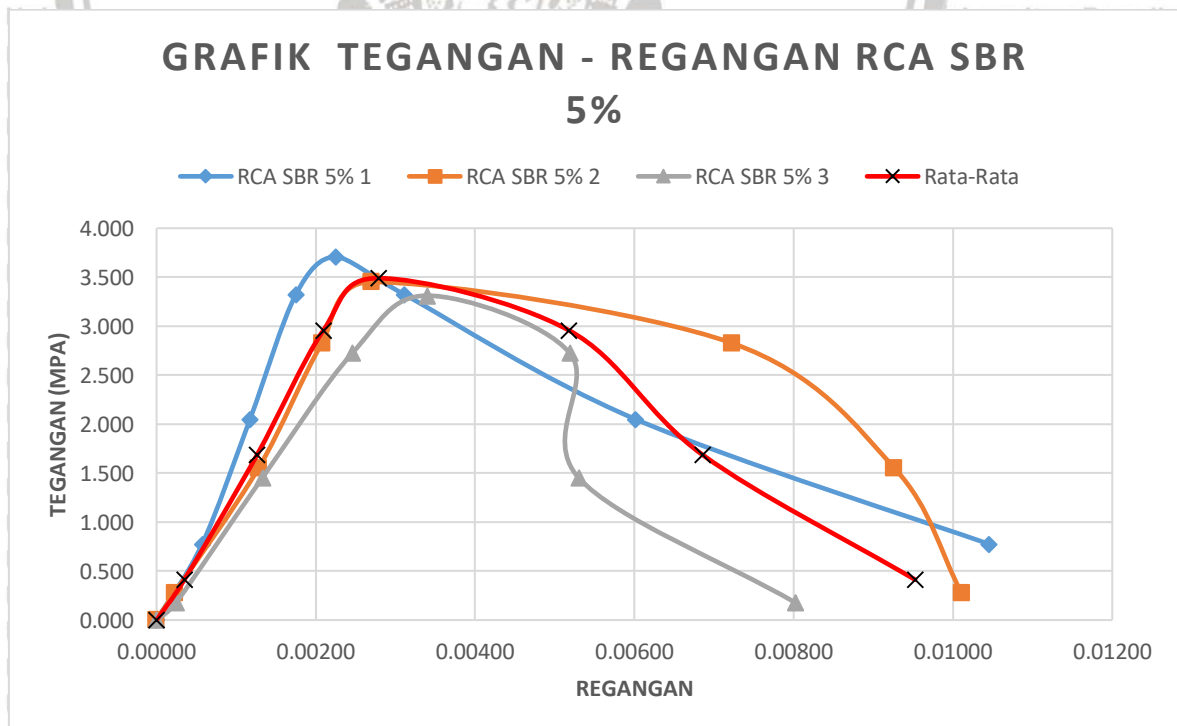
Gambar 4.7 Grafik tegangan-regangan NCA SBR 10%

Pada Gambar 4.7 merupakan grafik tegangan-regangan dengan variasi NCA SBR 10% dengan rata-rata grafik tegangan regangan tersebut.



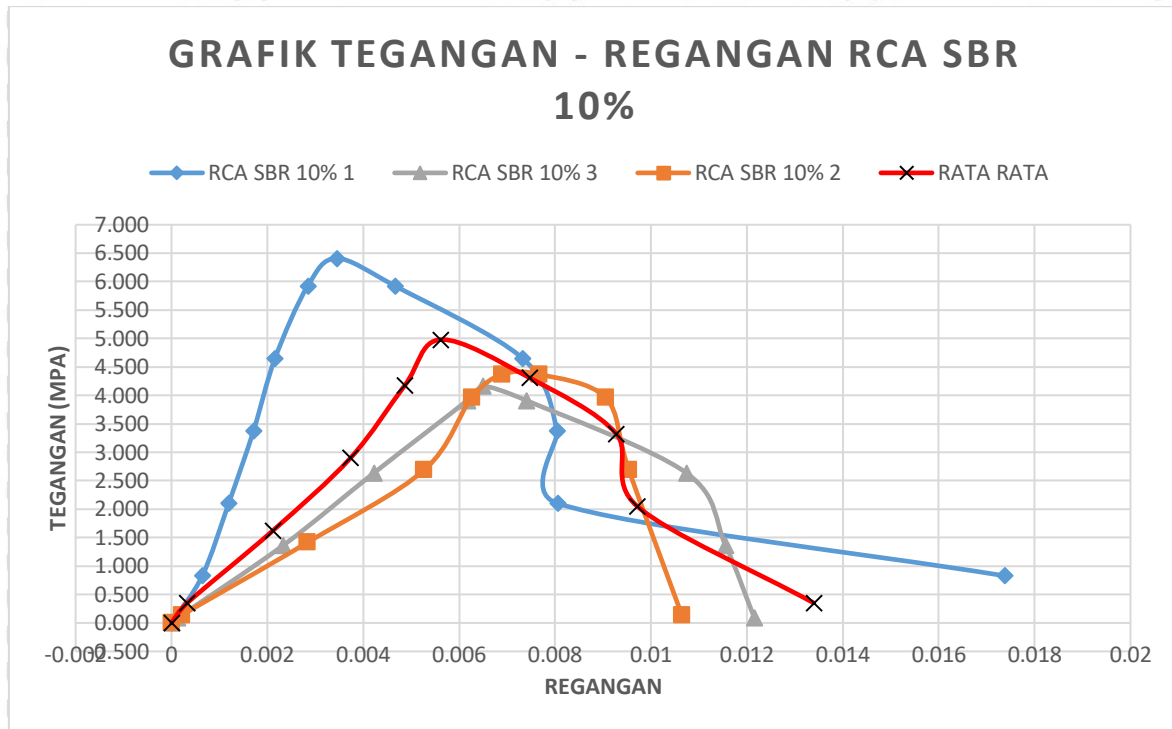
Gambar 4.8 Grafik rata-rata tegangan-regangan RCA SBR 0%

Pada Gambar 4.8 merupakan grafik tegangan-regangan dengan variasi RCA SBR 0 % dengan rata-rata grafik tegangan regangan tersebut.



Gambar 4.9 Grafik tegangan-regangan RCA SBR 5%

Pada Gambar 4.9 merupakan grafik tegangan-regangan dengan variasi RCA SBR 5% dengan rata-rata grafik tegangan regangan tersebut.

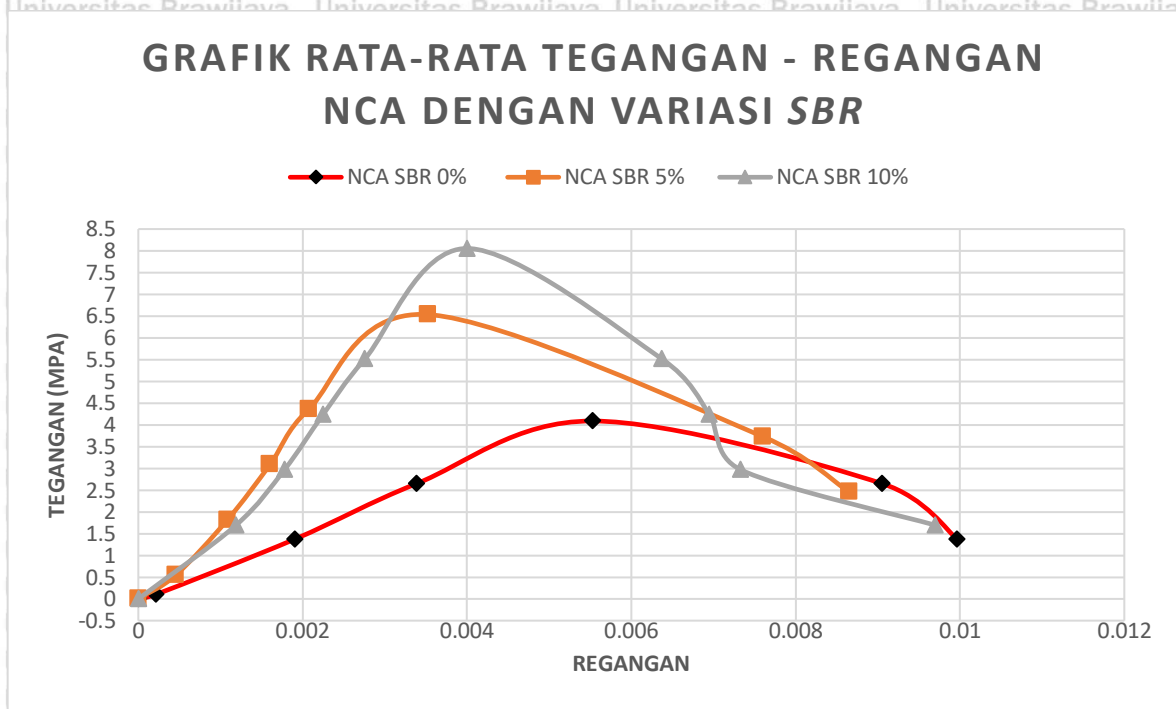


Gambar 4.10 Grafik tegangan-regangan RCA SBR 10%

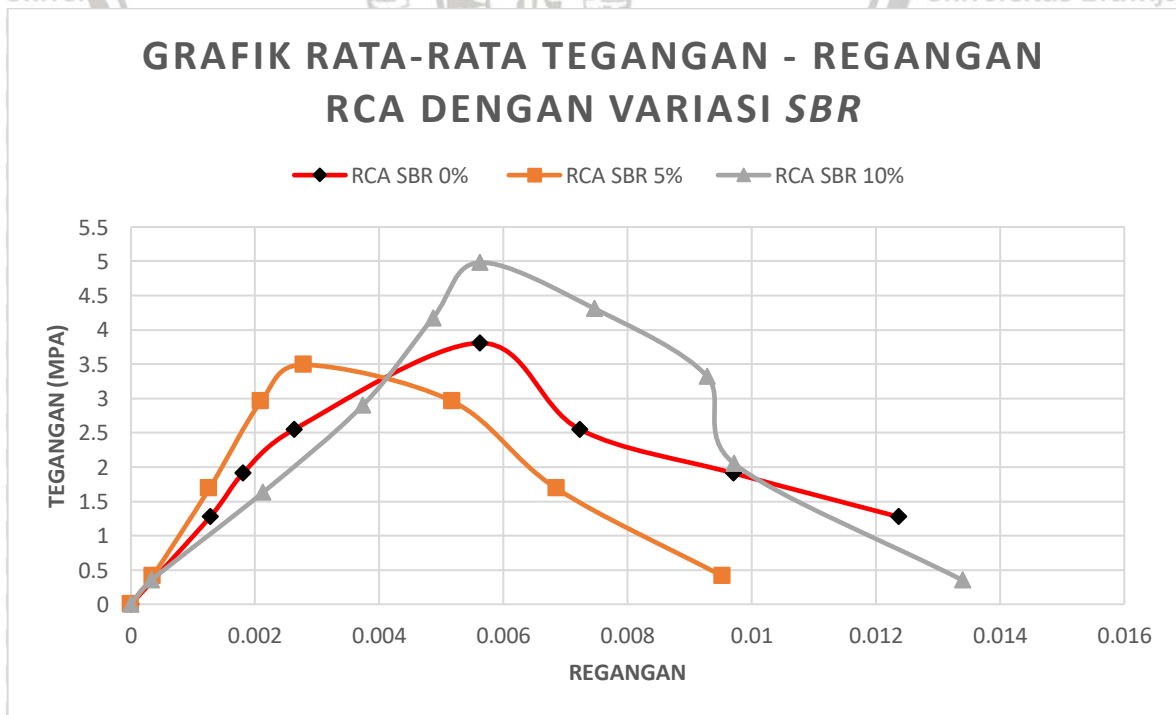
Pada Gambar 4.10 merupakan grafik tegangan-regangan dengan variasi RCA SBR 10% dengan rata-rata grafik tegangan regangan tersebut.

4.5 Grafik Tegangan-Regangan Rata-Rata Beton *Porous*

Berikut merupakan grafik tegangan-regangan rata-rata dari enam variasi *mix design*. Namun, pada grafik di bawah dibedakan antara variasi yang menggunakan NCA dan RCA agar dapat dibandingkan. Grafik tegangan-regangan untuk variasi NCA dapat dilihat pada gambar 4.11 dan untuk variasi RCA dapat dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.11 Grafik rata-rata tegangan-regangan NCA dengan SBR

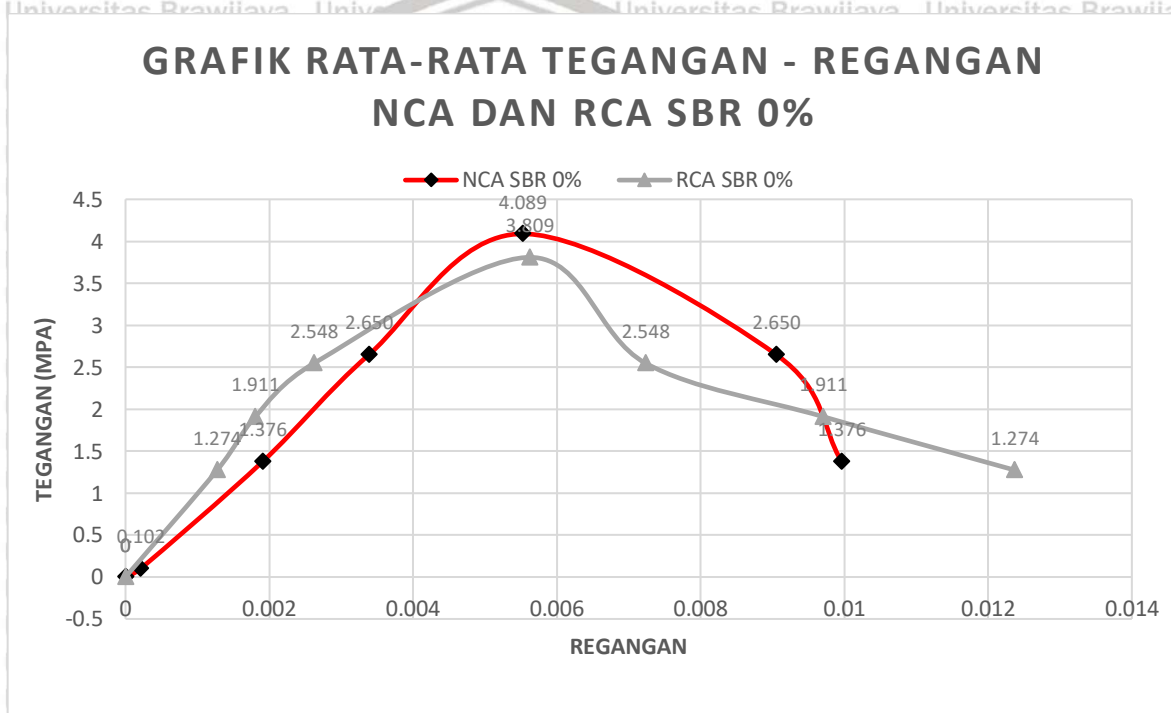


Gambar 4.12 Grafik rata-rata tegangan-regangan RCA dengan variasi SBR

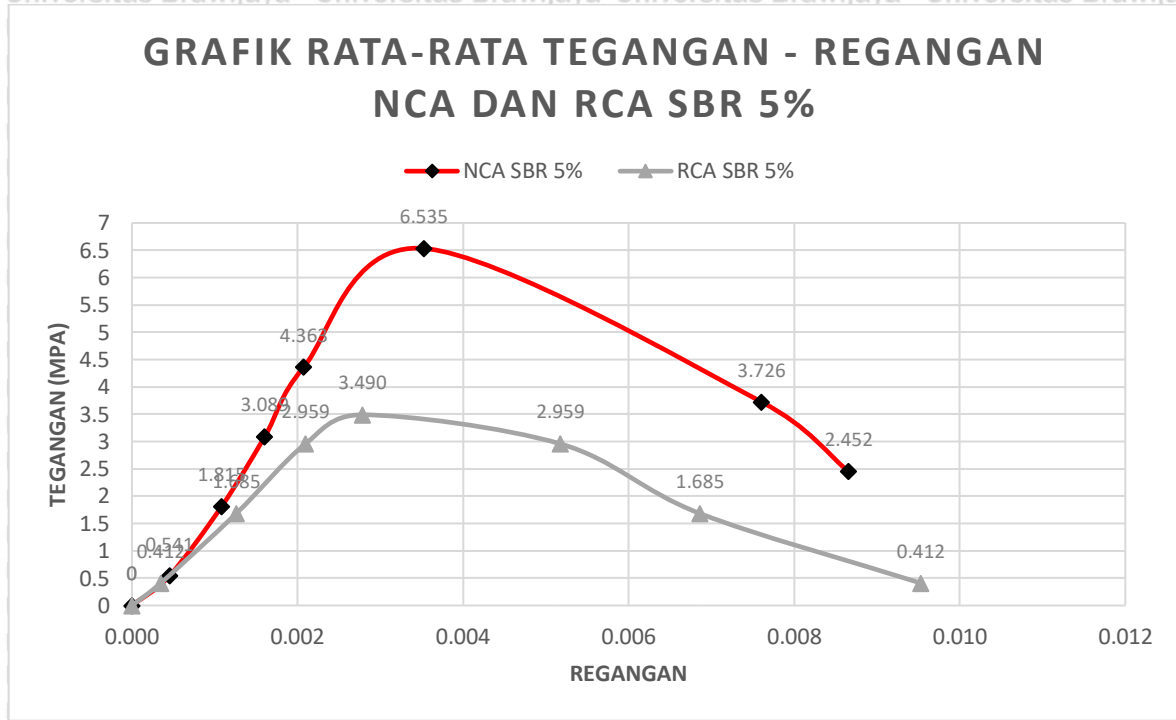
Dari hasil grafik rata-rata pada gambar 4.11 dan gambar 4.12 terlihat bahwa penambahan *SBR* pada beton pouros memiliki penambahan kuat tekan dan regangan.

4.6 Modulus Elastisitas (E) Beton Porous dengan SBR

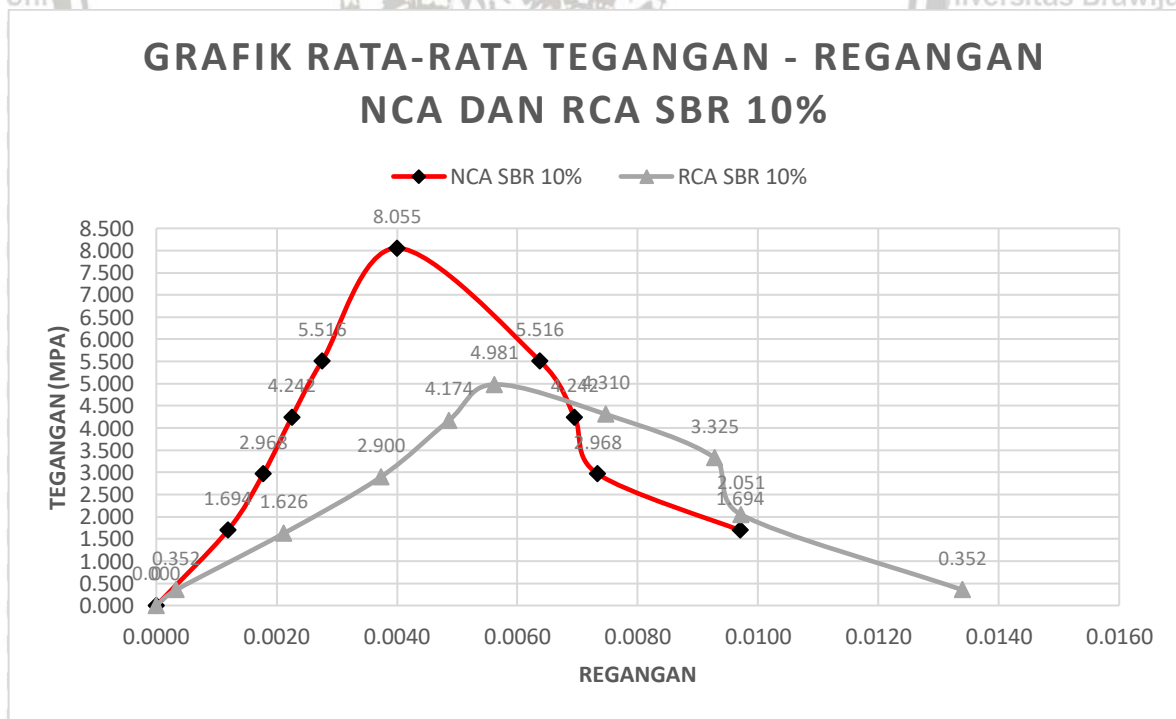
Grafik tegangan-regangan digunakan untuk menghitung nilai modulus elastisitas (E) beton porous. Untuk memudahkan melihat perbandingan modulus elastisitas digunakan grafik tegangan-regangan NCA dan RCA pada penambahan *SBR* yang sama.



Gambar 4.13 Grafik Rata-Rata Tegangan-Regangan NCA dan RCA SBR 0%



Gambar 4.14 Grafik Rata-Rata Tegangan-Regangan NCA dan RCA SBR 5%



Gambar 4.15 Grafik Rata-Rata Tegangan-Regangan NCA dan RCA SBR 10%

Pada grafik 4.13 sampai 4.15, modulus elastisitas dapat dihitung dari grafik tersebut dengan menggunakan metode garis singgung untuk mencari tangen modulusnya.

Pada tabel 4.11 merupakan hasil perhitungan dari modulus elastisitas menurut grafik 4.13 sampai 4.15.

Tabel 4.11

Data Perhitungan Modulus Elastisitas (E)

	E (Mpa)
NCA SBR 0%	1364.109735
NCA SBR 5%	1540.012983
NCA SBR 10%	1947.014676
RCA SBR 0%	917.0904396
RCA SBR 5%	1480.119901
RCA SBR 10%	1075.757857

Pada table 4.11 dapat terlihat bahwa penggunaan RCA pada pembuatan beton berpori juga memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih rendah dibandingkan NCA sehingga RCA lebih daktail dibandingkan NCA. Hal ini disebabkan karena mortar yang masih menempel pada RCA menyebabkan beton lebih mudah berkontraksi daripada NCA. Sulit mengambil kesimpulan dari pengaruh penggunaan *SBR Latex* pada beton *pourros* karena terjadi kenaikan dan penurunan nilai modulus elastisitas seiring penambahan *SBR Latex*.



Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis dari hasil penelitian didapat kesimpulan, yaitu:

1. Penggunaan RCA pada pembuatan beton berpori mengakibatkan penurunan kuat tekan beton berpori dibandingkan penggunaan NCA. Hal ini disebabkan oleh mutu RCA yang lebih rendah dari pada NCA. Penggunaan RCA pada pembuatan beton berpori juga memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih rendah dibandingkan NCA sehingga RCA lebih daktail dibandingkan NCA. Hal ini disebabkan karena mortar yang masih menempel pada RCA menyebabkan beton lebih mudah berkontraksi daripada NCA.
2. Menurut hasil pengujian kuat tekan beton menunjukkan penambahan *SBR latex* dalam campuran beton *porous* dapat meningkatkan kuat tekan beton. Pada pengujian beton *porous* dengan 5% *SBR latex* terjadi peningkatan kuat tekan beton sebesar 15,21% pada penggunaan NCA dan 22,3% pada penggunaan RCA. Beton *porous* dengan penambahan 10% *SBR latex* terjadi peningkatan sebesar 47,5% pada penggunaan NCA dan 65,87% pada penggunaan RCA. Sulit mengambil kesimpulan dari pengaruh penggunaan *SBR Latex* pada beton *pouros* karena terjadi kenaikan dan penurunan nilai modulus elastisitas seiring penambahan *SBR Latex*.

5.2 Saran

Pada penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh penggunaan *SBR latex* terhadap kuat tarik beton berpori dengan menggunakan agregat kasar daur ulang dapat diberikan saran sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan penelitian pendahuluan sehingga memperkecil risiko kegagalan dalam pengujian dan mengetahui kendala-kendala yang akan dialami dalam proses pengujian

2. Dapat dilakukan penelitian selanjutnya mengenai variasi penggunaan *SBR latex* yang lebih beragam untuk menentukan kadar *SBR latex* yang optimum dalam campuran beton berpori.



DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 522R. 2010. *Report on Pervious Concrete*.
- ASTM C 1688. *Standard Test Method for Density and Void Content of Freshly Mixed Pervious Concrete*.
- ASTM C-29. *Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate*.
- ASTM C-39. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*.
- Badan Standarisasi Nasional. 1990. *SNI 03-1969-1990 Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. *SNI 1972-2008 Cara Uji Slump Beton*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Badan Standarisasi Nasional. 1990. *SNI 03-1974-1990 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Badan Standarisasi Nasional. 1998. *SNI 03-4804-1998 Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *SNI 15-0302-2004 Semen Portland Pozolan*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Chandrappa, Anush K., Biligiri, Krishna Prapoorna. 2016. *Pervious Concrete as a Sustainable Pavement Material*. Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kharagpur.
- Jong, Edwin. 2017. Pengaruh Penggunaan Superplasticizer terhadap Kuat Tekan Beton Porous yang Menggunakan RCA (Recycled Coarse Aggregate). *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Braawijaya.
- Mahdiana, Naila. (2018). Pengaruh *Void Ratio* dan Permeabilitas Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Porous yang Menggunakan RCA (*Recycled Coarse Aggregate*). *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Nurilina, Siti. 2008. Struktur Beton (hlm 18). Malang: Bargie Media.
- Suseno, Kartika Candra. (2017). Pengaruh Komposisi *Fly Ash* terhadap kuat tekan beton porous dengan variasi komposisi agregat kasar daur ulang (RCA). *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

Adikasih, Prima. 2018. Pengaruh Penggunaan *Glass Fiber* dan *Polypropylene Fiber* terhadap Kuat Tekan Beton Porous yang Menggunakan RCA (Recycled Coarse Aggregate). *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Braawijaya.





Halaman ini sengaja dikosongkan



LAMPIRAN



Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 1 Data hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar alami

Keterangan		1	2	3	Rata-rata
Berat benda uji kering permukaan jenuh	B_j (gr)	5.070	5.165	5.1765	5.1370
Berat benda uji kering oven	B_k (gr)	4.900	4.8850	4.891	4.8918
Berat benda uji dalam air	B_a (gr)	2.9820	3.5350	3.5350	3.3507
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$B_k/(B_j-B_a)$	2.3467	2.9979	2.9793	2.7746
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	$B_j/(B_j-B_a)$	2.4282	3.1694	3.1535	2.9170
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	$B_k/(B_k-B_a)$	2.5547	3.6185	3.6079	3.2604
Penyerapan (%) (Absorption)	$(B_j-B_k)/B_k \times 100\%$	3.4694	5.7216	5.8481	5.0130

Lampiran 2 Data hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar daur ulang

Keterangan		1	2	3	Rata-rata
Berat benda uji kering permukaan jenuh	B_j (gr)	5.3300	5.2000	5.1600	5.2300
Berat benda uji kering oven	B_k (gr)	4.8165	4.9800	4.7175	4.8380
Berat benda uji dalam air	B_a (gr)	3.5580	3.0020	3.0020	3.1873
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$B_k/(B_j-B_a)$	2.7181	2.2657	2.1861	2.3900
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	$B_j/(B_j-B_a)$	3.0079	2.3658	2.3911	2.5883
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	$B_k/(B_k-B_a)$	3.8272	2.5177	2.7499	3.0316
Penyerapan (%) (Absorption)	$(B_j-B_k)/B_k \times 100\%$	10.6613	4.4177	9.3800	8.1530

Lampiran 3 Data hasil pengujian berat isi agregat kasar alami

NO	KETERANGAN		1		2		3	
			Rodded	Shoveled	Rodded	Shoveled	Rodded	Shoveled
1	berat takaran	gr	1631.5	1631.5	1631.5	1631.5	1631.5	1631.5
2	berat takaran + air	gr	4794	4794	4794	4794	4794	4794
3	berat air = (2)-(1)	gr	3162.5	3162.5	3162.5	3162.5	3162.5	3162.5
4	volume air = (3)/1000	l	3.1625	3.1625	3.1625	3.1625	3.1625	3.1625
5	berat takaran	gr	1631.5	1631.5	1631.5	1631.5	1631.5	1631.5
6	berat takaran + benda uji	gr	5980	5721	6175	5666.5	6073	5731.5
7	berat benda uji = (6)-(5)	gr	4348.5	4089.5	4543.5	4035	4441.5	4100
8	berat isi agregat kasar = (7)/(4)	gr/l	1375	1293.1	1436.7	1275.9	1404.4	1296.4
9	berat isi agregat kasar rata-rata	kg/m ³			1346.9			

Lampiran 4 Data hasil pengujian berat isi agregat kasar daur ulang

NO	KETERANGAN		1		2		3	
			Rodded	Shoveled	Rodded	Shoveled	Rodded	Shoveled
1	berat takaran	gr	1631.50	1631.50	1631.50	1631.50	1631.50	1631.50
2	berat takaran + air	gr	4794.00	4794.00	4794.00	4794.00	4794.00	4794.00
3	berat air = (2)-(1)	gr	3162.50	3162.50	3162.50	3162.50	3162.50	3162.50
4	volume air = (3)/1000	l	3.1625	3.1625	3.1625	3.1625	3.1625	3.1625
5	berat takaran	gr	1631.50	1631.50	1631.50	1631.50	1631.50	1631.50
6	berat takaran + benda uji	gr	5580.00	5230.00	5714.50	5476.50	5863.00	5487.50
7	berat benda uji = (6)-(5)	gr	3948.50	3598.50	4083.00	3845.00	4231.50	3856.00
8	berat isi agregat kasar = (7)/(4)	gr/l	1248.5375	1137.8656	1291.0672	1215.8103	1338.0237	1219.2885
9	berat isi agregat kasar rata-rata	kg/m ³			1241.7655			

Lampiran 5 Berat Volume (Density) Beton Porous

No	Mix Design	Keterangan	Mc	Mm	Vm (m ³)	Ms	Vs (m ³)	Density (D) (kg/m ³)	Rata-rata Densit (kg/m ³)
1	R0S1	NCA 0% SBR Latex	7.210	1.63	0.0048	117	0.08442	1163.95	1152.83
			7.110	1.63	0.0048	117	0.08442	1143.10	
			7.150	1.63	0.0048	117	0.08442	1151.44	
2	R0S2	NCA 5% SBR Latex	7.068	1.63	0.0048	118	0.08442	1134.23	1134.79
			7.073	1.63	0.0048	118	0.08442	1135.38	
			7.070	1.63	0.0048	118	0.08442	1134.75	
3	R0S3	NCA 10% SBR Latex	7.450	1.63	0.0048	119	0.08442	1214.02	1247.53
			7.680	1.63	0.0048	119	0.08442	1261.99	
			7.702	1.63	0.0048	119	0.08442	1266.58	
4	R1S1	RCA 0% SBR Latex	6.794	1.63	0.0048	110.35	0.08442	1077.18	1052.29
			6.700	1.63	0.0048	110.35	0.08442	1057.57	
			6.530	1.63	0.0048	110.35	0.08442	1022.11	
5	R1S2	RCA 5% SBR Latex	6.758	1.63	0.0048	111.20	0.08442	1069.57	1066.23
			6.727	1.63	0.0048	111.20	0.08442	1063.20	
			6.740	1.63	0.0048	111.20	0.08442	1065.92	
6	R1S3	RCA 10% SBR Latex	6.880	1.63	0.0048	112.06	0.08442	1095.12	1094.08
			6.870	1.63	0.0048	112.06	0.08442	1093.03	
			6.875	1.63	0.0048	112.06	0.08442	1094.08	



Lampiran 6 Massa Total Campuran Beton Porous

NO	Kode mix design	Volume total (m3)	Volume campuran 150% (m3)	Volume Semen (m3)	Berat Volume Semen (kg/m3)	Berat Semen (kg)	volume agregat kasar	Berat Volume agregat kasar (kg/m3)	Berat Agregat Kasar (kg)	FAS	Berat air (kg)	Berat SBR (kg)	Massa Total campuran (kg)
1	R0S1	0.0562 m3	0.0844	0.01688	1300	21.944	0.06752	1346.930	90.94473	0.27	4.5576	0	117.4463
2	R0S2	0.0562 m4	0.0844	0.01688	1300	21.944	0.06752	1346.930	90.94473	0.27	4.5576	0.85666	118.303
3	R0S3	0.0562 m5	0.0844	0.01688	1300	21.944	0.06752	1346.930	90.94473	0.27	4.5576	1.71332	119.1596
4	R1S1	0.0562 m6	0.0844	0.01688	1300	21.944	0.06752	1241.7655	83.84401	0.27	4.5576	0	110.3456
5	R1S2	0.0562 m7	0.0844	0.01688	1300	21.944	0.06752	1241.7655	83.84401	0.27	4.5576	0.85666	111.2023
6	R1S3	0.0562 m8	0.0844	0.01688	1300	21.944	0.06752	1241.7655	83.84401	0.27	4.5576	1.71332	112.0589

Lampiran 7 Presentase *Void Ratio*

No	Mix Design	Keterangan	Mc	Mm	Vm (m ³)	Ms	Vs (m ³)	Density (D) (kg/m ³)	Theoretical Density (T) (kg/m ³)	Void Ratio (U) %	Rata-rata Void Ratio (U) %
1	Kontrol	NCA Kontrol	7.210	1.63	0.0048	117	0.084	1163.95	1391.16	16.33	17.13
			7.110	1.63	0.0048	117	0.084	1143.10	1391.16	17.83	
			7.150	1.63	0.0048	117	0.084	1151.44	1391.16	17.23	
2	R0S2	NCA 5% SBR Latex	7.310	1.63	0.0048	118	0.084	1184.81	1401.31	15.45	15.42
			7.320	1.63	0.0048	118	0.084	1186.90	1401.31	15.30	
			7.306	1.63	0.0048	118	0.084	1183.98	1401.31	15.51	
3	R0S3	NCA 10% SBR Latex	7.450	1.63	0.0048	119	0.084	1214.02	1411.46	13.99	11.61
			7.680	1.63	0.0048	119	0.084	1261.99	1411.46	10.59	
			7.702	1.63	0.0048	119	0.084	1266.58	1411.46	10.26	
4	Kontrol	RCA Kontrol	6.794	1.63	0.0048	110.35	0.084	1077.18	1307.05	17.59	19.49
			6.700	1.63	0.0048	110.35	0.084	1057.57	1307.05	19.09	
			6.530	1.63	0.0048	110.35	0.084	1022.11	1307.05	21.80	
5	R0S2	RCA 5% SBR Latex	6.819	1.63	0.0048	111.20	0.084	1082.39	1317.20	17.83	17.35
			6.879	1.63	0.0048	111.20	0.084	1094.81	1317.20	16.88	
			6.849	1.63	0.0048	111.20	0.084	1088.60	1317.20	17.35	
6	R0S3	RCA 10% SBR Latex	6.890	1.63	0.0048	112.06	0.084	1097.20	1327.35	17.34	17.17
			6.903	1.63	0.0048	112.06	0.084	1099.92	1327.35	17.13	
			6.910	1.63	0.0048	112.06	0.084	1101.38	1327.35	17.02	

Lampiran 8 Hasil Uji Kuat Tekan Beton *Pouros*

A (mm ²) =	7850				Berat (kg) =	3.57
L0 (mm) =	200				Lendutan awal (mm) =	0
NCA SBR 0% 1						
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	Δl/l0	E
9.2	9200	1.172	0.000	0.000	0.00000	0.00
10	10000	1.274	0.032	0.032	0.00016	7961.78
10.2	10200	1.299	0.040	0.040	0.00020	6496.82
11.4	11400	1.452	0.060	0.060	0.00030	4840.76
12.4	12400	1.580	0.100	0.100	0.00050	3159.24
13.7	13700	1.745	0.140	0.140	0.00070	2493.18
15.1	15100	1.924	0.180	0.180	0.00090	2137.30
17.0	17000	2.166	0.220	0.220	0.00110	1968.73
18.1	18100	2.306	0.280	0.280	0.00140	1646.95
19.1	19100	2.433	0.350	0.350	0.00175	1390.35
20.0	20000	2.548	0.410	0.410	0.00205	1242.81
21.0	21000	2.675	0.480	0.480	0.00240	1114.65
21.9	21900	2.790	0.520	0.520	0.00260	1073.00
24.1	24100	3.070	0.560	0.560	0.00280	1096.45
26.5	26500	3.376	0.640	0.640	0.00320	1054.94
28.6	28600	3.643	0.720	0.720	0.00360	1012.03
30	30000	3.822	0.738	0.738	0.00369	1036.38
30.2	30200	3.847	0.740	0.740	0.00370	1039.77
33.9	33900	4.318	0.820	0.820	0.00410	1053.29
35.2	35200	4.484	0.890	0.890	0.00445	1007.66
37.6	37600	4.790	0.930	0.930	0.00465	1030.07
38.9	38900	4.955	0.980	0.980	0.00490	1011.31
40.0	40000	5.096	1.004	1.004	0.00502	1015.48
41.7	41700	5.312	1.040	1.040	0.00520	1021.56
42.1	42100	5.363	1.080	1.080	0.00540	993.16
42.5	42500	5.414	1.100	1.100	0.00550	984.37
43.1	43100	5.490	1.130	1.130	0.00565	971.76
44.4	44400	5.656	1.160	1.160	0.00580	975.18
45.0	45000	5.732	1.200	1.200	0.00600	955.41
44.8	44800	5.707	1.240	1.240	0.00620	920.48
43.1	43100	5.490	1.290	1.290	0.00645	851.23
40.0	40000	5.096	1.465	1.465	0.00732	695.77
37.6	37600	4.790	1.600	1.600	0.00800	598.73
30.0	30000	3.822	2.045	2.045	0.01022	373.81
28.2	28200	3.592	2.150	2.150	0.01075	334.17

20.0	20000	2.548	2.189	2.189	0.01094	232.81
15.5	15500	1.975	2.210	2.210	0.01105	178.69
13.7	13700	1.745	2.350	2.350	0.01175	148.53
13.2	13200	1.682	2.390	2.390	0.01195	140.71
13.0	13000	1.656	2.420	2.42	0.01210	136.86



A (mm ²) =	7850				Berat (kg) =	3.5
L0 (mm) =	200				Lendutan awal (mm) =	0
NCA SBR 0% 2						
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	Δl/l0	E
9.2	9200	1.172	0.000	0.000	0.00000	#DIV/0!
10	10000	1.274	0.053	0.053	0.00027	4777.07
10.1	10100	1.287	0.060	0.060	0.00030	4288.75
11.8	11800	1.503	0.120	0.120	0.00060	2505.31
13.4	13400	1.707	0.180	0.180	0.00090	1896.67
14.9	14900	1.898	0.200	0.200	0.00100	1898.09
16.1	16100	2.051	0.260	0.260	0.00130	1577.66
18.6	18600	2.369	0.300	0.300	0.00150	1579.62
19.4	19400	2.471	0.340	0.340	0.00170	1453.73
20	20000	2.548	0.353	0.353	0.00177	1442.13
22.1	22100	2.815	0.400	0.400	0.00200	1407.64
23.9	23900	3.045	0.460	0.460	0.00230	1323.73
25.7	25700	3.274	0.500	0.500	0.00250	1309.55
26.8	26800	3.414	0.540	0.540	0.00270	1264.45
30	30000	3.822	0.618	0.618	0.00309	1237.63
30.1	30100	3.834	0.620	0.620	0.00310	1236.90
31	31000	3.949	0.680	0.680	0.00340	1161.48
33.7	33700	4.293	0.740	0.740	0.00370	1160.27
34.6	34600	4.408	0.800	0.800	0.00400	1101.91
36.2	36200	4.611	0.840	0.840	0.00420	1097.97
36.9	36900	4.701	0.880	0.880	0.00440	1068.33
37.4	37400	4.764	0.940	0.940	0.00470	1013.69
37.6	37600	4.790	1.010	1.010	0.00505	948.48
36.0	36000	4.586	1.430	1.430	0.00715	641.40
30.0	30000	3.822	1.577	1.577	0.00788	484.78
22.5	22500	2.866	1.760	1.760	0.00880	325.71
20.0	20000	2.548	1.796	1.796	0.00898	283.64
12.9	12900	1.643	1.900	1.900	0.00950	172.98
12.8	12800	1.631	2.150	2.150	0.01075	151.681
10	10000	1.274	2.216	2.216	0.01108	114.955
9.0	9000	1.146	2.240	2.240	0.01120	102.366
8.4	8400	1.070	2.310	2.310	0.01155	92.646
8.2	8200	1.045	2.400	2.400	0.01200	87.049
8.1	8100	1.032	2.560	2.560	0.01280	80.613
7.9	7900	1.006	2.730	2.730	0.01365	73.727
7.6	7600	0.968	2.870	2.870	0.01435	67.467
7.1	7100	0.904	3.080	3.080	0.01540	58.731
7.0	7000	0.892	3.110	3.110	0.01555	57.345

A (mm ²) =	7850			Berat (kg) =	3.5	
L0 (mm) =	200			Lendutan awal (mm) =	0	
NCA SBR 0% 3						
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	$\Delta l/l_0$	E
0.4	400	0.051	0.020	0.020	0.00010	0.00
1.2	1200	0.153	0.030	0.030	0.00015	1.00
2.5	2500	0.318	0.050	0.050	0.00025	1273.89
3.1	3100	0.395	0.060	0.060	0.00030	1316.35
4	4000	0.510	0.070	0.070	0.00035	1455.87
4.8	4800	0.611	0.080	0.080	0.00040	1528.66
5.9	5900	0.752	0.090	0.090	0.00045	1670.21
6.9	6900	0.879	0.100	0.100	0.00050	1757.96
8.2	8200	1.045	0.110	0.110	0.00055	1899.25
9	9000	1.146	0.120	0.120	0.00060	1910.83
10	10000	1.274	0.127	0.127	0.00064	2003.86
10.4	10400	1.325	0.130	0.130	0.00065	2038.22
10.9	10900	1.389	0.140	0.140	0.00070	1983.62
12.3	12300	1.567	0.150	0.150	0.00075	2089.17
13.9	13900	1.771	0.160	0.160	0.00080	2213.38
15.1	15100	1.924	0.180	0.180	0.00090	2137.30
17.2	17200	2.191	0.190	0.190	0.00095	2306.40
18.5	18500	2.357	0.210	0.210	0.00105	2244.46
20	20000	2.548	0.222	0.222	0.00111	2300.07
21.1	21100	2.688	0.230	0.230	0.00115	2337.30
24.2	24200	3.083	0.240	0.240	0.00120	2569.00
25.3	25300	3.223	0.260	0.260	0.00130	2479.18
26.7	26700	3.401	0.270	0.270	0.00135	2519.46
29.2	29200	3.720	0.290	0.290	0.00145	2565.34
30	30000	3.822	0.299	0.299	0.00149	2559.96
32	32000	4.076	0.320	0.320	0.00160	2547.77
33.9	33900	4.318	0.340	0.340	0.00170	2540.28
35.5	35500	4.522	0.360	0.360	0.00180	2512.38
38.5	38500	4.904	0.380	0.380	0.00190	2581.29
40	40000	5.096	0.388	0.388	0.00194	2628.65
42.4	42400	5.401	0.400	0.400	0.00200	2700.64
43.5	43500	5.541	0.420	0.420	0.00210	2638.76
47.6	47600	6.064	0.440	0.440	0.00220	2756.22
50	50000	6.369	0.460	0.460	0.00230	2769.32
52.4	52400	6.675	0.480	0.480	0.00240	2781.32
53.8	53800	6.854	0.500	0.500	0.00250	2741.40
54.3	54300	6.917	0.520	0.520	0.00260	2660.46
58.1	58100	7.401	0.540	0.540	0.00270	2741.21

58.6	58600	7.465	0.560	0.560	0.00280	2666.06
59	59000	7.516	0.580	0.580	0.00290	2591.70
59.2	59200	7.541	0.600	0.600	0.00300	2513.80
59.5	59500	7.580	0.630	0.630	0.00315	2406.23
58.6	58600	7.465	0.670	0.670	0.00335	2228.35
50	50000	6.369	0.779	0.779	0.00389	1635.42
43.6	43600	5.554	0.860	0.860	0.00430	1291.66
40	40000	5.096	0.948	0.948	0.00474	1074.91
34.2	34200	4.357	1.090	1.090	0.00545	799.39
30	30000	3.822	1.113	1.113	0.00556	686.86
21.3	21300	2.713	1.160	1.160	0.00580	467.82
20	20000	2.548	1.206	1.206	0.00603	422.69
19.3	19300	2.459	1.230	1.230	0.00615	399.77
18.4	18400	2.344	1.360	1.360	0.00680	344.70
17.9	17900	2.280	1.490	1.490	0.00745	306.07
17.5	17500	2.229	1.530	1.530	0.00765	291.41
15.6	15600	1.987	1.590	1.590	0.00795	249.97
14.9	14900	1.898	1.640	1.640	0.00820	231.47
13.5	13500	1.720	2.140	2.140	0.01070	160.72
11	11000	1.401	2.320	2.320	0.01160	120.80
10.5	10500	1.338	2.470	2.470	0.01235	108.31
10	10000	1.274	2.640	2.640	0.01320	96.51
9.6	9600	1.223	2.810	2.810	0.01405	87.04
6.7	6700	0.854	3.060	3.060	0.01530	55.78
6.1	6100	0.777	3.250	3.250	0.01625	47.82
5.6	5600	0.713	3.290	3.290	0.01645	43.37
5.5	5500	0.701	3.310	3.310	0.01655	42.33
5.4	5400	0.688	3.420	3.420	0.01710	40.23

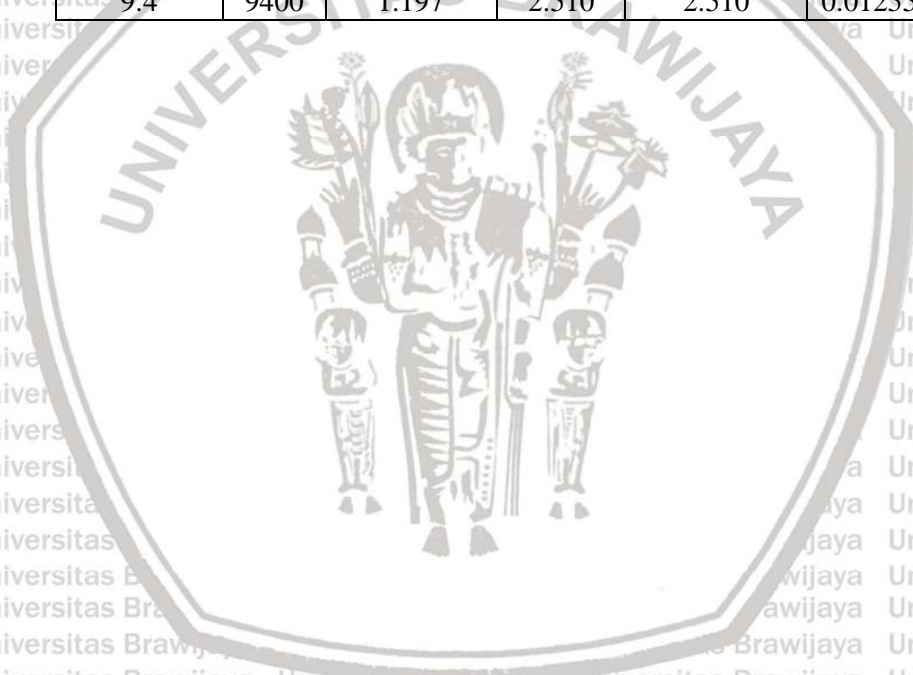
A (mm ²) =	7850			Berat (kg) =	3.48	
L0 (mm) =	200			Lendutan awal (mm) =	0	
NCA SBR 5% 1						
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	Δl/l0	E
8.2	8200	1.045	0.000	0.000	0.00000	0.00
8.5	8500	1.083	0.020	0.020	0.00010	10828.03
9.0	9000	1.146	0.060	0.060	0.00030	3821.66
9.5	9500	1.210	0.080	0.080	0.00040	3025.48
9.9	9900	1.261	0.120	0.120	0.00060	2101.91
10.0	10000	1.274	0.128	0.128	0.00064	1990.45
10.4	10400	1.325	0.160	0.160	0.00080	1656.05
10.7	10700	1.363	0.180	0.180	0.00090	1514.51
11.3	11300	1.439	0.220	0.220	0.00110	1308.63
12.3	12300	1.567	0.280	0.280	0.00140	1119.20
13.4	13400	1.707	0.340	0.340	0.00170	1004.12
14.1	14100	1.796	0.380	0.380	0.00190	945.36
15.0	15000	1.911	0.420	0.420	0.00210	909.92
18.1	18100	2.306	0.460	0.460	0.00230	1002.49
19.2	19200	2.446	0.520	0.520	0.00260	940.72
20.0	20000	2.548	0.538	0.538	0.00269	947.52
21.0	21000	2.675	0.560	0.560	0.00280	955.41
22.0	22000	2.803	0.710	0.710	0.00355	789.45
22.8	22800	2.904	0.740	0.740	0.00370	784.99
24.9	24900	3.172	0.780	0.780	0.00390	813.33
25.8	25800	3.287	0.820	0.820	0.00410	801.62
26.9	26900	3.427	0.790	0.790	0.00395	867.53
28.2	28200	3.592	0.810	0.810	0.00405	887.00
30.0	30000	3.822	0.833	0.833	0.00416	918.12
30.6	30600	3.898	0.840	0.840	0.00420	928.12
32.9	32900	4.191	0.870	0.870	0.00435	963.47
35.6	35600	4.535	0.910	0.910	0.00455	996.71
37.3	37300	4.752	0.940	0.940	0.00470	1010.98
38.4	38400	4.892	0.960	0.960	0.00480	1019.11
39.0	39000	4.968	0.970	0.970	0.00485	1024.36
38.4	38400	4.892	1.040	1.040	0.00520	940.72
37.4	37400	4.764	1.080	1.080	0.00540	882.28
30.0	30000	3.822	1.591	1.591	0.00796	480.33
26.4	26400	3.363	1.840	1.840	0.00920	365.55
22.6	22600	2.879	1.900	1.900	0.00950	303.05
20.0	20000	2.548	2.024	2.024	0.01012	251.78
18.4	18400	2.344	2.100	2.100	0.01050	223.23
14.4	14400	1.834	2.120	2.120	0.01060	173.06

12.6	12600	1.605	2.170	2.170	0.01085	147.94
11.1	11100	1.414	2.170	2.170	0.01085	130.32
10.0	10000	1.274	2.186	2.186	0.01093	116.56
7.6	7600	0.968	2.220	2.220	0.01110	87.22



A (mm ²) =	7850			Berat (kg) =	3.48	
L0 (mm) =	200			Lendutan awal (mm) =	0	
NCA SBR 5% 2						
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	Δl/l0	E
7.5	7500	0.955	0.000	0.000	0.00000	0.00
8.9	8900	1.134	0.030	0.030	0.00015	7558.39
10.0	10000	1.274	0.044	0.044	0.00022	5823.48
10.5	10500	1.338	0.050	0.050	0.00025	5350.32
13.9	13900	1.771	0.080	0.080	0.00040	4426.75
14.4	14400	1.834	0.090	0.090	0.00045	4076.43
14.7	14700	1.873	0.100	0.100	0.00050	3745.22
15.5	15500	1.975	0.120	0.120	0.00060	3290.87
18.1	18100	2.306	0.140	0.140	0.00070	3293.90
19.1	19100	2.433	0.160	0.160	0.00080	3041.40
20.0	20000	2.548	0.167	0.167	0.00083	3052.63
21.7	21700	2.764	0.180	0.180	0.00090	3071.48
24.6	24600	3.134	0.210	0.210	0.00105	2984.53
25.6	25600	3.261	0.230	0.230	0.00115	2835.78
28.7	28700	3.656	0.250	0.250	0.00125	2924.84
30.0	30000	3.822	0.266	0.266	0.00133	2870.73
30.3	30300	3.860	0.270	0.270	0.00135	2859.16
33.6	33600	4.280	0.290	0.290	0.00145	2951.90
34.4	34400	4.382	0.310	0.310	0.00155	2827.20
37.5	37500	4.777	0.330	0.330	0.00165	2895.19
38.7	38700	4.930	0.350	0.350	0.00175	2817.11
40.0	40000	5.096	0.358	0.358	0.00179	2847.64
42.0	42000	5.350	0.370	0.370	0.00185	2892.06
43.1	43100	5.490	0.390	0.390	0.00195	2815.61
46.0	46000	5.860	0.410	0.410	0.00205	2858.47
47.0	47000	5.987	0.430	0.430	0.00215	2784.77
49.7	49700	6.331	0.450	0.450	0.00225	2813.87
50.0	50000	6.369	0.453	0.453	0.00227	2812.11
51.7	51700	6.586	0.470	0.470	0.00235	2802.55
53.5	53500	6.815	0.490	0.490	0.00245	2781.75
55.2	55200	7.032	0.510	0.510	0.00255	2757.59
57.0	57000	7.261	0.530	0.530	0.00265	2740.06
58.8	58800	7.490	0.550	0.550	0.00275	2723.80
60.0	60000	7.643	0.561	0.561	0.00280	2725.33
61.0	61000	7.771	0.570	0.570	0.00285	2726.56
61.9	61900	7.885	0.590	0.590	0.00295	2673.00
62.7	62700	7.987	0.620	0.620	0.00310	2576.54
63.3	63300	8.064	0.640	0.640	0.00320	2519.90

64.9	64900	8.268	0.670	0.670	0.00335	2467.92
65.2	65200	8.306	0.700	0.700	0.00350	2373.07
64.9	64900	8.268	0.730	0.730	0.00365	2265.07
62.5	62500	7.962	1.840	1.840	0.00920	865.41
60.0	60000	7.643	1.847	1.847	0.00924	827.46
50.0	50000	6.369	1.877	1.877	0.00939	678.65
40.0	40000	5.096	1.907	1.907	0.00953	534.47
30.0	30000	3.822	1.936	1.936	0.00968	394.71
20.0	20000	2.548	1.966	1.966	0.00983	259.16
18.7	18700	2.382	1.970	1.970	0.00985	241.84
11.2	11200	1.427	2.110	2.110	0.01055	135.24
10.2	10200	1.299	2.210	2.210	0.01105	117.59
10.0	10000	1.274	2.240	2.240	0.01120	113.74
9.8	9800	1.248	2.270	2.270	0.01135	109.99
9.7	9700	1.236	2.400	2.400	0.01200	102.97
9.4	9400	1.197	2.510	2.510	0.01255	95.41



A (mm ²) =		7850	Berat (kg) =		3.45	
L0 (mm) =		200	Lendutan awal (mm) =		0	
NCA SBR 5% 3						
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	$\Delta l/l_0$	E
4.0	4000	0.510	0.000	0.000	0.00000	#DIV/0!
4.5	4500	0.573	0.020	0.020	0.00010	5732.48
5.0	5000	0.637	0.030	0.030	0.00015	4246.28
5.7	5700	0.726	0.050	0.050	0.00025	2904.46
6.9	6900	0.879	0.080	0.080	0.00040	2197.45
7.7	7700	0.981	0.100	0.100	0.00050	1961.78
8.8	8800	1.121	0.120	0.120	0.00060	1868.37
10.0	10000	1.274	0.137	0.137	0.00069	1857.75
10.2	10200	1.299	0.140	0.140	0.00070	1856.23
12.3	12300	1.567	0.170	0.170	0.00085	1843.39
13.9	13900	1.771	0.200	0.200	0.00100	1770.70
16.4	16400	2.089	0.210	0.210	0.00105	1989.69
17.3	17300	2.204	0.230	0.230	0.00115	1916.37
18.5	18500	2.357	0.260	0.260	0.00130	1812.84
20.0	20000	2.548	0.267	0.267	0.00133	1909.74
20.7	20700	2.637	0.270	0.270	0.00135	1953.29
21.7	21700	2.764	0.290	0.290	0.00145	1906.44
24.3	24300	3.096	0.310	0.310	0.00155	1997.12
27.7	27700	3.529	0.340	0.340	0.00170	2075.68
29.0	29000	3.694	0.370	0.370	0.00185	1996.90
30.0	30000	3.822	0.375	0.375	0.00188	2036.79
32.8	32800	4.178	0.390	0.390	0.00195	2142.74
35.8	35800	4.561	0.430	0.430	0.00215	2121.17
36.9	36900	4.701	0.450	0.450	0.00225	2089.17
39.9	39900	5.083	0.470	0.470	0.00235	2162.89
40.0	40000	5.096	0.473	0.473	0.00236	2156.84
40.7	40700	5.185	0.490	0.490	0.00245	2116.21
44.6	44600	5.682	0.530	0.530	0.00265	2143.97
45.3	45300	5.771	0.550	0.550	0.00275	2098.44
46.1	46100	5.873	0.570	0.570	0.00285	2060.57
46.9	46900	5.975	0.610	0.610	0.00305	1958.86
48.5	48500	6.178	0.630	0.630	0.00315	1961.38
48.9	48900	6.229	0.710	0.710	0.00355	1754.73
48.6	48600	6.191	0.760	0.760	0.00380	1629.23
42.4	42400	5.401	0.820	0.820	0.00410	1317.38
41.7	41700	5.312	0.860	0.860	0.00430	1235.37
41.3	41300	5.261	0.960	0.960	0.00480	1096.07
41.1	41100	5.236	1.020	1.020	0.00510	1026.60

40.9	40900	5.210	1.070	1.070	0.00535	973.87
40.0	40000	5.096	1.105	1.105	0.00553	922.11
30.0	30000	3.822	1.496	1.496	0.00748	510.84
25.3	25300	3.223	1.680	1.680	0.00840	383.68
20.0	20000	2.548	1.695	1.695	0.00848	300.62
14.7	14700	1.873	1.710	1.710	0.00855	219.02
14.0	14000	1.783	1.830	1.830	0.00915	194.91
13.8	13800	1.758	1.860	1.860	0.00930	189.03
13.6	13600	1.732	1.900	1.900	0.00950	182.37
13.5	13500	1.720	1.990	1.990	0.00995	172.84
13.2	13200	1.682	2.160	2.160	0.01080	155.70
11.9	11900	1.516	2.330	2.330	0.01165	130.12
11.0	11000	1.401	2.400	2.400	0.012	116.77



A (mm ²) =		7850		Berat (kg) =		3.62	
L0 (mm) =		200		Lendutan awal (mm) =		0	
NCA SBBR 10%							
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	Δl/l0	E	
3.1	3100	0.395	0.000	0.000	0.00000	#DIV/0!	
3.6	3600	0.459	0.020	0.020	0.00010	4585.99	
4.4	4400	0.561	0.040	0.040	0.00020	2802.55	
5.5	5500	0.701	0.060	0.060	0.00030	2335.46	
6.6	6600	0.841	0.080	0.080	0.00040	2101.91	
7.8	7800	0.994	0.100	0.100	0.00050	1987.26	
9.3	9300	1.185	0.120	0.120	0.00060	1974.52	
10.0	10000	1.274	0.130	0.130	0.00065	1959.82	
10.7	10700	1.363	0.140	0.140	0.00070	1947.22	
12.1	12100	1.541	0.160	0.160	0.00080	1926.75	
13.9	13900	1.771	0.180	0.180	0.00090	1967.45	
16.3	16300	2.076	0.200	0.200	0.00100	2076.43	
17.7	17700	2.255	0.220	0.220	0.00110	2049.80	
19.8	19800	2.522	0.240	0.240	0.00120	2101.91	
20	20000	2.548	0.241	0.241	0.00121	2111.41	
22.8	22800	2.904	0.260	0.260	0.00130	2234.20	
24.8	24800	3.159	0.290	0.290	0.00145	2178.78	
27.5	27500	3.503	0.310	0.310	0.00155	2260.12	
30	30000	3.822	0.333	0.333	0.00167	2292.28	
30.7	30700	3.911	0.340	0.340	0.00170	2300.49	
32.2	32200	4.102	0.350	0.350	0.00175	2343.95	
35.0	35000	4.459	0.370	0.370	0.00185	2410.05	
38.1	38100	4.854	0.380	0.380	0.00190	2554.48	
39.2	39200	4.994	0.400	0.400	0.00200	2496.82	
40.0	40000	5.096	0.404	0.404	0.00202	2521.91	
43.1	43100	5.490	0.420	0.420	0.00210	2614.50	
44.0	44000	5.605	0.440	0.440	0.00220	2547.77	
45.0	45000	5.732	0.460	0.460	0.00230	2492.38	
49.6	49600	6.318	0.480	0.480	0.00240	2632.70	
50.0	50000	6.369	0.485	0.485	0.00242	2628.16	
51.3	51300	6.535	0.500	0.500	0.00250	2614.01	
55.1	55100	7.019	0.520	0.520	0.00260	2699.66	
56.4	56400	7.185	0.540	0.540	0.00270	2661.00	
60.0	60000	7.643	0.555	0.555	0.00278	2754.35	
61.2	61200	7.796	0.560	0.560	0.00280	2784.35	
63.1	63100	8.038	0.590	0.590	0.00295	2724.82	
68.7	68700	8.752	0.610	0.610	0.00305	2869.37	

69.5	69500	8.854	0.650	0.650	0.00325	2724.15
70.0	70000	8.917	0.655	0.655	0.00327	2723.80
71.6	71600	9.121	0.670	0.670	0.00335	2722.69
73.5	73500	9.363	0.690	0.690	0.00345	2713.93
74.2	74200	9.452	0.710	0.710	0.00355	2662.60
74.4	74400	9.478	0.740	0.740	0.00370	2561.54
74.1	74100	9.439	0.790	0.790	0.00395	2389.74
73.5	73500	9.363	1.000	1.000	0.00500	1872.61
72.7	72700	9.261	1.100	1.100	0.00550	1683.84
70	70000	8.917	1.106	1.106	0.00553	1612.70
60	60000	7.643	1.130	1.130	0.00565	1352.32
50	50000	6.369	1.158	1.158	0.00579	1100.30
40	40000	5.096	1.174	1.174	0.00587	868.41
35.9	35900	4.573	1.180	1.180	0.00590	775.13
30	30000	3.822	1.204	1.204	0.00602	634.84
23.6	23600	3.006	1.230	1.230	0.00615	488.84
22.1	22100	2.815	1.270	1.270	0.00635	443.35
21.9	21900	2.790	1.290	1.290	0.00645	432.53
21.2	21200	2.701	1.650	1.650	0.00825	327.35
20.8	20800	2.650	1.710	1.710	0.00855	309.90
20	20000	2.548	1.718	1.718	0.00859	296.60
18.8	18800	2.395	1.730	1.730	0.00865	276.87
18.0	18000	2.293	1.950	1.950	0.00975	235.18
17.8	17800	2.268	2.130	2.130	0.01065	212.91
17.0	17000	2.166	2.230	2.230	0.01115	194.22
15.8	15800	2.013	2.320	2.320	0.01160	173.51



A (mm ²) =		7850		Berat (kg) =		3.59	
L0 (mm) =		200		Lendutan awal (mm) =		0	
NCA SBR 10% 2							
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	Δl/l0	E	
12.1	12100	1.541	0.000	0.000	0.00000	#DIV/0!	
13.0	13000	1.656	0.040	0.040	0.00020	8280.25	
14.3	14300	1.822	0.080	0.080	0.00040	4554.14	
16.7	16700	2.127	0.100	0.100	0.00050	4254.78	
17.4	17400	2.217	0.120	0.120	0.00060	3694.27	
18.4	18400	2.344	0.160	0.160	0.00080	2929.94	
20	20000	2.548	0.183	0.183	0.00091	2786.62	
21.2	21200	2.701	0.200	0.200	0.00100	2700.64	
22.3	22300	2.841	0.240	0.240	0.00120	2367.30	
24.4	24400	3.108	0.260	0.260	0.00130	2390.98	
25.2	25200	3.210	0.280	0.280	0.00140	2292.99	
27.8	27800	3.541	0.300	0.300	0.00150	2360.93	
28.8	28800	3.669	0.320	0.320	0.00160	2292.99	
29.6	29600	3.771	0.340	0.340	0.00170	2218.06	
30	30000	3.822	0.343	0.343	0.00171	2228.61	
32.3	32300	4.115	0.360	0.360	0.00180	2285.92	
34.6	34600	4.408	0.400	0.400	0.00200	2203.82	
37.2	37200	4.739	0.420	0.420	0.00210	2256.60	
40	40000	5.096	0.459	0.459	0.00229	2222.12	
40.1	40100	5.108	0.460	0.460	0.00230	2220.99	
41.4	41400	5.274	0.480	0.480	0.00240	2197.45	
42.2	42200	5.376	0.500	0.500	0.00250	2150.32	
46.0	46000	5.860	0.520	0.520	0.00260	2253.80	
47.7	47700	6.076	0.560	0.560	0.00280	2170.15	
50.0	50000	6.369	0.580	0.580	0.00290	2196.35	
50.7	50700	6.459	0.600	0.600	0.00300	2152.87	
53.5	53500	6.815	0.620	0.620	0.00310	2198.48	
54.0	54000	6.879	0.640	0.640	0.00320	2149.68	
54.5	54500	6.943	0.670	0.670	0.00335	2072.44	
54.7	54700	6.968	0.700	0.700	0.00350	1990.90	
54.2	54200	6.904	1.190	1.190	0.00595	1160.41	
50	50000	6.369	1.349	1.349	0.00674	944.38	
43.1	43100	5.490	1.610	1.610	0.00805	682.04	
40	40000	5.096	1.640	1.640	0.00820	621.29	
30	30000	3.822	1.801	1.801	0.00901	424.33	
20	20000	2.548	1.852	1.852	0.00926	275.11	
16.5	16500	2.102	1.870	1.870	0.00935	224.80	

10.0	10000	1.274	2.123	2.123	0.01062	119.99
8.8	8800	1.121	2.170	2.170	0.01085	103.32
7.9	7900	1.006	2.310	2.310	0.01155	87.13
7.7	7700	0.981	2.340	2.340	0.01170	83.84



A (mm ²) =	7850			Berat (kg) =	3.66	
L0 (mm) =	200			Lendutan awal (mm) =	0	
NCA SBR 10% 3						
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	$\Delta l/l_0$	E
4.4	4400	0.561	0.000	0.000	0.00000	#DIV/0!
5.1	5100	0.650	0.030	0.030	0.00015	4331.21
5.6	5600	0.713	0.060	0.060	0.00030	2377.92
6.7	6700	0.854	0.090	0.090	0.00045	1896.67
7.7	7700	0.981	0.110	0.110	0.00055	1783.44
9.1	9100	1.159	0.140	0.140	0.00070	1656.05
10.0	10000	1.274	0.156	0.156	0.00078	1629.39
10.2	10200	1.299	0.160	0.160	0.00080	1624.20
11.4	11400	1.452	0.180	0.180	0.00090	1613.59
12.9	12900	1.643	0.200	0.200	0.00100	1643.31
14.0	14000	1.783	0.220	0.220	0.00110	1621.31
15.3	15300	1.949	0.230	0.230	0.00115	1694.82
16.6	16600	2.115	0.240	0.240	0.00120	1762.21
17.7	17700	2.255	0.270	0.270	0.00135	1670.21
20.0	20000	2.548	0.289	0.289	0.00145	1762.15
20.1	20100	2.561	0.290	0.290	0.00145	1765.87
21.1	21100	2.688	0.300	0.300	0.00150	1791.93
23.4	23400	2.981	0.320	0.320	0.00160	1863.06
24.4	24400	3.108	0.340	0.340	0.00170	1828.40
27.2	27200	3.465	0.360	0.360	0.00180	1924.98
28.6	28600	3.643	0.380	0.380	0.00190	1917.53
30.0	30000	3.822	0.390	0.390	0.00195	1957.96
31.3	31300	3.987	0.400	0.400	0.00200	1993.63
32.3	32300	4.115	0.420	0.420	0.00210	1959.36
34.5	34500	4.395	0.440	0.440	0.00220	1997.68
36.9	36900	4.701	0.460	0.460	0.00230	2043.76
39.4	39400	5.019	0.480	0.480	0.00240	2091.30
40.0	40000	5.096	0.488	0.488	0.00244	2090.48
41.0	41000	5.223	0.500	0.500	0.00250	2089.17
42.4	42400	5.401	0.520	0.520	0.00260	2077.41
46.3	46300	5.898	0.540	0.540	0.00270	2184.48
48.4	48400	6.166	0.580	0.580	0.00290	2126.07
50.0	50000	6.369	0.590	0.590	0.00295	2159.13
51.6	51600	6.573	0.600	0.600	0.00300	2191.08
52.9	52900	6.739	0.620	0.620	0.00310	2173.82
58.3	58300	7.427	0.640	0.640	0.00320	2320.86
59.0	59000	7.516	0.660	0.660	0.00330	2277.55
59.6	59600	7.592	0.680	0.680	0.00340	2233.05

60.0	60000	7.643	0.682	0.682	0.00341	2241.27
63.5	63500	8.089	0.700	0.700	0.00350	2311.19
65.6	65600	8.357	0.720	0.720	0.00360	2321.30
69.0	69000	8.790	0.740	0.740	0.00370	2375.62
70.0	70000	8.917	0.748	0.748	0.00374	2385.26
71.6	71600	9.121	0.760	0.760	0.00380	2400.27
73.9	73900	9.414	0.790	0.790	0.00395	2383.29
74.5	74500	9.490	0.810	0.810	0.00405	2343.32
78.1	78100	9.949	0.840	0.840	0.00420	2368.82
79.5	79500	10.127	0.880	0.880	0.00440	2301.68
80.0	80000	10.191	0.902	0.902	0.00451	2259.11
80.4	80400	10.242	0.920	0.920	0.00460	2226.53
80.7	80700	10.280	0.960	0.960	0.00480	2141.72
80.3	80300	10.229	1.020	1.020	0.00510	2005.74
80.0	80000	10.191	1.032	1.032	0.00516	1974.27
75.7	75700	9.643	1.210	1.210	0.00605	1593.94
70.0	70000	8.917	1.234	1.234	0.00617	1445.83
60.0	60000	7.643	1.275	1.275	0.00637	1199.32
56.3	56300	7.172	1.290	1.290	0.00645	1111.93
50.0	50000	6.369	1.316	1.316	0.00658	968.21
41.6	41600	5.299	1.350	1.350	0.00675	785.09
40.0	40000	5.096	1.356	1.356	0.00678	751.52
30.0	30000	3.822	1.394	1.394	0.00697	548.32
28.4	28400	3.618	1.400	1.400	0.00700	516.83
26.5	26500	3.376	1.510	1.510	0.00755	447.13
26.0	26000	3.312	1.550	1.550	0.00775	427.37
25.8	25800	3.287	1.660	1.660	0.00830	395.98
25.6	25600	3.261	1.740	1.740	0.00870	374.84
25.0	25000	3.185	1.800	1.800	0.00900	353.86
22.9	22900	2.917	1.880	1.880	0.00940	310.34
21.4	21400	2.726	2.140	2.140	0.01070	254.78
20.5	20500	2.611	2.220	2.220	0.01110	235.27
20.0	20000	2.548	2.250	2.250	0.01125	226.47
19.0	19000	2.420	2.310	2.310	0.01155	209.56
18.4	18400	2.344	2.480	2.480	0.01240	189.03
17.9	17900	2.280	2.630	2.630	0.01315	173.40
15.8	15800	2.013	2.890	2.890	0.01445	139.29

A (mm ²) =	7850		Berat (kg) =	3.2		
L0 (mm) =	200		Lendutan awal (mm) =	0		
RCA SBR 0% 1						
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	Δl/l0	E
0.4	400	0.051	0.010	0.010	0.00005	0.00
0.8	800	0.102	0.020	0.020	0.00010	1.00
1.5	1500	0.191	0.030	0.030	0.00015	1273.89
1.6	1600	0.204	0.040	0.040	0.00020	1019.11
2.1	2100	0.268	0.060	0.060	0.00030	891.72
2.8	2800	0.357	0.080	0.080	0.00040	891.72
3.6	3600	0.459	0.100	0.100	0.00050	917.20
4.3	4300	0.548	0.120	0.120	0.00060	912.95
5.0	5000	0.637	0.138	0.138	0.00069	926.46
5.1	5100	0.650	0.140	0.140	0.00070	928.12
5.9	5900	0.752	0.160	0.160	0.00080	939.49
6.9	6900	0.879	0.180	0.180	0.00090	976.65
7.6	7600	0.968	0.200	0.200	0.00100	968.15
8.5	8500	1.083	0.220	0.220	0.00110	984.37
9.4	9400	1.197	0.240	0.240	0.00120	997.88
10.0	10000	1.274	0.255	0.255	0.00128	999.13
10.6	10600	1.350	0.270	0.270	0.00135	1000.24
12.1	12100	1.541	0.310	0.310	0.00155	994.45
14.7	14700	1.873	0.340	0.340	0.00170	1101.54
15.0	15000	1.911	0.355	0.355	0.00178	1076.52
15.5	15500	1.975	0.380	0.380	0.00190	1039.22
17.8	17800	2.268	0.420	0.420	0.00210	1079.77
18.4	18400	2.344	0.460	0.460	0.00230	1019.11
19.4	19400	2.471	0.530	0.530	0.00265	932.58
20.0	20000	2.548	0.542	0.542	0.00271	940.14
21.4	21400	2.726	0.570	0.570	0.00285	956.53
21.7	21700	2.764	0.640	0.640	0.00320	863.85
22.0	22000	2.803	0.700	0.700	0.00350	800.73
22.5	22500	2.866	0.750	0.750	0.00375	764.33
23.1	23100	2.943	0.780	0.780	0.00390	754.53
24.9	24900	3.172	0.840	0.840	0.00420	755.23
25.0	25000	3.185	0.850	0.850	0.00425	749.34
25.2	25200	3.210	0.870	0.870	0.00435	737.97
25.5	25500	3.248	0.900	0.900	0.00450	721.87
25.9	25900	3.299	0.950	0.950	0.00475	694.60
26.3	26300	3.350	0.99	0.99	0.00495	676.83
27.1	27100	3.452	1.04	1.04	0.00520	663.89
29.1	29100	3.707	1.11	1.11	0.00555	667.93

29.6	29600	3.771	1.13	1.13	0.00565	667.38
30.2	30200	3.847	1.15	1.15	0.00575	669.07
29.4	29400	3.745	1.24	1.24	0.0062	604.06821
25.4	25400	3.236	1.510	1.510	0.00755	428.57
25.0	25000	3.185	1.516	1.516	0.00758	420.16
20.0	20000	2.548	1.591	1.591	0.00795	320.35
18.7	18700	2.382	1.610	1.610	0.00805	295.92
15.3	15300	1.949	1.790	1.790	0.00895	217.77
15.0	15000	1.911	1.820	1.820	0.00910	209.98
14.0	14000	1.783	1.920	1.920	0.00960	185.77
13.7	13700	1.745	2.060	2.060	0.01030	169.44
12.4	12400	1.580	2.080	2.080	0.01040	151.89
11.2	11200	1.427	2.160	2.160	0.01080	132.11
11.0	11000	1.401	2.200	2.200	0.01100	127.39
10.8	10800	1.376	2.350	2.350	0.01175	117.09
10.2	10200	1.299	2.460	2.460	0.01230	105.64
10.0	10000	1.274	2.553	2.553	0.01277	99.78
9.6	9600	1.223	2.740	2.740	0.01370	89.26
9.1	9100	1.159	2.870	2.870	0.01435	80.78
8.5	8500	1.083	3.020	3.020	0.01510	71.71



A (mm ²) =	7850				Berat (kg) =	3.29
L0 (mm) =	200				Lendutan awal (mm) =	0
RCA SBR 0% 2						
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	Δl/l0	E
9.1	9100	1.159	0.000	0.000	0.00000	#DIV/0!
9.4	9400	1.197	0.090	0.090	0.00045	2661.00
9.8	9800	1.248	0.150	0.150	0.00075	1664.54
10.0	10000	1.274	0.166	0.166	0.00083	1530.46
11.5	11500	1.465	0.290	0.290	0.00145	1010.32
12.3	12300	1.567	0.330	0.330	0.00165	949.62
13.7	13700	1.745	0.370	0.370	0.00185	943.36
14.7	14700	1.873	0.430	0.430	0.00215	870.98
15.0	15000	1.911	0.440	0.440	0.00220	868.56
16.5	16500	2.102	0.490	0.490	0.00245	857.92
18.1	18100	2.306	0.550	0.550	0.00275	838.45
20.0	20000	2.548	0.589	0.589	0.00295	864.66
21.0	21000	2.675	0.610	0.610	0.00305	877.10
22.2	22200	2.828	0.670	0.670	0.00335	844.19
23.0	23000	2.930	0.710	0.710	0.00355	825.33
23.6	23600	3.006	0.730	0.730	0.00365	823.66
24.0	24000	3.057	0.780	0.780	0.00390	783.93
23.9	23900	3.045	0.850	0.850	0.00425	716.37
23.5	23500	2.994	0.970	0.970	0.00485	617.24
23.2	23200	2.955	1.040	1.040	0.00520	568.35
20.0	20000	2.548	1.137	1.137	0.00568	448.17
19.9	19900	2.535	1.140	1.140	0.00570	444.74
18.6	18600	2.369	1.230	1.230	0.00615	385.27
17.6	17600	2.242	1.300	1.300	0.00650	344.93
16.7	16700	2.127	1.420	1.420	0.00710	299.63
15.0	15000	1.911	1.549	1.549	0.00774	246.72
13.8	13800	1.758	1.640	1.640	0.00820	214.39
12.9	12900	1.643	1.720	1.720	0.00860	191.08
12.3	12300	1.567	2.010	2.010	0.01005	155.91
12.0	12000	1.529	2.110	2.110	0.01055	144.90
11.8	11800	1.503	2.280	2.280	0.01140	131.86
11.1	11100	1.414	2.600	2.600	0.01300	108.77
10.0	10000	1.274	2.658	2.658	0.01329	95.85
7.5	7500	0.955	2.790	2.790	0.01395	68.49
6.7	6700	0.854	2.810	2.810	0.01405	60.75
6.3	6300	0.803	2.990	2.990	0.01495	53.68
6.0	6000	0.764	3.180	3.180	0.01590	48.07

A (mm ²) =	7850			Berat (kg) =	3.23	
L ₀ (mm) =	200			Lendutan awal (mm) =	0	
RCA SBR 0% 3						
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	Δl/l ₀	E
0.4	400	0.051	0.010	0.010	0.00005	1019.11
0.7	700	0.089	0.020	0.020	0.00010	891.72
1.4	1400	0.178	0.030	0.030	0.00015	1188.96
1.6	1600	0.204	0.040	0.040	0.00020	1019.11
2.0	2000	0.255	0.060	0.060	0.00030	849.26
2.4	2400	0.306	0.080	0.080	0.00040	764.33
3.2	3200	0.408	0.100	0.100	0.00050	815.29
4.5	4500	0.573	0.130	0.130	0.00065	881.92
5.0	5000	0.637	0.163	0.163	0.00082	779.93
5.1	5100	0.650	0.170	0.170	0.00085	764.33
7.4	7400	0.943	0.180	0.180	0.00090	1047.42
8.5	8500	1.083	0.220	0.220	0.00110	984.37
9.4	9400	1.197	0.230	0.230	0.00115	1041.26
10.0	10000	1.274	0.255	0.255	0.00128	999.13
10.6	10600	1.350	0.280	0.280	0.00140	964.51
12.1	12100	1.541	0.310	0.310	0.00155	994.45
13.9	13900	1.771	0.340	0.340	0.00170	1041.59
15.0	15000	1.911	0.368	0.368	0.00184	1039.91
15.5	15500	1.975	0.380	0.380	0.00190	1039.22
17.8	17800	2.268	0.420	0.420	0.00210	1079.77
19.4	19400	2.471	0.490	0.490	0.00245	1008.71
20.0	20000	2.548	0.508	0.508	0.00254	1003.06
21.4	21400	2.726	0.550	0.550	0.00275	991.31
21.8	21800	2.777	0.660	0.660	0.00330	841.54
22.5	22500	2.866	0.750	0.750	0.00375	764.33
23.1	23100	2.943	0.780	0.780	0.00390	754.53
24.9	24900	3.172	0.820	0.820	0.00410	773.65
25.0	25000	3.185	0.843	0.843	0.00422	755.27
25.2	25200	3.210	0.890	0.890	0.00445	721.39
25.9	25900	3.299	0.930	0.930	0.00465	709.54
26.3	26300	3.350	0.99	0.99	0.00495	676.83
27.1	27100	3.452	1.04	1.04	0.00520	663.89
29.6	29600	3.771	1.10	1.10	0.00550	685.58
28.7	28700	3.656	1.240	1.240	0.00620	589.69
28.1	28100	3.580	1.510	1.510	0.00755	474.12
25.0	25000	3.185	1.572	1.572	0.00786	405.18
24.6	24600	3.134	1.580	1.580	0.00790	396.68
20.0	20000	2.548	1.603	1.603	0.00802	317.88

18.6	18600	2.369	1.610	1.610	0.00805	294.34
15.3	15300	1.949	1.790	1.790	0.00895	217.77
15.0	15000	1.911	1.820	1.820	0.00910	209.98
14.0	14000	1.783	1.920	1.920	0.00960	185.77
11.2	11200	1.427	2.160	2.160	0.01080	132.11
11.0	11000	1.401	2.200	2.200	0.01100	127.39
10.8	10800	1.376	2.350	2.350	0.01175	117.09
10.2	10200	1.299	2.460	2.460	0.01230	105.64
10.0	10000	1.274	2.553	2.553	0.01277	99.78
9.6	9600	1.223	2.740	2.740	0.01370	89.26
9.4	9400	1.197	2.870	2.870	0.01435	83.45
8.9	8900	1.134	3.020	3.020	0.01510	75.08



A (mm ²) =	7850			Berat (kg) =	3.32	
L ₀ (mm) =	200			Lendutan awal (mm) =	0.01	
RCA SBR 5% 1						
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	Δl/l ₀	E
3.9	3900	0.497	0.010	0.000	0.0000	0.00
5.2	5200	0.662	0.040	0.030	0.0002	4416.14
6.1	6100	0.777	0.060	0.050	0.0003	3108.28
7.1	7100	0.904	0.080	0.070	0.0004	2584.17
9.7	9700	1.236	0.120	0.110	0.0006	2246.67
10.0	10000	1.274	0.125	0.115	0.0006	2222.89
11.0	11000	1.401	0.140	0.130	0.00065	2155.81
12.6	12600	1.605	0.160	0.150	0.0008	2140.13
15.2	15200	1.936	0.190	0.180	0.0009	2151.45
18.7	18700	2.382	0.230	0.220	0.0011	2165.61
20.0	20000	2.548	0.245	0.235	0.0012	2170.41
23.1	23100	2.943	0.280	0.270	0.0014	2179.76
26.7	26700	3.401	0.320	0.310	0.00155	2194.37
29.1	29100	3.707	0.340	0.330	0.0017	2246.67
30.0	30000	3.822	0.360	0.350	0.0018	2183.80
31.8	31800	4.051	0.400	0.390	0.0020	2077.41
32.4	32400	4.127	0.440	0.430	0.0022	1919.72
33.0	33000	4.204	0.460	0.450	0.0023	1868.37
32.4	32400	4.127	0.500	0.490	0.0025	1684.65
31.2	31200	3.975	0.580	0.570	0.0029	1394.57
30.0	30000	3.822	0.632	0.622	0.0031	1229.37
25.4	25400	3.236	0.830	0.820	0.0041	789.19
20.0	20000	2.548	1.212	1.202	0.0060	423.82
14.1	14100	1.796	1.630	1.620	0.0081	221.75
10.0	10000	1.274	2.100	2.090	0.0104	121.92
9.3	9300	1.185	2.180	2.170	0.0109	109.19
4.3	4300	0.548	2.210	2.200	0.0110	49.80
3.3	3300	0.420	2.290	2.280	0.0114	36.88
2.8	2800	0.357	2.850	2.840	0.0142	25.12

A (mm ²) =	7850			Berat (kg) =	3.3	
L0 (mm) =	200			Lendutan awal (mm) =	0	
RCA SBR 5% 2						
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	Δl/l0	E
7.8	7800	0.994	0.000	0.000	0.00000	#DIV/0!
9.3	9300	1.185	0.030	0.030	0.00015	7898.09
10.0	10000	1.274	0.046	0.046	0.00023	5592.67
12.0	12000	1.529	0.090	0.090	0.00045	3397.03
14.5	14500	1.847	0.130	0.130	0.00065	2841.74
16.9	16900	2.153	0.170	0.170	0.00085	2532.78
20.0	20000	2.548	0.257	0.257	0.00128	1986.48
21.2	21200	2.701	0.290	0.290	0.00145	1862.51
24.4	24400	3.108	0.350	0.350	0.00175	1776.16
30.0	30000	3.822	0.416	0.416	0.00208	1837.85
31.2	31200	3.975	0.430	0.430	0.00215	1848.62
34.9	34900	4.446	0.540	0.540	0.00270	1646.61
34.8	34800	4.433	0.600	0.600	0.00300	1477.71
34.5	34500	4.395	0.650	0.650	0.00325	1352.28
30.0	30000	3.822	1.445	1.445	0.00723	528.95
28.5	28500	3.631	1.710	1.710	0.00855	424.63
20.0	20000	2.548	1.852	1.852	0.00926	275.07
10.6	10600	1.350	2.010	2.010	0.01005	134.36
10.0	10000	1.274	2.021	2.021	0.01011	126.04
8.5	8500	1.083	2.050	2.050	0.01025	105.64
8.3	8300	1.057	2.070	2.070	0.01035	102.16
8.1	8100	1.032	2.620	2.620	0.01310	78.77
7.6	7600	0.968	2.640	2.640	0.01320	73.34
7.4	7400	0.943	2.850	2.850	0.01425	66.15

A (mm ²) =	7850				Berat (kg) =	3.43
L0 (mm) =	200				Lendutan awal (mm) =	0
RCA SBR 5% 3						
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	Δl/l0	E
8.6	8600	1.096	0.000	0.000	0.00000	#DIV/0!
9.2	9200	1.172	0.020	0.020	0.00010	11719.75
10.0	10000	1.274	0.049	0.049	0.00025	5189.90
10.3	10300	1.312	0.060	0.060	0.00030	4373.67
11.6	11600	1.478	0.080	0.080	0.00040	3694.27
12.9	12900	1.643	0.120	0.120	0.00060	2738.85
13.8	13800	1.758	0.140	0.140	0.00070	2511.37
16.0	16000	2.038	0.180	0.180	0.00090	2264.69
17.6	17600	2.242	0.240	0.240	0.00120	1868.37
19.9	19900	2.535	0.260	0.260	0.00130	1950.02
20.0	20000	2.548	0.266	0.266	0.00133	1917.68
21.3	21300	2.713	0.340	0.340	0.00170	1596.10
24.1	24100	3.070	0.380	0.380	0.00190	1615.82
27.7	27700	3.529	0.460	0.460	0.00230	1534.20
30.0	30000	3.822	0.492	0.492	0.00246	1554.39
30.6	30600	3.898	0.500	0.500	0.00250	1559.24
31.9	31900	4.064	0.560	0.560	0.00280	1451.32
34.2	34200	4.357	0.590	0.590	0.00295	1476.84
34.7	34700	4.420	0.640	0.640	0.00320	1381.37
34.6	34600	4.408	0.680	0.680	0.00340	1296.37
33.4	33400	4.255	1.030	1.030	0.00515	826.170
30.0	30000	3.822	1.038	1.038	0.00519	736.605
20.0	20000	2.548	1.060	1.060	0.00530	480.661
15.6	15600	1.987	1.070	1.070	0.00535	371.451
12.3	12300	1.567	1.110	1.110	0.00555	282.321
11.8	11800	1.503	1.170	1.170	0.00585	256.955
11.6	11600	1.478	1.210	1.210	0.00605	244.249
11.3	11300	1.439	1.280	1.280	0.00640	224.920
11.0	11000	1.401	1.370	1.370	0.00685	204.566
10.6	10600	1.350	1.450	1.450	0.00725	186.251
10.0	10000	1.274	1.604	1.604	0.00802	158.810
9.9	9900	1.261	1.630	1.630	0.00815	154.742
9.3	9300	1.185	1.830	1.830	0.00915	129.477

A (mm ²) =	7850			Berat (kg) =	3.44	
L0 (mm) =	200			Lendutan awal (mm) =	0	
RCA SBR 10% 1						
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	Δl/l0	E
3.5	3500	0.446	0.000	0.000	0.00000	#DIV/0!
4.5	4500	0.573	0.030	0.030	0.00015	3821.66
5.6	5600	0.713	0.060	0.060	0.00030	2377.92
7.1	7100	0.904	0.080	0.080	0.00040	2261.15
8.2	8200	1.045	0.100	0.100	0.00050	2089.17
10.0	10000	1.274	0.128	0.128	0.00064	1983.92
10.1	10100	1.287	0.130	0.130	0.00065	1979.42
12.3	12300	1.567	0.160	0.160	0.00080	1958.60
16.3	16300	2.076	0.200	0.200	0.00100	2076.43
19.1	19100	2.433	0.230	0.230	0.00115	2115.76
20.0	20000	2.548	0.239	0.239	0.00119	2134.62
22.2	22200	2.828	0.260	0.260	0.00130	2175.40
26.7	26700	3.401	0.310	0.310	0.00155	2194.37
30.0	30000	3.822	0.342	0.342	0.00171	2233.61
30.8	30800	3.924	0.350	0.350	0.00175	2242.04
32.3	32300	4.115	0.390	0.390	0.00195	2110.08
36.3	36300	4.624	0.410	0.410	0.00205	2255.71
39.9	39900	5.083	0.430	0.430	0.00215	2364.09
40.0	40000	5.096	0.432	0.432	0.00216	2360.04
42.1	42100	5.363	0.470	0.470	0.00235	2282.15
44.7	44700	5.694	0.490	0.490	0.00245	2324.19
45.2	45200	5.758	0.510	0.510	0.00255	2258.02
47.8	47800	6.089	0.530	0.530	0.00265	2297.80
48.9	48900	6.229	0.550	0.550	0.00275	2265.20
50.0	50000	6.369	0.568	0.568	0.00284	2241.44
50.1	50100	6.382	0.570	0.570	0.00285	2239.36
52.8	52800	6.726	0.610	0.610	0.00305	2205.28
53.5	53500	6.815	0.640	0.640	0.00320	2129.78
53.8	53800	6.854	0.690	0.690	0.00345	1986.52
53.4	53400	6.803	0.740	0.740	0.00370	1838.53
50.0	50000	6.369	0.933	0.933	0.00466	1365.72
40.7	40700	5.185	1.460	1.460	0.00730	710.23
40.0	40000	5.096	1.465	1.465	0.00733	695.61
30.0	30000	3.822	1.608	1.608	0.00804	475.27
20.0	20000	2.548	1.610	1.610	0.00805	316.50
19.9	19900	2.535	1.610	1.610	0.00805	314.91
16.6	16600	2.115	1.800	1.800	0.00900	234.96
15.7	15700	2.000	1.850	1.850	0.00925	216.22

15.4	15400	1.962	1.890	1.890	0.00945	207.60
15.3	15300	1.949	2.000	2.000	0.01000	194.90
15.2	15200	1.936	2.070	2.070	0.01035	187.08
15.1	15100	1.924	2.140	2.140	0.01070	179.77
14.9	14900	1.898	2.240	2.240	0.01120	169.47
14.3	14300	1.822	2.500	2.500	0.01250	145.73
13.2	13200	1.682	2.790	2.790	0.01395	120.54
11.8	11800	1.503	2.990	2.990	0.01495	100.55
10.8	10800	1.376	3.430	3.430	0.01715	80.22
10.0	10000	1.274	3.475	3.475	0.01738	73.31
7.8	7800	0.994	3.600	3.600	0.01800	55.20
7.6	7600	0.968	3.880	3.880	0.01940	49.90
6.8	6800	0.866	4.220	4.220	0.02110	41.05
5.5	5500	0.701	4.510	4.510	0.02255	31.07
5.1	5100	0.650	4.860	4.860	0.02430	26.74



A (mm ²) =	7850			Berat (kg) =	3.34	
L0 (mm) =	200			Lendutan awal (mm) =	0	
RCA SBR 10% 2						
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	$\Delta l/10$	E
8.9	8900	1.134	0.000	0.000	0.00000	#DIV/0!
10.0	10000	1.274	0.044	0.044	0.00022	5790.39
10.4	10400	1.325	0.060	0.060	0.00030	4416.14
11.7	11700	1.490	0.110	0.110	0.00055	2709.90
13.5	13500	1.720	0.170	0.170	0.00085	2023.23
14.1	14100	1.796	0.230	0.230	0.00115	1561.89
14.6	14600	1.860	0.290	0.290	0.00145	1282.67
16.6	16600	2.115	0.410	0.410	0.00205	1031.54
18.8	18800	2.395	0.490	0.490	0.00245	977.51
20.0	20000	2.548	0.567	0.567	0.00284	898.46
20.2	20200	2.573	0.580	0.580	0.00290	887.33
21.7	21700	2.764	0.700	0.700	0.00350	789.81
22.1	22100	2.815	0.770	0.770	0.00385	731.24
23.2	23200	2.955	0.840	0.840	0.00420	703.67
24.6	24600	3.134	0.910	0.910	0.00455	688.74
26.1	26100	3.325	0.960	0.960	0.00480	692.68
28.1	28100	3.580	1.010	1.010	0.00505	708.84
29.6	29600	3.771	1.050	1.050	0.00525	718.23
30.0	30000	3.822	1.054	1.054	0.00527	725.17
31.6	31600	4.025	1.070	1.070	0.00535	752.43
33.4	33400	4.255	1.130	1.130	0.00565	753.06
35.6	35600	4.535	1.180	1.180	0.00590	768.65
36.2	36200	4.611	1.200	1.200	0.00600	768.58
38.9	38900	4.955	1.220	1.220	0.00610	812.36
39.2	39200	4.994	1.240	1.240	0.00620	805.42
40.0	40000	5.096	1.253	1.253	0.00626	813.57
41.1	41100	5.236	1.270	1.270	0.00635	824.51
42.2	42200	5.376	1.320	1.320	0.00660	814.51
43.1	43100	5.490	1.360	1.360	0.00680	807.42
43.2	43200	5.503	1.380	1.380	0.00690	797.56
42.8	42800	5.452	1.400	1.400	0.00700	778.89
41.2	41200	5.248	1.500	1.500	0.00750	699.79
40.0	40000	5.096	1.534	1.534	0.00767	664.22
38.4	38400	4.892	1.580	1.580	0.00790	619.21
38.2	38200	4.866	1.660	1.660	0.00830	586.29
30.0	30000	3.822	1.810	1.810	0.00905	422.20
26.2	26200	3.338	1.880	1.880	0.00940	355.06
20.0	20000	2.548	1.908	1.908	0.00954	267.12

17.2	17200	2.191	1.920	1.920	0.00960	228.24
10.0	10000	1.274	2.129	2.129	0.01064	119.69
6.5	6500	0.828	2.230	2.230	0.01115	74.26
5.5	5500	0.701	2.250	2.250	0.01125	62.28
5.4	5400	0.688	2.270	2.270	0.01135	60.61
5.2	5200	0.662	2.380	2.380	0.01190	55.67

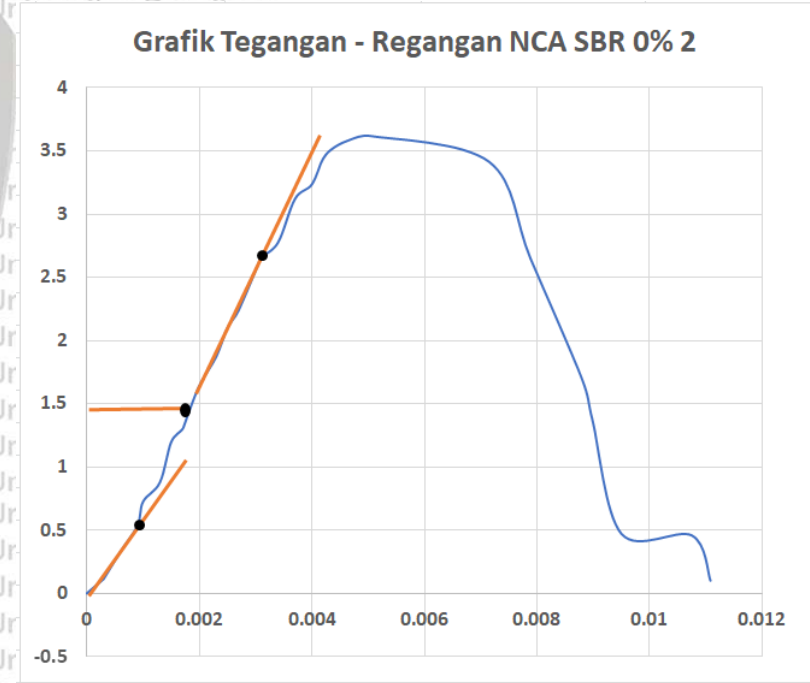
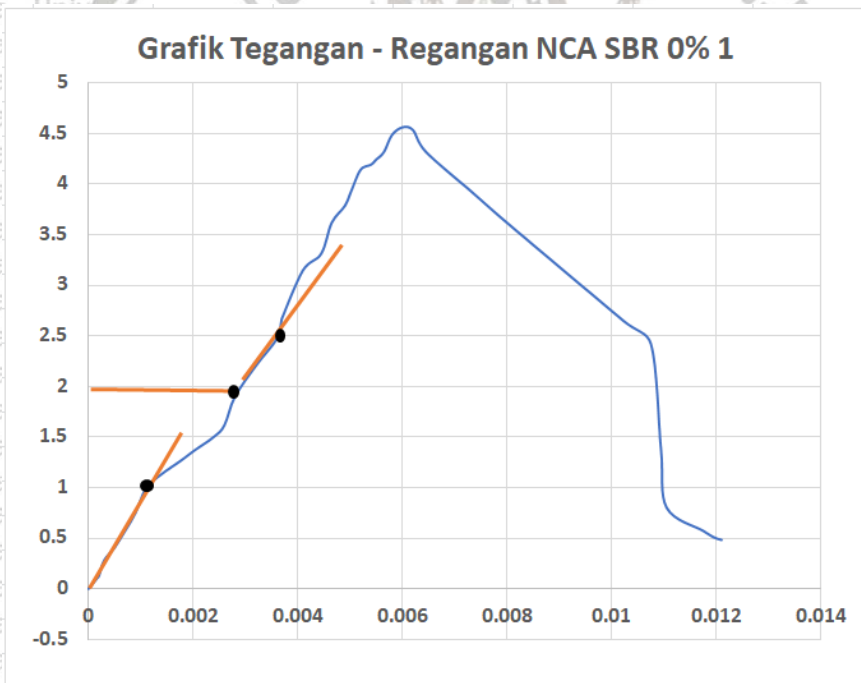


A (mm ²) =	7850			Berat (kg) =	3.44	
L0 (mm) =	200			Lendutan awal (mm) =	0	
RCA SBR 10% 3						
P(kN)	P (N)	P/A (N/mm ²)	Δl (mm)	Δl real (mm)	Δl/l0	E
9.3	9300	1.185	0.000	0.000	0.00000	#DIV/0!
10.0	10000	1.274	0.025	0.025	0.00013	10009.10
10.4	10400	1.325	0.040	0.040	0.00020	6624.20
11.4	11400	1.452	0.080	0.080	0.00040	3630.57
12.9	12900	1.643	0.140	0.140	0.00070	2347.59
13.9	13900	1.771	0.180	0.180	0.00090	1967.45
15.3	15300	1.949	0.240	0.240	0.00120	1624.20
16.6	16600	2.115	0.300	0.300	0.00150	1409.77
17.9	17900	2.280	0.380	0.380	0.00190	1200.13
19.2	19200	2.446	0.460	0.460	0.00230	1063.42
20.0	20000	2.548	0.466	0.466	0.00233	1093.64
21.9	21900	2.790	0.480	0.480	0.00240	1162.42
22.7	22700	2.892	0.560	0.560	0.00280	1032.76
24.9	24900	3.172	0.580	0.580	0.00290	1093.78
26.1	26100	3.325	0.660	0.660	0.00330	1007.53
28.3	28300	3.605	0.750	0.750	0.00375	961.36
30.0	30000	3.822	0.844	0.844	0.00422	905.13
30.1	30100	3.834	0.850	0.850	0.00425	902.21
31.9	31900	4.064	0.910	0.910	0.00455	893.12
32.6	32600	4.153	0.980	0.980	0.00490	847.52
33.0	33000	4.204	1.020	1.020	0.00510	824.28
35.6	35600	4.535	1.070	1.070	0.00535	847.67
36.4	36400	4.637	1.100	1.100	0.00550	843.08
37.8	37800	4.815	1.160	1.160	0.00580	830.222
38.4	38400	4.892	1.190	1.190	0.00595	822.138
39.9	39900	5.083	1.230	1.230	0.00615	826.472
40.0	40000	5.096	1.234	1.234	0.00617	825.858
40.4	40400	5.146	1.250	1.250	0.00625	823.439
41.4	41400	5.274	1.280	1.280	0.00640	824.045
42.0	42000	5.350	1.300	1.300	0.00650	823.126
41.6	41600	5.299	1.350	1.350	0.00675	785.091
40.0	40000	5.096	1.481	1.481	0.00740	688.237
32.3	32300	4.115	2.110	2.110	0.0106	390.014
30.0	30000	3.822	2.148	2.148	0.0107	355.883
20.1	20100	2.561	2.310	2.310	0.0116	221.689
20.0	20000	2.548	2.311	2.311	0.0116	220.487
12.4	12400	1.580	2.390	2.390	0.0120	132.186
10.0	10000	1.274	2.431	2.431	0.0122	104.797

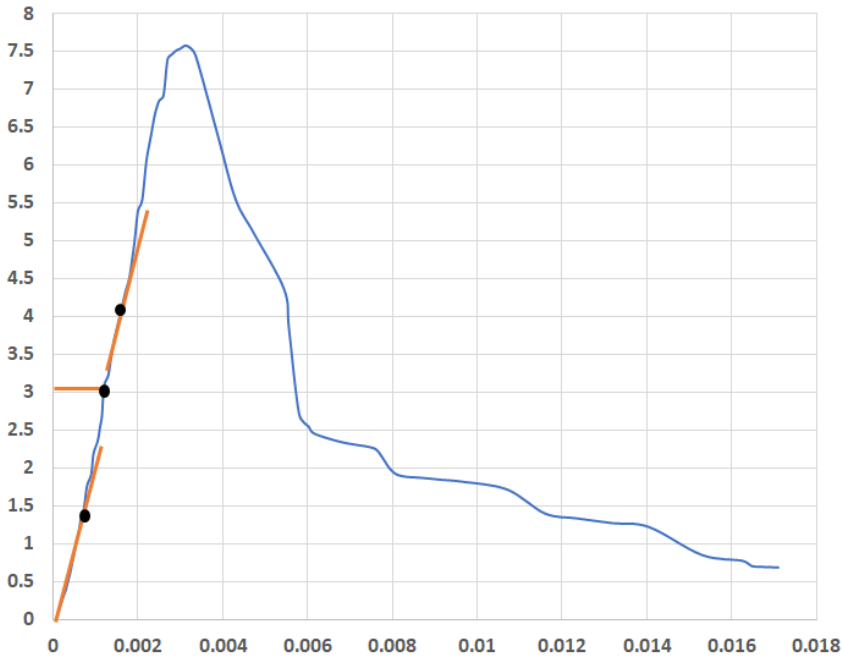
8.9	8900	1.134	2.450	2.450	0.0123	92.552
8.7	8700	1.108	2.490	2.490	0.0125	89.018
8.6	8600	1.096	2.610	2.610	0.0131	83.950



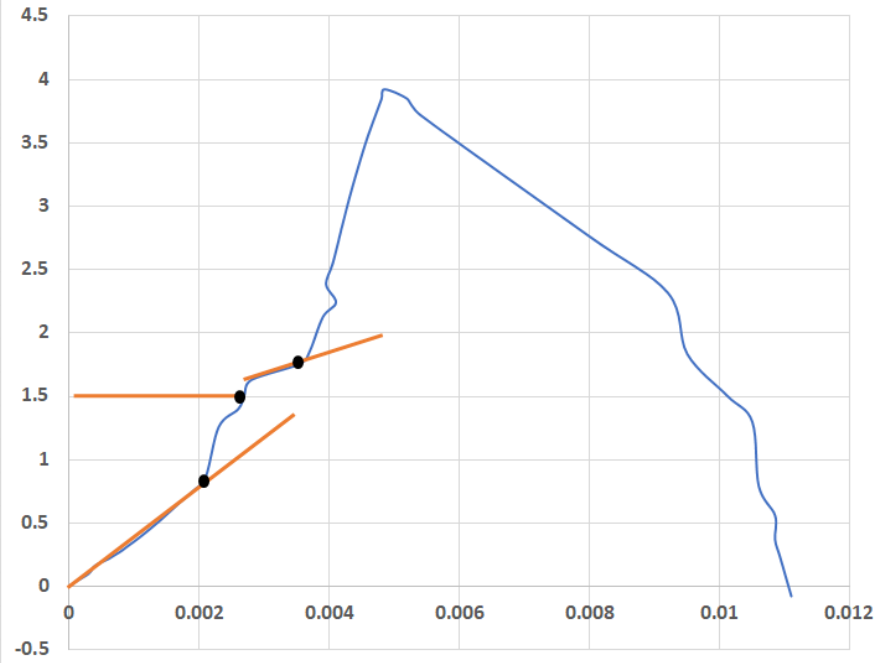
Lampiran 9 Garis Singgung Grafik Modulus Elastisitas



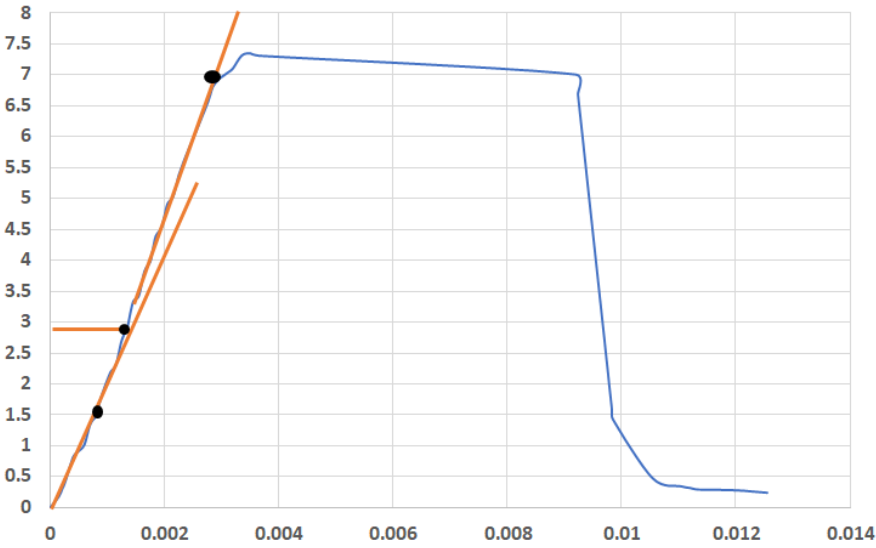
Grafik Tegangan - Regangan NCA SBR 0% 3



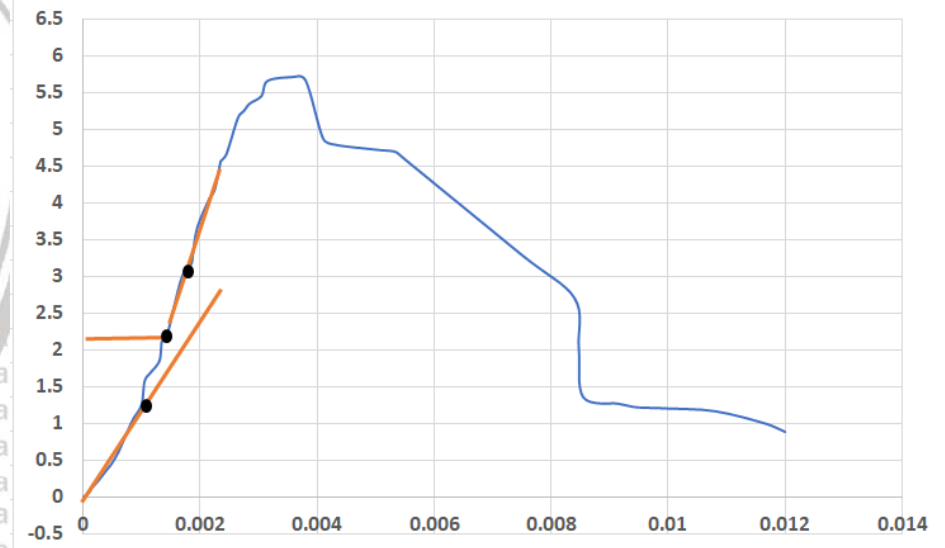
Grafik Tegangan - Regangan NCA SBR 5% 1



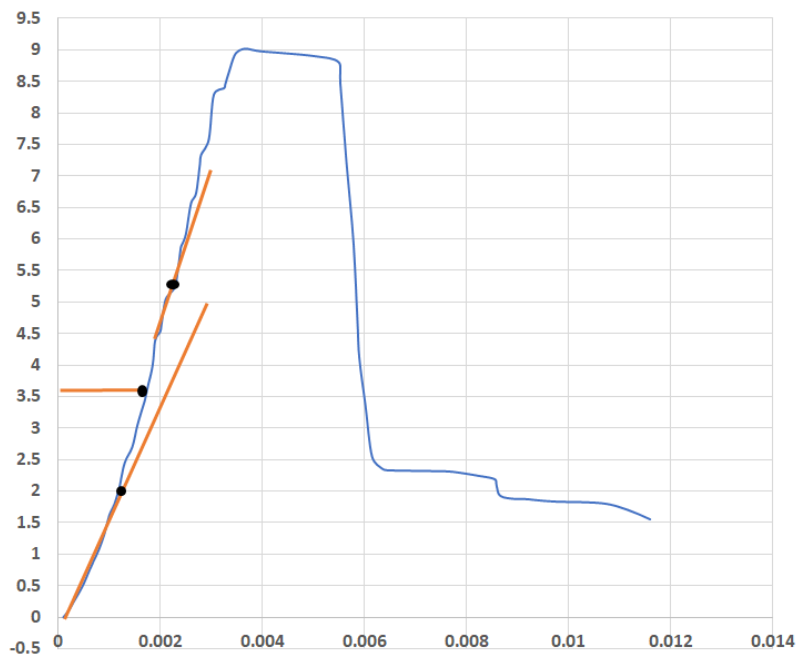
Grafik Tegangan - Regangan NCA SBR 5% 2



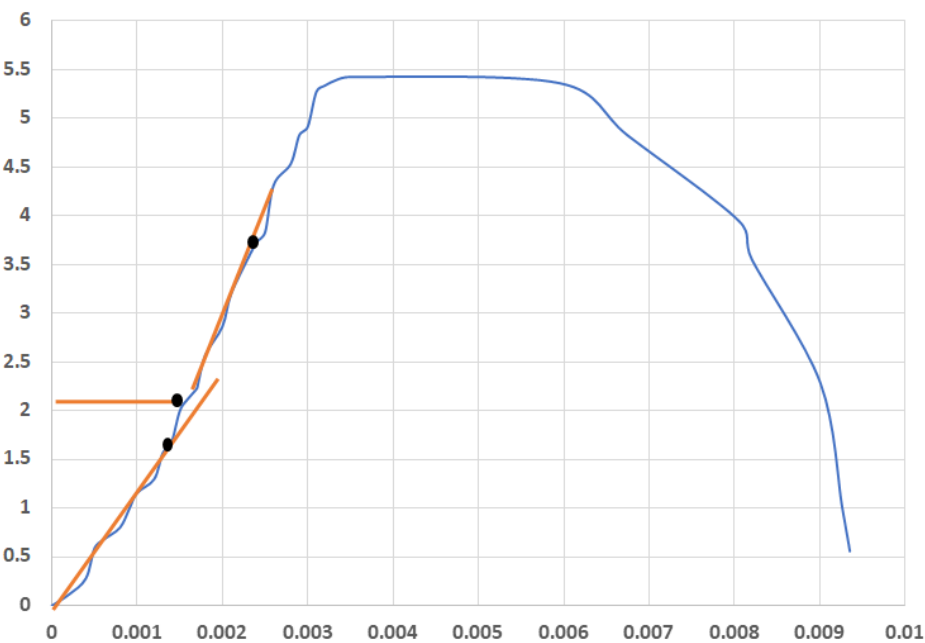
Grafik Tegangan - Regangan NCA SBR 5% 3



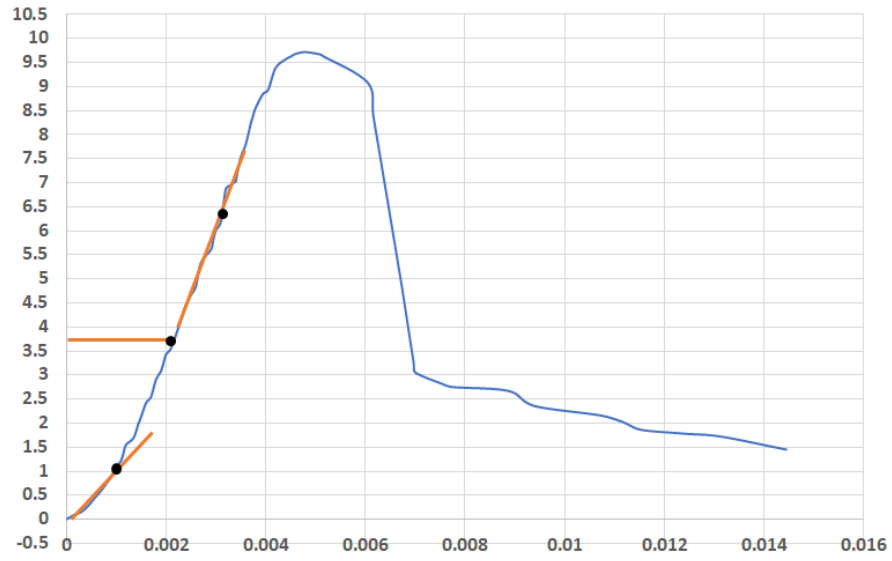
Grafik Tegangan - Regangan NCA SBR 10% 1



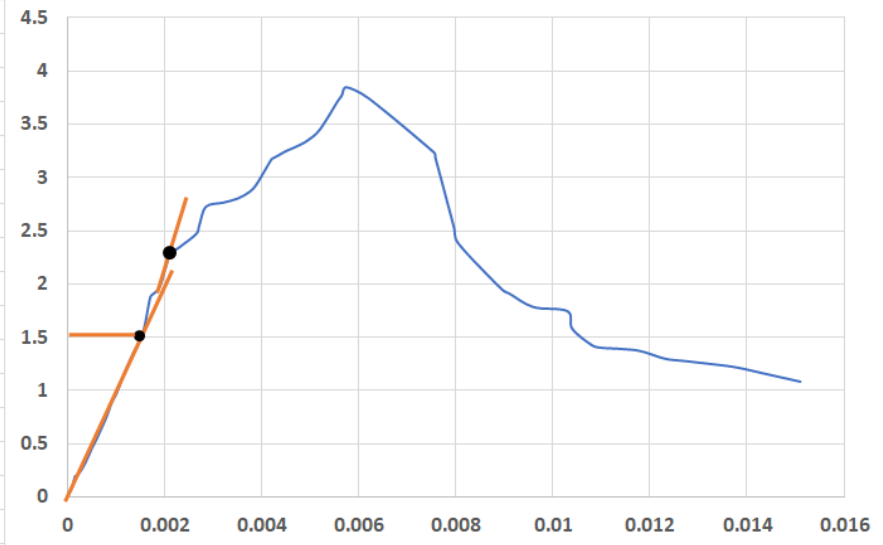
Grafik Tegangan - Regangan NCA SBR 10% 2



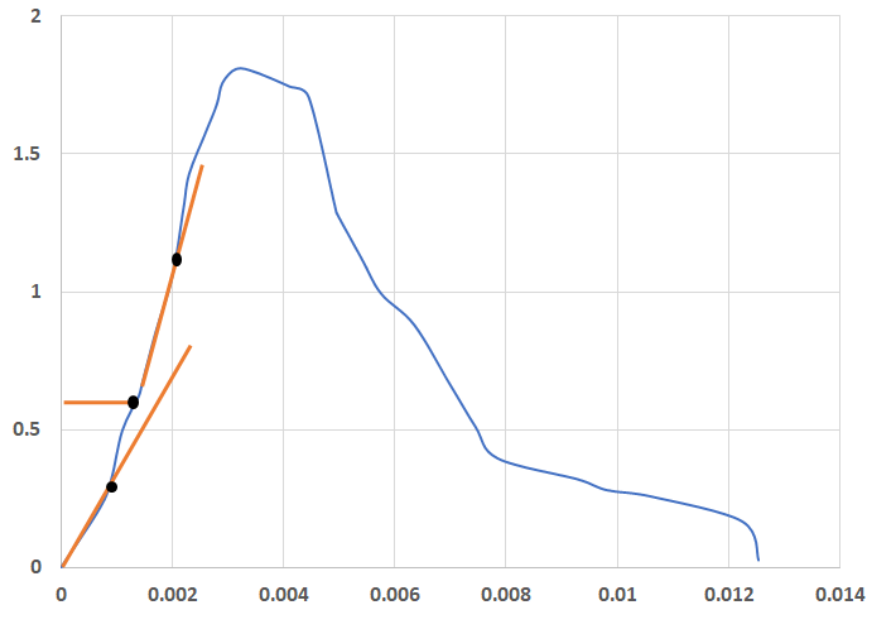
Grafik Tegangan - Regangan NCA SBR 10% 3



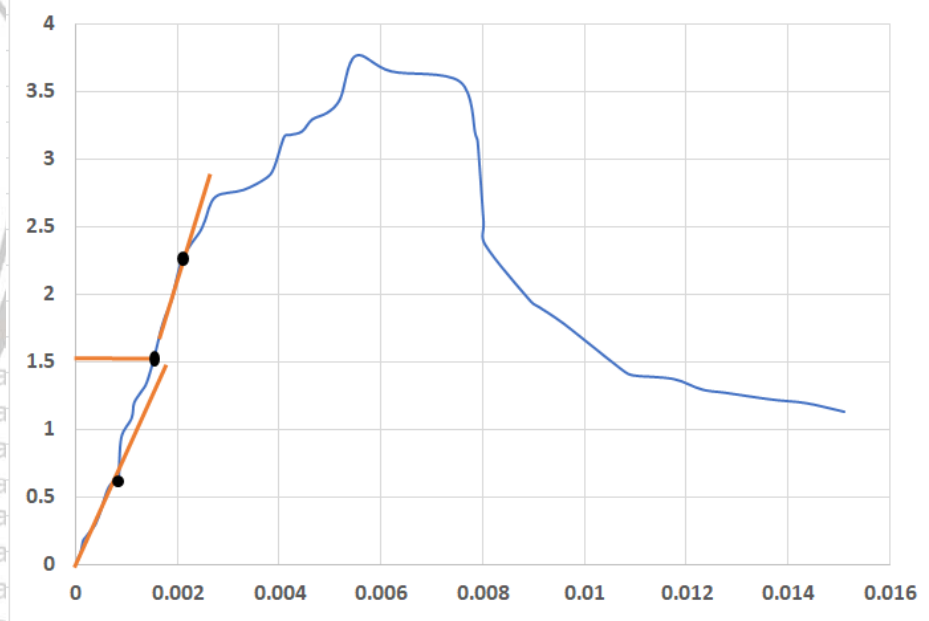
Grafik Tegangan - Regangan RCA SBR 0% 1



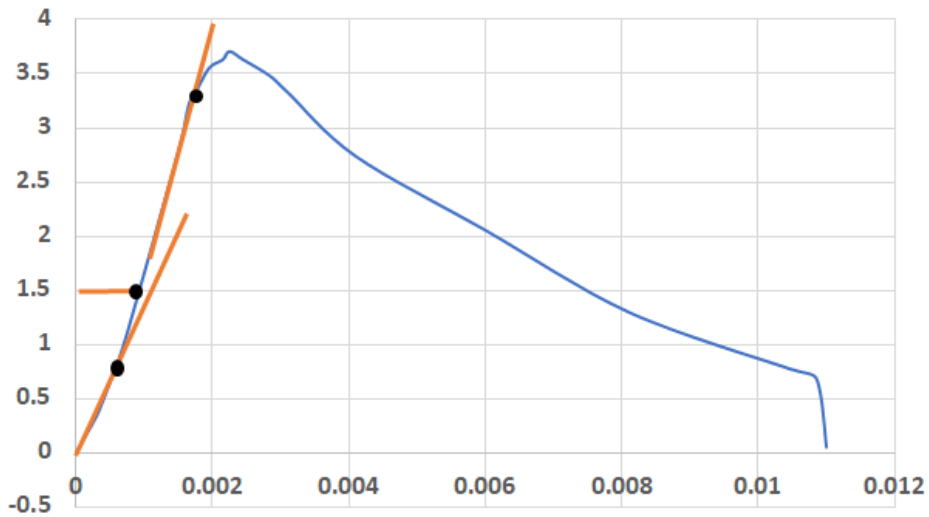
Grafik Tegangan - Regangan RCA SBR 0% 2



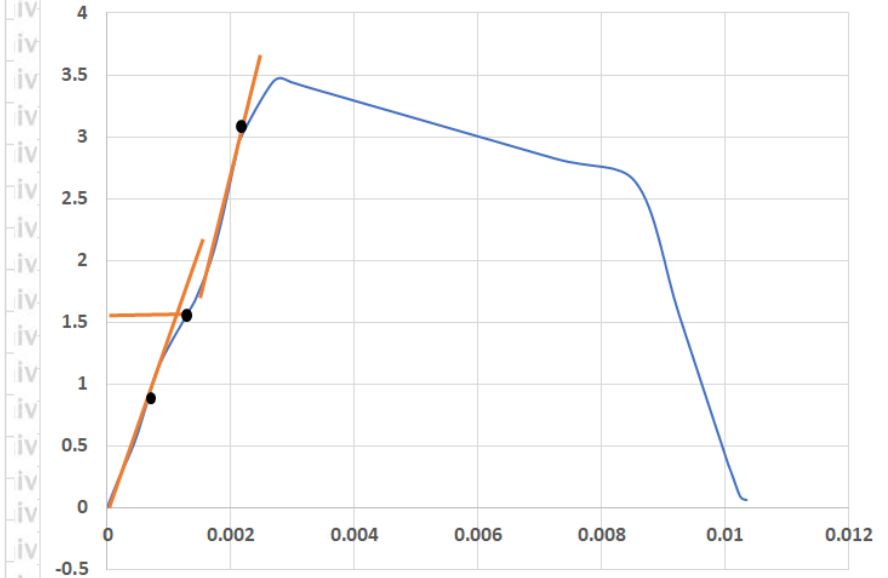
Grafik Tegangan - Regangan RCA SBR 0% 3



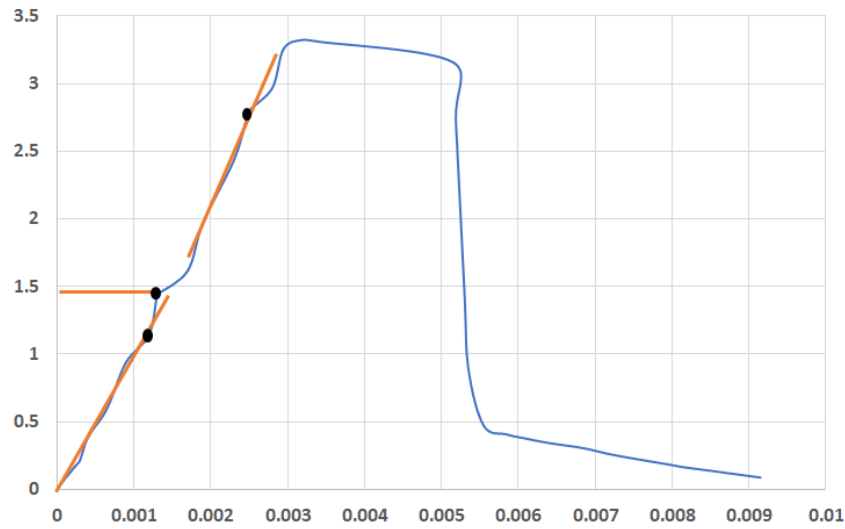
Grafik Tegangan - Regangan RCA SBR 5% 1



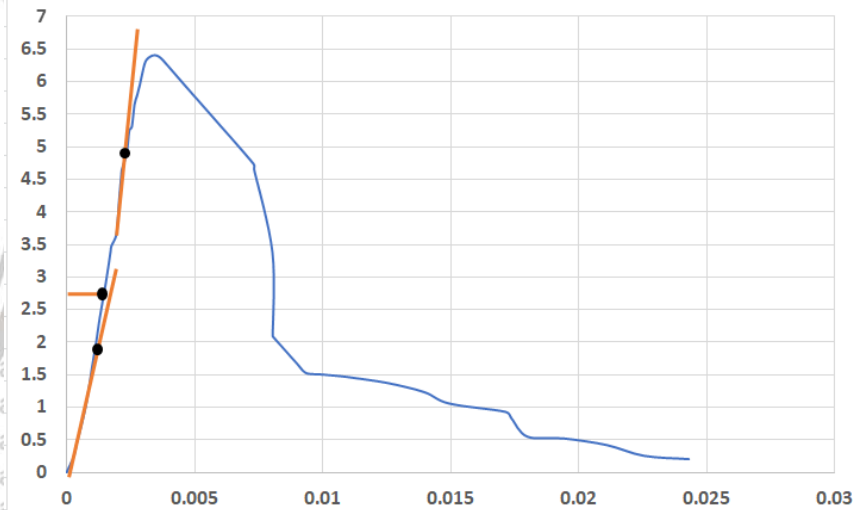
Grafik Tegangan - Regangan RCA SBR 5% 2



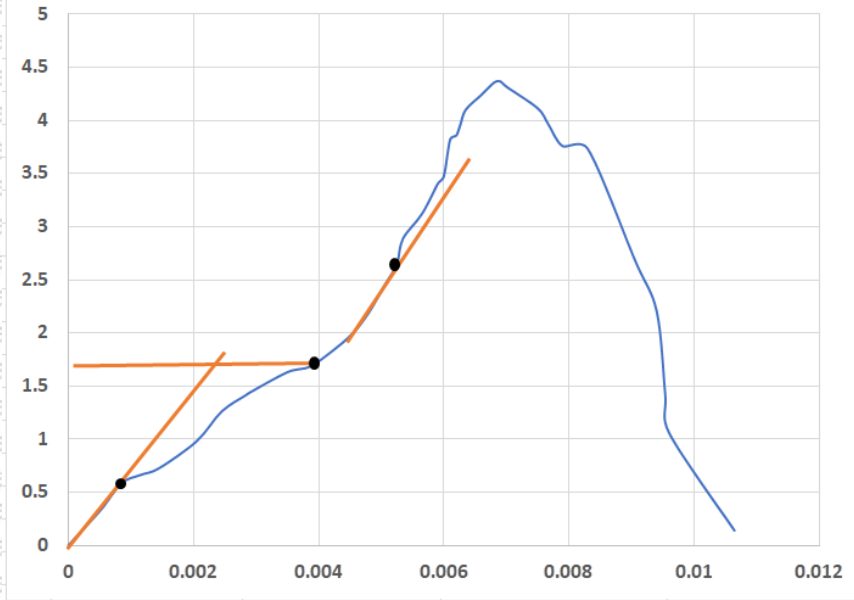
Grafik Tegangan - Regangan RCA SBR 5% 3



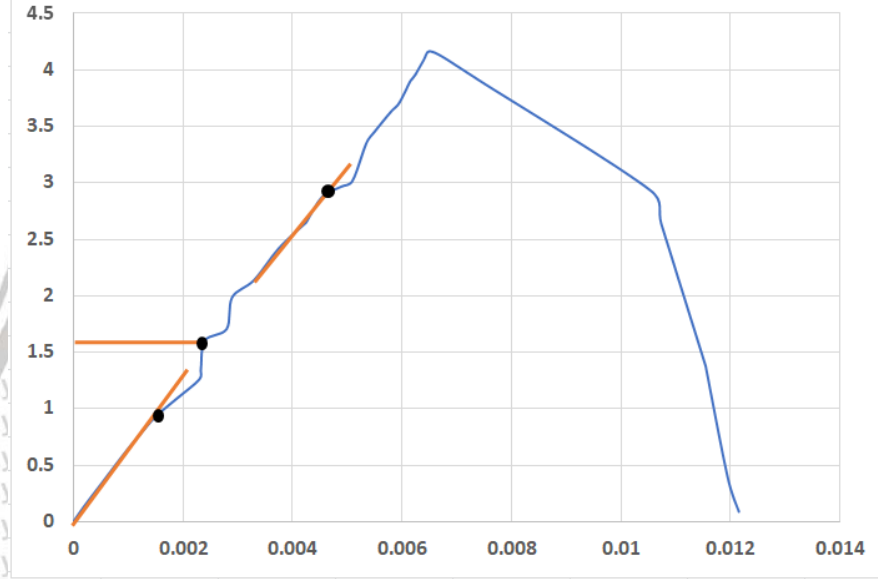
Grafik Tegangan - Regangan RCA SBR 10% 1




Grafik Tegangan - Regangan RCA SBR 10% 2






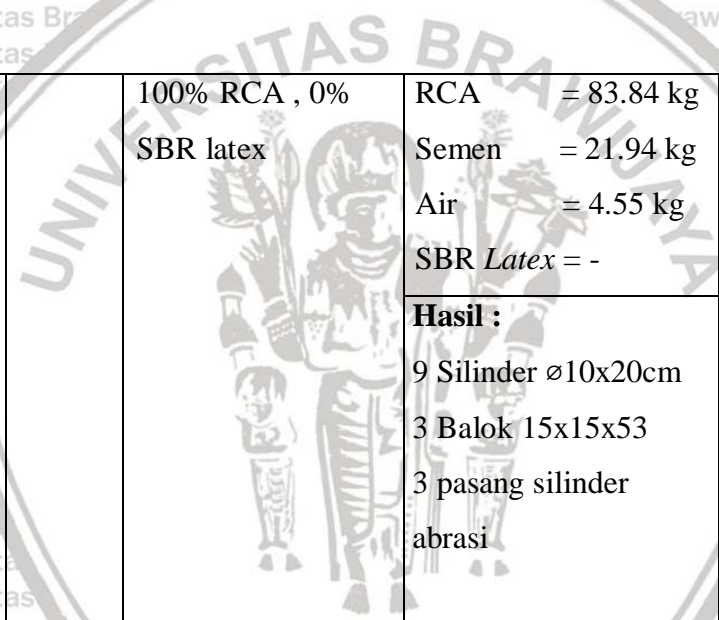
Grafik Tegangan - Regangan RCA SBR 10% 3



Lampiran 10 Logbook Pembuatan Benda Uji Beton *Pouros*

Tanggal	Jam	Kegiatan	Pelaksanaan dan Kendala	Dokumentasi
6 November 2020	9.00	Pengujian berat isi, berat jenis dan Penyerapan <i>Recycled coarse Agregat (RCA)</i> .	<p>Hasil: berat isi diuji 3x (3 sampel) dan didapatkan nilai berat isi sebesar:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 1193.2 gr/m³ 2. 1253.4 gr/m³ 3. 1278.6 gr/m³ <p>Untuk pengujian berat jenis dan penyerapan diambil 3 sampel dengan berat masing masing 5kg lalu direndam dalam air</p>	
7 November	9.00	Pengujian berat jenis dan	<p>Hasil: Meniriskan sampel</p>	

2020		penyerapan <i>Recycled Coarse Agregat (RCA)</i> .	berat jenis dan penyerapan setelah itu agregat ditimbang dalam keadaan <i>Saturated Surface Dry</i> dan menimbang berat jenis didalam air lalu agregat dikeringkan di dalam Oven	
8 November 2020	9.00	Pengujian berat jenis dan penyerapan <i>Recycled Coarse Agregat (RCA)</i> .	Hasil: Mengeluarkan sampel dari oven dan menghitung berat jenis dan penyerapan	
11 November 2020	11.00	Pengecoran variasi mix design ' R1S1 ' Keterangan :	Penggunaan Material : NCA	



	100% RCA , 0% SBR latex	RCA = 83.84 kg Semen = 21.94 kg Air = 4.55 kg SBR <i>Latex</i> = -
	Hasil : 9 Silinder ø10x20cm 3 Balok 15x15x53 3 pasang silinder abrasi	





<p>12 November 2020</p>	<p>9.00</p>	<p>Pengujian berat isi, berat jenis dan Penyerapan <i>Natural Coarse Agregat</i> (NCA).</p>	<p>Hasil : berat isi diuji 3x (3 sampel) dan didapatkan nilai berat isi sebesar : 1. 1334.07 gr/m³ 2. 1356.28 gr/m³ 3. 1350.43 gr/m³</p> <p>Untuk pengujian berat jenis dan penyerapan diambil 3 sampel dengan berat masing masing 5kg lalu direndam dalam air</p>
-------------------------	-------------	---	--




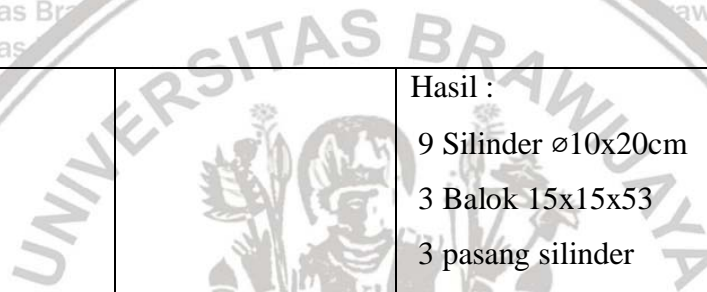
<p>13 November 2020</p>	<p>9.00</p>	<p>Pengujian berat jenis dan Penyerapan <i>Natural Coarse Agregat</i> (NCA).</p>	<p>Hasil : Mengeluarkan sampel dari oven dan menghitung berat jenis dan penyerapan</p>
<p>14 November 2020</p>	<p>9.00</p>	<p>Pengujian berat jenis dan Penyerapan <i>Natural Coarse Agregat</i> (NCA).</p>	<p>Mengeluarkan sampel dari oven dan menghitung berat jenis dan penyerapan</p>



<p>17 November 2020</p>	<p>11.00</p>	<p>Pengecoran variasi mix design 'R1S2'</p> <p>Keterangan: 100% RCA, 0% SBR latex</p>	<p>Penggunaan Material:</p> <p>NCA = - RCA = 83.84 kg Semen = 21.94 kg Air = 4.55 kg SBR <i>Latex</i> = 855.2 ml</p> <hr/> <p>Hasil:</p> <p>9 Silinder ø10x20cm 3 Balok 15x15x53 3 pasang silinder abrasi</p>
<p>19 November 2020</p>	<p>11.00</p>	<p>Pengecoran variasi mix design 'R1S3'</p> <p>Keterangan: 100% RCA, 0% SBR latex</p>	<p>Penggunaan Material:</p> <p>NCA = - RCA = 83.844 kg Semen = 21.94 kg Air = 4.55 kg SBR <i>Latex</i> = 1688 ml</p> <hr/> <p>Hasil :</p> <p>9 Silinder ø10x20cm 3 Balok 15x15x53</p>




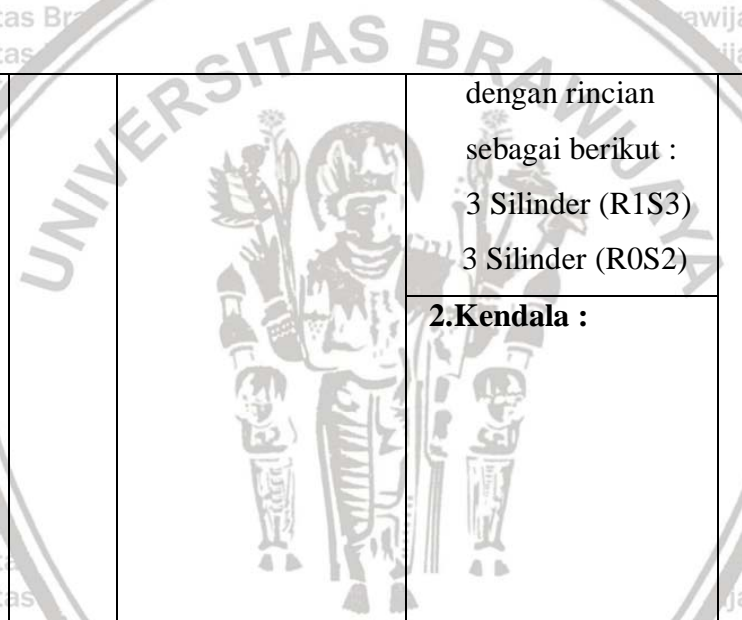
			3 pasang silinder abrasi	
21 November 2020	11.00	Pengecoran variasi mix design ' R0S2 ' Keterangan : 100% RCA , 0% SBR latex	Penggunaan Material : NCA= 90.9447 kg RCA = - Semen = 21.94 kg Air = 4.55 kg SBR <i>Latex</i> = 855.2 ml Hasil : 9 Silinder ø10x20cm 3 Balok 15x15x53 3 pasang silinder abrasi	
24 November 2020	11.00	Pengecoran variasi mix design ' R0S1 ' Keterangan : 100% RCA , 0% SBR latex	Penggunaan Material : NCA = 90.94 kg RCA = - Semen = 21.94 kg Air = 4.55 kg SBR <i>Latex</i> = -	



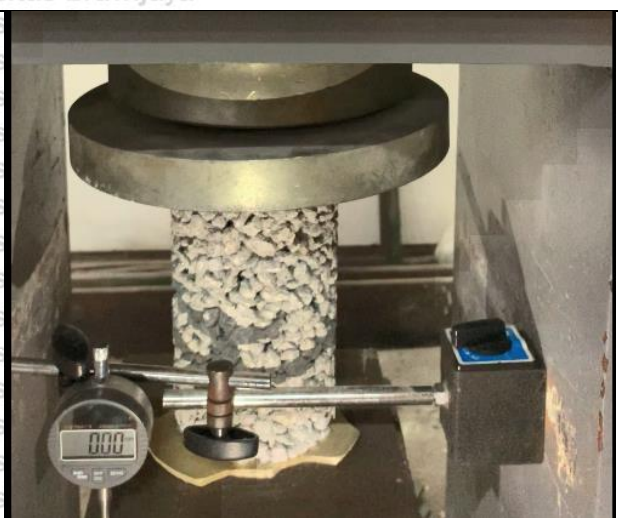
			<p>Hasil :</p> <p>9 Silinder $\varnothing 10 \times 20 \text{cm}$</p> <p>3 Balok $15 \times 15 \times 53$</p> <p>3 pasang silinder abrasi</p>
8 Desember 2020	11.00	<p>Pengecoran variasi mix design 'R0S3'</p> <p>Keterangan : 100% RCA , 0% SBR latex</p>	<p>Penggunaan Material :</p> <p>NCA = 90.94 kg</p> <p>RCA = -</p> <p>Semen = 21.94 kg</p> <p>Air = 4.55 kg</p> <p>SBR <i>Latex</i> = 1688 ml</p> <p>Hasil :</p> <p>9 Silinder $\varnothing 10 \times 20 \text{cm}$</p> <p>3 Balok $15 \times 15 \times 53$</p> <p>3 pasang silinder abrasi</p>








<p>22 Desember 2020</p>	<p>9.00</p>	<p>Pengujian kuat tekan beton dengan variasi mix design : 'R1S1 dan R1S2'</p>	<p>1. Hasil : Pengujian kuat tekan silinder beton dimensi ukuran 10 x 20 cm sebanyak 6 sampel beton, dengan rincian sebagai berikut : 3 Silinder (R1S1) 3 Silinder (R1S2)</p>	
<p>28 Desember 2020</p>	<p>9.00</p>	<p>Pengujian Kuat Tekan silinder beton dengan variasi mix design : 'R1S3 dan R0S2'</p>	<p>1. Hasil : Pengujian kuat tekan silinder beton dimensi ukuran 10 x 20 cm sebanyak 6 sampel beton,</p>	



			<p>dengan rincian sebagai berikut :</p> <p>3 Silinder (R1S3)</p> <p>3 Silinder (R0S2)</p> <p>2.Kendala :</p>
7 Januari 2021	9.00	<p>Pengujian Kuat Tekan silinder beton dengan variasi mix design R0S1</p>	<p>1. Hasil :</p> <p>Pengujian kuat tekan silinder beton dimensi ukuran 10 x 20 cm sebanyak 3 sampel beton, dengan rincian sebagai berikut :</p> <p>3 Silinder (R0S1)</p>



			<p>2. Kendala :</p>	
<p>8 Januari 2021</p>	<p>9.00</p>	<p>Pengujian Kuat tekan silinder beton dengan variasi mix design : 'R0S3'</p>	<p>1. Hasil : Pengujian kuat tekan silinder beton dimensi ukuran 10 x 20 cm sebanyak 3 sampel beton, dengan rincian sebagai berikut : 3 Silinder (R0S3)</p> <p>2. Kendala :</p>	

Mix Design		Sebelum di uji	Setelah di uji
<p>Variasi Mix Design 'RCA Kontrol' Ketereangan : 100% RCA 0% SBR <i>Latex</i></p>	1		
	2		
	3		

			
<p>Variasi Mix Design 'R1S2'</p> <p>Ketereangan : 100% RCA 5% SBR <i>Latex</i></p>	1		
	2		

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

		
3		
Variasi Mix Design 1		

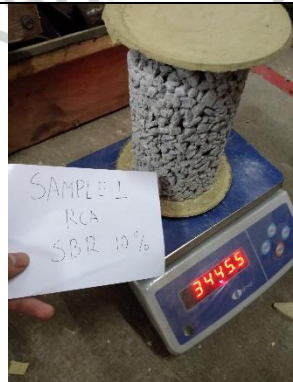
'R1S2'

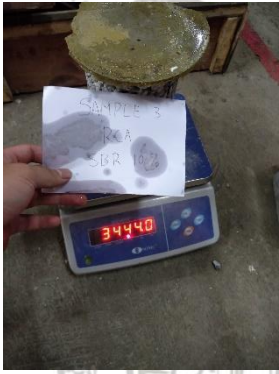



Ketereangan :

100% RCA 10%

SBR *Latex*

2



	3		
<p>Variasi Mix Design</p> <ul style="list-style-type: none"> • NCA Kontrol <p>Ketereangan : 100% NCA 0% SBR <i>Latex</i></p>	1		

2



3



Variasi Mix Design

'R0S1'

Ketereangan :
100% NCA 5% SBR


Latex

1



2



	3	 
<p>Variasi Mix Design 'R0S2' Ketereangan : 100% NCA 10% SBR Latex</p>	1	 



2



3

