

**PENGARUH JARAK SENGKANG DARI METODE JAKET BETON
BERTULANG BAMBU PADA KOLOM BETON BERTULANG
SEDANG**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH JARAK SENGKANG DARI METODE JAKET BETON
BERTULANG BAMBU PADA KOLOM BETON BERTULANG
SEDANG**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



RUDI YULIANTO
NIM. 145060100111003

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 9 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Christin Remayanti N., ST., MT
NIP. 19840325 201504 2 001

Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D
NIP. 19740619 200012 1 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

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

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH JARAK SENGKANG DARI METODE JAKET BETON BERTULANG
BAMBU PADA KOLOM BETON BERTULANG SEDANG

Nama Mahasiswa : Rudi Yulianto
NIM : 145060100111003
Program Studi : Teknik Sipil
Minat : Struktur

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Dr. Eng Indradi W, ST, M.Eng (Prac.).

Dosen Penguji II : Christin Remayanti N., ST., MT.

Dosen Penguji III : Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D.

Tanggal Ujian : 3 Juli 2018

SK Penguji : 1274/UN10.F07/KP/2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

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

Malang, 9 Juli 2018

Mahasiswa,

Rudi Yulianto

NIM. 145060100111003



RIWAYAT HIDUP

Rudi Yulianto, lahir di Probolinggo, 6 Juli 1996. Anak dari Bapak Saib M. Hasan dan Ibu Lilik Suati. Mulai masuk bangku sekolah tingkat dasar di SDN Sumberkedawung III tahun 2002 dan lulus tahun 2008. Setelah itu melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Leces dan lulus pada tahun 2011. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Leces dan lulus pada tahun 2014. Selanjutnya mengenyam bangku kuliah di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan lulus pada tahun 2018.

Selama kuliah aktif berpartisipasi dalam kegiatan organisasi kampus. Aktif sebagai Ketua Departemen Hubungan Masyarakat Forum Studi Islam Sipil periode 2016, Ketua Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa periode 2017, anggota Divisi Alumni Departemen Eksternal di Himpunan Mahasiswa Sipil periode 2016/2017, serta berbagai kepanitiaan dalam kegiatan yang diselenggarakan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.



Malang, 9 Juli 2018

Penulis



*“Tiada daya dan upaya
melainkan pertolongan Allah”*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada ALLAH SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Semoga rahmat dan hidayah-Nya selalu dilimpahkan kepada kita setiap saat. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita, suri tauladan kita, Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun kita dari zaman gelap jahiliyah menuju zaman yang diterangi cahaya islam seperti yang kita rasakan saat ini.

Skripsi yang berjudul “Pengaruh Jarak Senggang dari Metode Jacket Beton Bertulang Bambu pada Kolom Bertulang Sedang” ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Skripsi ini dapat diselesaikan berkat bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua saya, Bapak **M. Saib A. Hasan** dan Ibu **Lilik Suati (Almh)** yang telah melahirkan serta membimbing saya sejak kecil hingga sekarang, terima kasih atas dukungan moral, materiil, dan doa selama ini. Saya sangat bangga dan cinta dengan kalian.
2. Bapak **Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo., ST., MT.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. Ibu **Christin Remayanti N., ST., MT.**, selaku Dosen Pembimbing I.
4. Bapak **Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D** selaku Dosen Pembimbing II.
5. Bapak **Dr. Eng Indradi W., ST, M.Eng (Prac)** yang juga membantu dan memberikan saran kepada saya dalam menyusun skripsi ini.
6. **Dr. Ir. Wisnumurti., MT.**, selaku KKDK Struktur
7. Ibu **Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS**, selaku Dosen Penasehat Akademik.
8. **Keluarga saya** yang telah mendoakan dan memberikan semangat kepada saya dalam menyelesaikan skripsi.
9. **Tim PENGABDI SKRIPSI** (Kelompok Penelitian Kolom *Retrofit*) yang terdiri dari saya, Rizky Adhi, Gilang Edo, Jevri Herlambang, Redita, Ruth Navratilova, dan Samuel Wiliartha.

10. **Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Universitas Brawijaya**, khususnya teman-teman Teknik Sipil 2014, yang memberikan dukungan dan semangat selama penelitian ini berlangsung Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
11. **Keluarga Besar FORSIS (Forum Studi Islam Sipil)** selalu setia menemani, memberikan semangat dan dukungan selama saya belajar di kampus ini.

Saya menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, 3 Juli 2018

Rudi Yulianto



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
RINGKASAN.....	xix
SUMMARY	xxi
DAFTAR SIMBOL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Tujuan Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	3
1.6.1 Bagi penulis:.....	3
1.6.2 Bagi pembaca:.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton Bertulang	5
2.1.1 Material Pembentuk Beton Bertulang	5
2.1.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton Bertulang	6
2.1.2 Tegangan dan Regangan Pada Beton Bertulang	7
2.1.3 Perilaku Tegangan – Regangan Beton Terkekang	7
2.2 Tulangan Longitudinal.....	9
2.2.1 Fungsi Tulangan Longitudinal	10
2.3 Tulangan Transversal (Sengkang)	10
2.3.1 Pengaruh Tulangan Transversal (Sengkang).....	10
2.4 Bambu	14
2.4.1 Bambu Petung	14
2.4.2 Bambu Apus	14
2.4.3 Kuat Tarik Bambu	14
2.4.4 Kuat Tekan Bambu.....	16
2.5 Kolom	17

2.5.1	Kolom Pendek Dengan Beban Aksial	18
2.6	Modulus Elastisitas	18
2.6.1	Modulus Elastisitas Secant	19
2.6.2	Modulus Elastisitas Tangen	19
2.7	Kekakuan	20
2.8	Daktilitas	21
2.9	Perkuatan Kolom dengan Metode <i>Concrete jacketing</i>	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		23
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2	Bahan Penelitian	23
3.2.1	Pozzolan Portland Cement	23
3.2.2	Tulangan Baja	23
3.2.3	Tulangan Bambu	23
3.2.4	Agregat	23
3.2.5	Air	24
3.2.6	Bahan Perekat Beton	24
3.3	Peralatan Penelitian	24
3.3.1	Saringan	24
3.3.2	Timbangan	24
3.3.3	Mesin Pengaduk Beton	24
3.3.4	Cetakan Benda Uji	24
3.3.5	Alat Uji Tekan	25
3.3.6	Alat Uji Tarik	25
3.3.7	Dial Gauge Digital	25
3.3.8	Alat Bantu Lainnya	25
3.4	Tahapan Penelitian	26
3.5	Rancangan Penelitian	27
3.6	Variabel Penelitian	34
3.7	Prosedur Penelitian	34
3.7.1	Pengujian Bahan Dasar	34
3.7.2	Pembuatan Benda Uji	34
3.7.3	Perawatan Benda Uji	35
3.7.4	Pengujian Kuat Tekan	35
3.7.5	Pengujian Kuat Tarik	36
3.8	Metode Analisis	36

3.8.1	Pengumpulan Data.....	36
3.8.2	Pengolahan Data.....	38
3.9	Hipotesis Penelitian	46
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		47
4.1	Analisa Bahan	47
4.1.1	Agregat Halus	47
4.1.2	Agregat Kasar	47
4.1.3	Baja Tulangan.....	47
4.1.4	Air.....	48
4.2	Campuran Beton	48
4.3	Pengujian Beton Segar.....	48
4.4	Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder	49
4.5	Pengujian Kuat Beban Aksial Kolom.....	52
4.6	Pembahasan	58
4.6.1	Pembahasan Mengenai Gaya Tekan dan Defleksi Kolom Asli dengan Kolom <i>Retrofit</i> 58	
4.6.2	Pembahasan Mengenai Tegangan dan Regangan Kolom Asli dengan Kolom <i>Retrofit</i> 84	
4.6.3	Pembahasan Mengenai Daktilitas Kolom Asli dengan Kolom <i>Retrofit</i>	112
4.7	Analisis Efektifitas Kolom <i>Retrofit</i>	117
4.7.1	Analisis Efektifitas Kolom <i>Retrofit</i> C1 dengan Kolom <i>Retrofit</i> C2.....	120
4.7.2	Analisis Efektifitas Kolom <i>Retrofit</i> D.1 dengan Kolom <i>Retrofit</i> D.2	121
BAB V PENUTUP		123
5.1	Kesimpulan	123
5.2	Saran	124
DAFTAR PUSTAKA		125

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Rentang frekuensi gelombang mekanik longitudinal	15
Tabel 2. 2	Tegangan tarik bambu kering oven tanpa nodia dan dengan nodia	15
Tabel 2. 3	Kuat tekan bambu petung	16
Tabel 3. 1	Kolom <i>retrofit</i> dengan variasi tulangan bambu dan jarak sengkang yang berbeda.....	27
Tabel 3. 2	Jumlah benda uji.....	28
Tabel 3. 3	Form pengujian kuat tekan beton silinder sampel kolom sebelum dan setelah <i>retrofit</i>	37
Tabel 3. 4	Form pengujian kuat tekan kolom sebelum dan setelah <i>retrofit</i>	37
Tabel 3. 5	Form pengumpulan data dari pengujian uji tarik tulangan baja Ø6 mm dan Ø8 mm	38
Tabel 3. 6	Tabel pengolahan data gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	39
Tabel 3. 7	Tabel pengolahan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	39
Tabel 3. 8	Tabel pengolahan data tegangan dan regangan, dan modulus secant hasil uji tekan kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	40
Tabel 3. 9	Tabel pengolahan data tegangan, regangan, dan modulus tangen hasil uji tekan kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	40
Tabel 3. 10	Tabel pengolahan data tegangan dan regangan kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	41
Tabel 3. 11	Tabel pengolahan data daktilitas pada kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	41
Tabel 3. 12	Tabel data hasil gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	41
Tabel 3. 13	Tabel data persentase perubahan gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	42
Tabel 4. 1	Tabel hasil uji tulangan baja.....	47
Tabel 4. 2	Tabel hasil uji slump beton benda uji silinder (sampel benda uji kolom asli) .	48
Tabel 4. 3	Tabel hasil uji slump beton benda uji silinder (sampel benda uji kolom <i>retrofit</i>)	48
Tabel 4. 4	Tabel hasil uji kuat tekan beton benda uji silinder (sampel benda uji kolom asli)	49

Tabel 4. 5	Tabel hasil uji kuat tekan beton benda uji silinder (sampel benda uji kolom <i>retrofit</i>)	50
Tabel 4. 6	Tabel hasil kuat beban aksial kolom asli.....	53
Tabel 4. 7	Tabel hasil rata-rata kuat beban aksial kolom asli	53
Tabel 4. 8	Tabel hasil kuat beban aksial kolom <i>retrofit</i>	54
Tabel 4. 9	Tabel hasil rata-rata kuat beban aksial kolom <i>retrofit</i>	55
Tabel 4. 10	Tabel pengolahan gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	59
Tabel 4. 11	Tabel data rata –rata gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	59
Tabel 4. 12	Tabel data gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1	61
Tabel 4. 13	Tabel data gaya tekan dan defleksi kolom <i>retrofit</i> C.1	62
Tabel 4. 14	Tabel data gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2.....	67
Tabel 4. 15	Tabel data gaya tekan dan defleksi kolom <i>retrofit</i> C.2	68
Tabel 4. 16	Tabel data gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1	72
Tabel 4. 17	Tabel data gaya tekan dan defleksi kolom <i>retrofit</i> D.1.....	73
Tabel 4. 18	Tabel data gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2.....	78
Tabel 4. 19	Tabel data gaya tekan dan defleksi kolom <i>retrofit</i> D.2.....	79
Tabel 4. 20	Tabel pengolahan data tegangan, regangan, dan modulus secant hasil uji tekan kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	85
Tabel 4. 21	Tabel data rata –rata tegangan, regangan, dan modulus secant hasil uji tekan kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	85
Tabel 4. 22	Tabel pengolahan data tegangan, regangan, dan modulus tangen hasil uji tekan kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	87
Tabel 4. 23	Tabel data rata –rata tegangan, regangan, dan modulus tangen hasil uji tekan kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	87
Tabel 4. 24	Tabel data tegangan dan regangan kolom asli C.1.....	89
Tabel 4. 25	Tabel data tegangan dan regangan kolom <i>retrofit</i> C.1	90
Tabel 4. 26	Tabel data tegangan dan regangan kolom asli C.2.....	95
Tabel 4. 27	Tabel data tegangan dan regangan kolom <i>retrofit</i> C.2.....	96
Tabel 4. 28	Tabel data tegangan dan regangan kolom asli D.1	100
Tabel 4. 29	Tabel data tegangan dan regangan kolom <i>retrofit</i> D.1.....	101
Tabel 4. 30	Tabel data tegangan dan regangan kolom asli D.2	106
Tabel 4. 31	Tabel data tegangan dan regangan kolom <i>retrofit</i> D.2.....	107



Tabel 4. 32	Tabel pengolahan data daktilitas pada kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	113
Tabel 4. 33	Tabel data rata-rata daktilitas pada kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	114
Tabel 4. 34	Tabel data hasil gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	118
Tabel 4. 35	Tabel data hasil gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas rata – rata kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	119
Tabel 4. 36	Tabel data persentase perubahan gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	119
Tabel 4. 37	Tabel data persentase perubahan gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas rata – rata kolom asli dan kolom <i>retrofit</i>	120
Tabel 4. 38	Tabel perbandingan hasil penelitian kolom <i>retrofit</i> C.1 dengan kolom <i>retrofit</i> C.2	121
Tabel 4. 39	Tabel perbandingan hasil penelitian kolom <i>retrofit</i> D.1 dengan kolom <i>retrofit</i> D.2	122
Tabel L.1. 1	Hasil percobaan agregat halus.....	128
Tabel L.1. 2	Hasil percobaan berat jenis agregat halus.....	131
Tabel L.1. 3	Hasil pemeriksaan berat isi agregat halus.....	132
Tabel L.1. 4	Hasil percobaan agregat kasar.....	133
Tabel L.1. 5	Hasil percobaan berat jenis agregat kasar.....	135
Tabel L.1. 6	Hasil percobaan penyerapan agregat kasar.....	135
Tabel L.1. 7	Hasil pemeriksaan berat isi agregat kasar.....	136
Tabel L.2. 1	Hasil pemeriksaan agregat halus.....	138
Tabel L.2. 2	Hasil pemeriksaan agregat halus.....	139
Tabel L.2. 3	Persyaratan fas dan jumlah semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus.....	141
Tabel L.2. 4	Penetapan nilai slump	141
Tabel L.2. 5	Perkiraan kuat tekan beton (MPa) dengan fas = 0,5	142
Tabel L.2. 6	Persyaratan fas dan jumlah semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus.....	144
Tabel L.2. 7	Nilai slump untuk berbagai pekerjaan beton.....	145
Tabel L.2. 8	Perkiraan kebutuhan air per-meter kubik beton.....	146
Tabel L.2. 9	Perencanaan campuran beton.....	149
Tabel L.2. 10	Perbandingan proporsi campuran teoritis dan aktual beton	150



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Hubungan tegangan regangan beton terkekang dan beton tidak terkekang 8

Gambar 2. 2 Pengekangan dengan tulangan sengkang dan tulangan longitudinal..... 11

Gambar 2. 3 Variasi tegangan pengekang akibat jumlah dan susunan tulangan (longitudinal dan transversal) 11

Gambar 2. 4 Efektifitas pengekangan. (a) sengkang persegi; (b) spiral 12

Gambar 2. 5 Jarak antar sengkang mempengaruhi efektifitas pengekangan..... 13

Gambar 2. 6 Efek konfigurasi dan jarak sengkang...(a) Konfigurasi sengkang yang kurang baik dengan jarak yang lebar ; (b) konfigurasi yang baik dengan jarak yang rapat 13

Gambar 2. 7 Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja..... 16

Gambar 2. 8 Variasi jenis kolom (a) Kolom Persegi, (b) Kolom Bulat, (c) Kolom Komposit 17

Gambar 2. 9 Grafik gaya tekan dan deformasi material yang dibebani aksial 20

Gambar 2. 10 Beberapa alternatif pengambilan lendutan pada titik leleh..... 21

Gambar 3. 1 Diagram alir tahapan penelitian 26

Gambar 3. 2 Benda uji kolom asli 29

Gambar 3. 3 Benda uji kolom *retrofit* kode C1 30

Gambar 3. 4 Benda uji kolom *retrofit* kode C2 31

Gambar 3. 5 Benda uji kolom *retrofit* kode D1 32

Gambar 3. 6 Benda uji kolom *retrofit* kode D2 33

Gambar 3. 7 Grafik perbandingan hasil uji tekan beton uji silinder kolom asli dengan kolom *retrofit*..... 42

Gambar 3. 8 Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli dengan *retrofit*..... 43

Gambar 3. 9 Grafik gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom *retrofit* 43

Gambar 3. 10 Grafik tegangan dan regangan kolom asli dan kolom *retrofit* 44

Gambar 3. 11 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom *retrofit*..... 44

Gambar 3. 12 Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dan kolom *retrofit* 45

Gambar 3. 13 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom *retrofit*..... 45



Gambar 3. 14 Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dengan kolom <i>retrofit</i>	46
Gambar . 1 Grafik perbandingan hasil uji tekan beton uji silinder kolom asli C dengan kolom <i>retrofit</i> C.....	51
Gambar 4. 2 Grafik perbandingan hasil uji tekan beton uji silinder kolom asli D dengan kolom <i>retrofit</i> D	51
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli C1 dengan kolom <i>retrofit</i> C1	56
Gambar 4. 4 Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli C2 dengan kolom <i>retrofit</i> C2	56
Gambar 4. 5 Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli D1 dengan kolom <i>retrofit</i> D1	57
Gambar 4. 6 Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli D2 dengan kolom <i>retrofit</i> D2.....	57
Gambar 4. 7 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.1 dengan kolom <i>retrofit</i> C.1.1.....	64
Gambar 4. 8 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.2 dengan kolom <i>retrofit</i> C.1.2.....	65
Gambar 4. 9 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.3 dengan kolom <i>retrofit</i> C.1.3.....	65
Gambar 4. 10 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1 dengan kolom <i>retrofit</i> C.1.....	66
Gambar 4. 11 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2.1 dengan kolom <i>retrofit</i> C.2.1.....	70
Gambar 4. 12 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2.2 dengan kolom <i>retrofit</i> C.2.2.....	70
Gambar 4. 13 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2.3 dengan kolom <i>retrofit</i> C.2.3.....	71
Gambar 4. 14 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2 dengan kolom <i>retrofit</i> C.2.....	71
Gambar 4. 15 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.1 dengan kolom <i>retrofit</i> D.1.1	76
Gambar 4. 16 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.2 dengan kolom <i>retrofit</i> D.1.2	76



Gambar 4. 17 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.3 dengan kolom *retrofit* D.1.3..... 77

Gambar 4. 18 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1 dengan kolom *retrofit* D.1..... 77

Gambar 4. 19 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2.1 dengan kolom *retrofit* D.2.1..... 82

Gambar 4. 20 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2.2 dengan kolom *retrofit* D.2.2..... 82

Gambar 4. 21 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2.3 dengan kolom *retrofit* D.2.3..... 83

Gambar 4. 22 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2 dengan kolom *retrofit* D.2..... 83

Gambar 4. 23 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.1 dengan kolom *retrofit* C.1.1..... 93

Gambar 4. 24 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.2 dengan kolom *retrofit* C.1.2..... 93

Gambar 4. 25 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.3 dengan kolom *retrofit* C.1.3..... 94

Gambar 4. 26 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1 dengan kolom *retrofit* C.1 94

Gambar 4. 27 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.2.1 dengan kolom *retrofit* C.2.1 98

Gambar 4. 28 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.2.2 dengan kolom *retrofit* C.2.2 98

Gambar 4. 29 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.2.3 dengan kolom *retrofit* C.2.3 99

Gambar 4. 30 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.2 dengan kolom *retrofit* C.2 99

Gambar 4. 31 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.1 dengan kolom *retrofit* D.1.1 104

Gambar 4. 32 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.2 dengan kolom *retrofit* D.1.2..... 104

Gambar 4. 33 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.3 dengan kolom *retrofit* D.1.3..... 105



Gambar 4. 34	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1 dengan kolom <i>retrofit</i> D.1.....	105
Gambar 4. 35	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.2.1 dengan kolom <i>retrofit</i> D.2.1	110
Gambar 4. 36	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.2.2 dengan kolom <i>retrofit</i> D.2.2	110
Gambar 4. 37	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.2.3 dengan kolom <i>retrofit</i> D.2.3	111
Gambar 4. 38	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.2 dengan kolom <i>retrofit</i> D.2.....	111
Gambar 4. 39	Grafik perbandingan daktilitas kolom asli C.1 dengan kolom <i>retrofit</i> C.1	115
Gambar 4. 40	Grafik perbandingan daktilitas kolom asli C.2 dengan kolom <i>retrofit</i> C.2	115
Gambar 4. 41	Grafik perbandingan daktilitas kolom asli D.1 dengan kolom <i>retrofit</i> D.1	116
Gambar 4. 42	Grafik perbandingan daktilitas kolom asli D.2 dengan kolom <i>retrofit</i> D.2	117
Gambar L.1. 1	Garis lengkung agregat zona halus 2.....	129
Gambar L.1. 2	Garis lengkung agregat kasar max 20 mm.....	134
Gambar L.2. 1	Garis lengkung agregat halus zona 2	139
Gambar L.2. 2	Garis lengkung agregat kasar max 20 mm.....	140
Gambar L.2. 3	Hubungan antara kuat tekan dan fas benda uji silinder	143
Gambar L.2. 4	Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 10 mm	147
Gambar L.2. 5	Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Agregat campuran dan Berat Isi Beton	148
Gambar L.3. 1	Data Hasil Uji Tarik Tulangan Ø6 mm (Sampel 1).....	152
Gambar L.3. 2	Data Hasil Uji Tarik Tulangan Ø6 mm (Sampel 2).....	153
Gambar L.3. 3	Data Hasil Uji Tarik Tulangan Ø8 mm (Sampel 1).....	154
Gambar L.3. 4	Data Hasil Uji Tarik Tulangan Ø8 mm (Sampel 2).....	155
Gambar L.4. 1	Agregat kasar dan halus	158
Gambar L.4. 2	Pengayakan gregat kasar dan halus.....	158
Gambar L.4. 3	Pengayakan gregat kasar dan halus.....	159

Gambar L.4. 4	Memasukkan adonan beton ke dalam benda uji silinder	159
Gambar L.4. 5	Proses pemadatan beton dengan vibrator	160
Gambar L.4. 6	Uji Slump	160
Gambar L.4. 7	Pengujian kuat tarik tulangan baja.	161
Gambar L.4. 8	Bekisting (cetakan) kolom asli	161
Gambar L.4. 9	Memasukkan adonan beton ke dalam benda uji kolom asli.....	162
Gambar L.4. 10	Pengujian kuat tekan beton silinder.	162
Gambar L.4. 11	Pengujian kuat tekan kolom asli	163
Gambar L.4. 12	Kolom asli setelah dilakukan pengujian kuat beban aksial.....	163
Gambar L.4. 13	Pemasangan tulangan longitudinal bambu pada kolom <i>retrofit</i>	164
Gambar L.4. 14	<i>Pengujian kuat tekan kolom retrofit</i>	164
Gambar L.4. 15	Tulangan longitudinal pada kolom utama mengalami pembengkokan setelah dilakukan pengujian kuat beban aksial pada kolom <i>retrofit</i>	165
Gambar L.4. 16	Gambar tampak atas setelah kolom <i>retrofit</i> dilakukan pengujian kuat beban aksial	165
Gambar L.4. 17	Gambar tampak samping setelah kolom <i>retrofit</i> dilakukan pengujian kuat beban aksial	166
Gambar L.4. 18	Tulangan longitudinal pada kolom <i>retrofit</i> mengalami patah setelah dilakukan pengujian kuat beban aksial pada kolom <i>retrofit</i>	166



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I PEMERIKSAAN DAN ANALISIS BAHAN CAMPURAN BETON..... 127

Lampiran II PERHITUNGAN CAMPURAN DAN PENENTUAN KEBUTUHAN BAHAN 137

Lampiran III DATA HASIL UJI TARIK TULANGAN 151

Lampiran IV DOKUMENTASI PENELITIAN 157



RINGKASAN

Rudi Yulianto, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2018, *Pengaruh Jarak Sengkang dari Metode Jaket Beton Bertulang Bambu pada Kolom Beton Bertulang Sedang*, Dosen Pembimbing : Christin Remayanti N., ST., MT dan Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D.

Kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan keruntuhan, oleh karena itu struktur kolom harus direncanakan lebih kuat dari pada struktur balok. Ketika kolom mengalami keruntuhan, perlu dilakukan perbaikan untuk mencegah terjadinya kegagalan total pada struktur bangunan. Kegagalan suatu kolom kemungkinan disebabkan oleh gempa atau pembebanan berlebih. Seiring berkembangnya pembangunan konstruksi di Indonesia, banyak inovasi – inovasi dalam perkuatan ataupun perbaikan struktur konstruksi yang turut berkembang. Salah satu metode yang digunakan untuk perkuatan atau perbaikan adalah metode jaket beton.

Pada penelitian ini kolom *retrofit* akan dipasang tulangan dan sengkang bermaterialkan bambu. Bambu yang dipakai pada tulangan merupakan jenis bambu petung sedangkan bambu yang dipakai pada sengkang merupakan jenis bambu apus. Terdapat 4 jenis kolom *retrofit* yang akan diteliti, yakni kolom *retrofit* kode C1 yang dipasang tulangan bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 20 mm dan dengan jarak antar sengkang 9.3 cm, kolom *retrofit* kode C2 yang dipasang tulangan bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 20 mm dan dengan jarak antar sengkang 14 cm, kolom *retrofit* kode D1 yang dipasang tulangan bambu sebanyak 8 buah ukuran 10 x 10 mm dan dengan jarak antar sengkang 9.3 cm dan kolom *retrofit* kode D2 yang dipasang tulangan bambu sebanyak 8 buah ukuran 10 x 10 mm dan dengan jarak antar sengkang 14 cm. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas jarak sengkang pada kolom *retrofit* C1 dengan kolom *retrofit* C2 dan juga efektivitas jarak sengkang pada kolom *retrofit* D1 dengan D2. Kolom akan diuji tekan dengan menggunakan *compression test machine* dan dipasang *dial gauge* sebagai pembantu bacaan defleksi yang terjadi pada saat kolom diuji tekan

Hasil penelitian didapatkan bahwa, kolom *retrofit* C2 lebih efektif dibandingkan dengan kolom *retrofit* C1. Hal ini dikarenakan dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kolom *retrofit* C2 mengalami penurunan gaya tekan sebesar 10.6 %, sedangkan gaya tekan maksimum kolom *retrofit* C1 mengalami penurunan sebesar 28.59 %. Kolom *retrofit* C2 mengalami penurunan kekakuan sebesar 3.56 %, sedangkan kolom *retrofit* C1 mengalami penurunan kekakuan sebesar 20.17 %. Kolom *retrofit* C2 mengalami penurunan modulus elastisitas sebesar 57.14 %, sedangkan kolom *retrofit* C1 mengalami penurunan modulus elastisitas sebesar 64.52 %. Kolom *retrofit* C2 mengalami peningkatan daktilitas sebesar 109.71 %, sedangkan kolom *retrofit* C1 mengalami peningkatan daktilitas sebesar 187.2 %. Kemudian untuk hasil penelitiaasn kolom *retrofit* D2 lebih efektif dibandingkan dengan kolom *retrofit* D1. Hal ini dikarenakan dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kolom *retrofit* D2 mengalami peningkatan gaya tekan sebesar 13 %, sedangkan gaya tekan maksimum kolom *retrofit* D1 mengalami penurunan sebesar 2.2 %. Kolom *retrofit* D2 mengalami peningkatan kekakuan sebesar 11.38 %, sedangkan kolom *retrofit* D1 mengalami peningkatan kekakuan sebesar 4.73 %. Kolom *retrofit* D2 mengalami penurunan modulus elastisitas sebesar 50.5 %, sedangkan kolom *retrofit* D1 mengalami penurunan modulus elastisitas sebesar 53.45 %. Kolom *retrofit* D2 mengalami peningkatan daktilitas sebesar 128.45 %, sedangkan kolom *retrofit* D1 mengalami peningkatan daktilitas sebesar 97.19 %.

Kata Kunci : Jaket beton, efektivitas, gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, daktilitas.

SUMMARY

Rudi Yulianto, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, July 2018, *Effect of Stirrup Spacing of Bamboo Concrete Jacket on Moderately Reinforced Concrete Columns*, Academic Supervisor : Christin Remayanti N., ST., MT dan Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D.

Columns are critical locations that can cause collapse, therefore the column structure must be designed stronger than the beam structure. So if the column collapsed, it needs to be repaired to prevent the total failure of the building structure. The failure of a column may be caused by an earthquake or overload. Along with the development of construction in Indonesia, many innovations in the strengthening or repairment of the construction structures are also growing. One of the methods for strengthening or repairment is concrete jacketing.

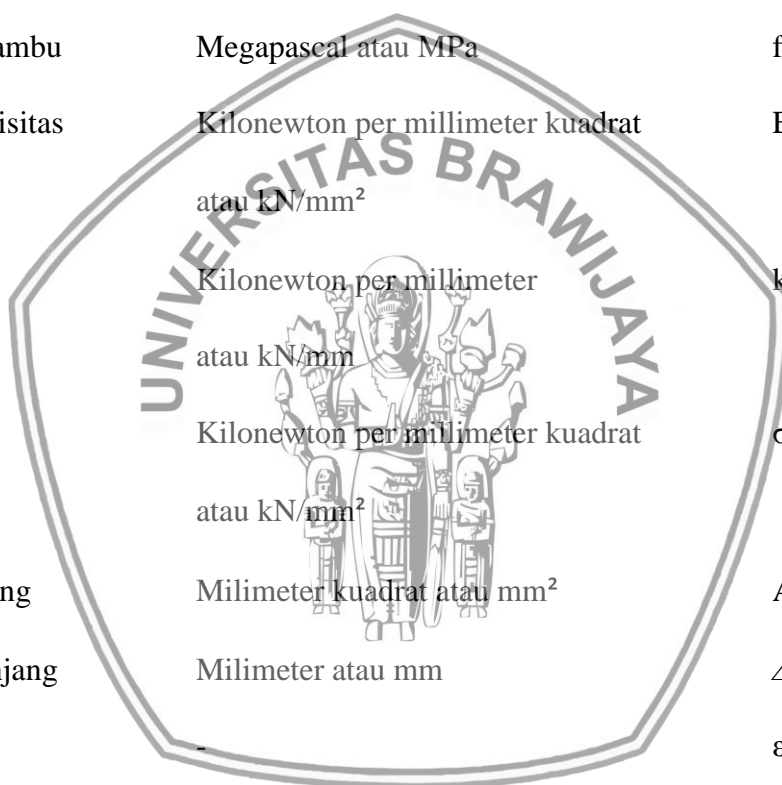
In this study, longitudinal bars and stirrup in the retrofit column use bamboo material. Bamboo that used in longitudinal bars is bamboo petung, while the bamboo that used in the stirrup is bamboo apus. There are 4 types of retrofit columns to be studied, retrofitting column C1 use 4 pieces bamboo bars with size 10 x 20 mm and the spacing between stirrups 9.3 cm, retrofit column C2 use 4 pieces bamboo bars with size 10 x 20 mm and the spacing between stirrups 14 cm, retrofit column D1 use 8 pieces bamboo bars with size 10 x 10 mm and the spacing between stirrups 9.3 cm, retrofitting column D2 use 4 pieces bamboo bars with size 10 x 10 mm and the spacing between stirrups 14 cm. The purpose of this study is to analyze the effectiveness of stirrups spacing between C1 and C2 retrofit columns and D1 and D2 retrofit columns. Compression test machine is used to measure the compressive strength of the retrofit column, and dial gauge is used to measure deflection during the test.

The result showed that, the retrofit column with spacing between stirrups 14 cm (C2 and D2) was more effective than the retrofit column with the spacing between stirrups 9 cm (C1 and D1). The C2 retrofit column has a maximum compressive force decreased by 10.6 % while the maximum compressive force of C1 retrofit column decreased by 28.59 %. The stiffness of C2 retrofit column decreased by 3.56 %, the modulus of elasticity decreased by 57.14%, and the ductility increased by 109.71 %. While the stiffness of C1 retrofit column decreased by 20.17 %, the modulus of elasticity decreased by 64.52 %, and the ductility increased by 187.2 %. Then, D2 retrofit column has a maximum compressive force increased by 13 % while the maximum compressive force of D1 retrofit column decreased by 2.2 %. The stiffness of D2 retrofit column increased by 11.38 %, the modulus of elasticity decreased by 50.5 %, and the ductility increased by 128.45 %. While the stiffness of D1 retrofit column increased by 4.73 %, the modulus of elasticity decreased by 53.45 %, and the ductility increased by 97.19 %.

Keywords : Concrete jacketing, effective, compressive force, stiffness, modulus of elasticity, ductility.

DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Kuat Beban Aksial	Kilonewton atau kN	P
Luas Penampang Bruto	Milimeter kuadrat atau mm ²	Ag
Kuat Tekan Beton	Megapascal atau MPa	f ['] c
Tegangan Leleh	Megapascal atau MPa	fy
Luas Penampang Bambu	Milimeter kuadrat atau mm ²	Abambu
Kuat Tekan Bambu	Megapascal atau MPa	ftk bambu
Modulus Elastisitas	Kilonewton per millimeter kuadrat atau kN/mm ²	E
Kekakuan	Kilonewton per millimeter atau kN/mm	k
Tegangan	Kilonewton per millimeter kuadrat atau kN/mm ²	σ
Luas Penampang	Milimeter kuadrat atau mm ²	A
Perubahan Panjang	Milimeter atau mm	ΔL
Regangan	-	ε
Gaya Tekan	Kilonewton atau kN	P
Defleksi	Milimeter atau mm	Δ
Daktilitas	-	μΔ
Deformasi <i>Ultimate</i>	Milimeter atau mm	Δu
Deformasi Leleh	Milimeter atau mm	Δy



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada suatu konstruksi bangunan, kolom memiliki fungsi yang sangat krusial. Dari segi struktural, kolom merupakan batang tekan dalam sebuah sistem rangka (*frame*) yang menahan dan menyalurkan beban-beban dari struktur atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi. Kolom berfungsi sebagai batang tekan, maka keruntuhan pada kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuh suatu bangunan.

Apabila kolom mengalami suatu kegagalan struktur maka perlu dilakukan perkuatan. Penyebab terjadinya kerusakan umumnya disebabkan akibat gempa bumi, kebakaran, dan pembebanan berlebih (*overloading*). Terdapat beberapa metode yang dapat dilakukan untuk perkuatan kolom seperti *concrete jacketing*, *steel bonding plat*, *carbon fibre reinforced polymer*, dan lain sebagainya.

Pada penelitian ini, penulis menggunakan perbaikan kolom dengan metode *concrete jacketing* menggunakan tulangan bambu. *Concrete jacketing* merupakan metode memperkuat kolom dengan cara melapisi kolom yang mengalami kerusakan dengan lapisan beton bertulang. Metode ini dipilih karena kita tidak perlu untuk membangun kembali kolom yang sudah rusak tersebut, sehingga metode ini sangat efisien dari segi waktu serta memerlukan biaya yang lebih murah dibandingkan metode lainnya. Tulangan yang digunakan pada saat perkuatan digunakan tulangan bambu petung sebagai tulangan longitudinal dan bambu apus sebagai sengkang. Jenis bambu ini digunakan karena bambu petung dan bambu apus yang lebih murah dibanding baja serta mempunyai kuat tarik sejajar serat yang lebih besar daripada kuat tarik baja mutu sedang, yaitu sebesar 100-400 MPa.

Dalam struktur beton bertulang, sengkang mempunyai fungsi untuk memegang tulangan utama di dalam cetakan saat beton dicor dan mencegah tulangan utama supaya tidak menekuk keluar dan menghancurkan penutup beton yang tipis. Ini berarti harus direncanakan jarak sengkang sedemikian rupa untuk dapat menjalankan dua fungsi tersebut. Menurut Travio, dkk (2011) perbandingan jarak antar sengkang terhadap dimensi penampang inti daerah terkekang merupakan variabel yang berpengaruh terhadap tingkat kekuatan kolom, karena semakin rapat sengkang akan menambah efektivitas pengekangan. Semakin

renggang jarak sengkang maka akan semakin banyak volume beton yang tidak terkekang dan kemungkinan terjadi runtuh menjadi semakin besar. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan diamati pengaruh variasi jarak sengkang dan dimensi tulangan terhadap keruntuhan kolom setelah diperkuat menggunakan metode *concrete jacketing* menggunakan tulangan bambu, sehingga diharapkan dapat menciptakan inovasi dalam penggunaan tulangan bambu sebagai bahan pengganti tulangan baja untuk perkuatan kolom dengan metode *concrete jacketing*.

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini adalah untuk mengetahui gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas yang lebih efektif dari kolom *retrofit* dengan metode *concrete jacketing*. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi jarak sengkang pada kolom *retrofit*.

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah hasil gaya tekan maksimum pada kolom *retrofit* dengan variasi jarak sengkang bambu yang berbeda?
2. Bagaimanakah hasil kekakuan, modulus elastisitas dan daktilitas pada kolom *retrofit* dengan variasi jarak sengkang bambu yang berbeda?
3. Berapakah variasi jarak sengkang bambu yang paling efektif pada kolom *retrofit*?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah dalam penelitian ini, diantaranya sebagai berikut:

1. Jenis mutu beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah 17.5 Mpa.
2. Kolom asli mempunyai dimensi 12cm x 12cm x 30 cm.
3. Kolom *retrofit* mempunyai dimensi 18 cm x 18 cm x 30 cm.
4. Kolom asli menggunakan tulangan baja polos sebagai tulangan longitudinal dan transversal
5. Kolom asli dipasang tulangan longitudinal berdiameter 8 mm sebanyak 4 buah dan tulangan transversal berdiameter 6 mm dengan jarak 14 mm.
6. Kolom *retrofit* menggunakan bambu petung sebagai tulangan longitudinal dan bambu apus sebagai tulangan transversal
7. Pada kolom *retrofit* terdapat 2 jenis variasi dimensi tulangan longitudinal, yaitu 1 cm x 1 cm dan 1cm x 2 cm.
8. Pada kolom *retrofit* untuk dimensi tulangan longitudinal 1 cm x 1 cm dipasang sebanyak 4 buah tulangan dan dimensi tulangan longitudinal 1 cm x 2 cm dipasang sebanyak 8 buah tulangan.

9. Tulangan transversal pada kolom *retrofit* memiliki dimensi 0.5 cm x 0.5 cm.
10. Pada kolom *retrofit* terdapat 2 jenis variasi pemasangan jarak tulangan transversal, yaitu 9.3 cm dan 14 cm.
11. Karakteristik pengujian kolom *retrofit* yang akan diamati dalam penelitian ini adalah pengujian kuat tekan kolom.
12. Variasi yang akan dibandingkan dalam penelitian ini adalah jarak sengkang

1.5 Tujuan Penelitian

1. Mengukur hasil gaya tekan maksimum pada kolom *retrofit* dengan variasi jarak sengkang bambu yang berbeda.
2. Menganalisis hasil kekakuan, modulus elastisitas dan daktilitas pada kolom *retrofit* dengan variasi jarak sengkang bambu yang berbeda.
3. Menentukan variasi jarak sengkang bambu yang paling efektif pada kolom *retrofit*.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1.6.1 Bagi penulis:

- Mengetahui gaya tekan maksimum kolom *retrofit* dengan variasi jarak sengkang bambu yang berbeda.
- Mengetahui kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas pada kolom *retrofit* dengan variasi jarak sengkang bambu yang berbeda.
- Mengetahui variasi jarak sengkang yang paling efektif pada kolom *retrofit*.

1.6.2 Bagi pembaca:

- Dapat dijadikan referensi untuk menentukan variasi jarak sengkang yang paling efektif pada kolom *retrofit* dengan menggunakan metode *concrete jacketing*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Bertulang

Beton merupakan material yang memiliki kemampuan tekan yang besar yang diperoleh dengan membuat campuran dengan proporsi tertentu dari agregat halus, agregat kasar, semen, air, serta bahan tambahan jika diperlukan. Semen dan air dapat bereaksi secara kimiawi membentuk pasta semen yang digunakan untuk mengikat agregat. Agregat berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat mempunyai proporsi lebih banyak dibanding bahan lain dalam campuran beton, sehingga kekuatan serta gradasi agregat perlu diperhatikan karena dapat mempengaruhi kuat tekan beton. Beton banyak dipilih sebagai bahan konstruksi karena kemampuannya dalam menahan beban tekan. Namun, beton juga memiliki kekurangan dalam menahan beban tarik.

Beton bertulang merupakan bahan yang sangat banyak digunakan dalam bidang konstruksi, seperti gedung, jembatan, bendungan, perkerasan jalan, dan lainnya. Beton bertulang memanfaatkan kelebihan dari masing-masing bahan penyusunnya, yaitu beton dan tulangan baja. Beton berfungsi untuk memikul tegangan tekan sedangkan baja berfungsi untuk memikul tegangan tarik akibat beban-beban yang bekerja dalam struktur.

2.1.1 Material Pembentuk Beton Bertulang

Beton bertulang terdiri dari beberapa bahan penyusun, yaitu:

- Semen *Portland*

Semen adalah bahan yang memiliki sifat-sifat adhesif dan kohesif yang digunakan untuk mengikat agregat-agregat menjadi suatu massa padat yang mempunyai kekuatan yang cukup. Semen *portland* merupakan bubuk halus berwarna abu-abu yang terdiri dari kalsium dan aluminium silikat.

- Air

Air digunakan dalam pembuatan dan perawatan beton. Dalam pembuatan beton, semen dicampur dengan air untuk membentuk pasta semen. Pada umumnya air minum dapat dipakai dalam campuran beton.

- Agregat Halus

Agregat halus merupakan material yang dapat lolos saringan nomor 4, ukurannya bervariasi antara ukuran no.4 dan no. 100. Agregat halus berfungsi sebagai bahan pengisi yang berupa pasir alam atau psir buatan.

- Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan agregat yang ukurannya lebih besar dari agregat yang lolos saringan nomor 4. Agregat yang digunakan harus bersih dari bahan-bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan pasta semen. Agregat kasar dapat berupa batu pecah atau kerikil alam.

- Besi Beton

Beton kuat menahan beban tekan, namun lemah terhadap tarik. Dalam beton bertulang, umumnya digunakan baja tulangan untuk memikul gaya tarik. Baja tulangan terdiri dua macam, yaitu baja tulangan polos dan tulangan ulir. Saat ini banyak diteliti bahan-bahan yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti baja tulangan, salah satunya adalah bamboo

2.1.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton Bertulang

Ada beberapa kelebihan pada beton bertulang antara lain :

- Mempunyai kemampuan menahan gaya tekan yang tinggi
- Mempunyai ketahanan yang baik terhadap cuaca ekstrim
- Beton bertulang merupakan struktur yang sangat kokoh
- Memerlukan biaya perawatan yang lebih murah dibandingkan dengan material yang lainnya.
- Mempunyai usia layan yang panjang
- Mudah dicetak sesuai kebutuhan
- Tersusun dari bahan-bahan lokal yang murah (air, kerikil, dan pasir) serta membutuhkan sedikit semen dan tulangan baja.
- Mudah dikerjakan

Selain kelebihan, tentu beton bertulang juga mempunyai kekurangan yang harus kita ketahui. Beberapa kekurangan atau kelemahan beton bertulang diantaranya adalah:

- Beton mempunyai ketahanan terhadap gaya tarik yang rendah (sekitar 10% dari ketahanan terhadap gaya tekan), sehingga perlu dipasang tulangan baja untuk menahan gaya tarik.
- Beton bertulang memerlukan cetakan (bekisting) untuk menahan beton sampai beton tersebut mengeras. Biaya pembuatan bekisting cukup mahal. Di Amerika Serikat, biaya

yang dikeluarkan untuk bekisting berkisar antara sepertiga hingga dua pertiga dari total biaya suatu struktur beton bertulang.

- c) Beton bertulang mempunyai berat struktur yang besar, sehingga akan berpengaruh pada struktur dengan bentang yang panjang.
- d) Proporsi campuran, metode pengadukan, serta perawatan yang tidak benar dapat menghasilkan mutu beton yang tidak sesuai dengan rencana.

2.1.2 Tegangan dan Regangan pada Beton Bertulang

Tegangan merupakan besaran yang digunakan untuk mengukur intensitas gaya (P) yang timbul per satuan luas (A), dengan rumus sebagai berikut :

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

Dimana :

P = beban yang diberikan (kN)

A = luas tampang melintang (mm^2)

Regangan merupakan perbandingan antara perubahan panjang yang dihasilkan dengan panjang material mula-mula, sebagai hasil dari gaya tarik maupun tekan yang diterima oleh suatu bahan, dengan rumus sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana

$$\Delta L = l - l_0$$

ΔL = perubahan panjang akibat beban P (mm)

L = panjang semula (mm)

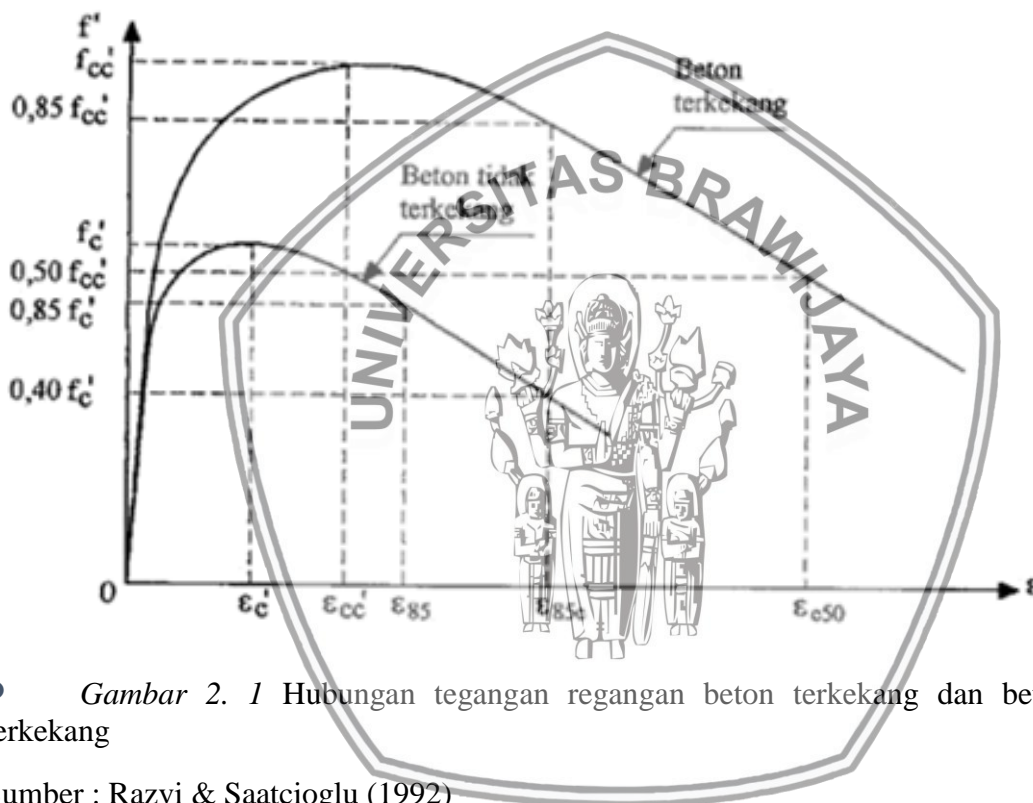
2.1.3 Perilaku Tegangan – Regangan Beton Terkekang

Hubungan tegangan-regangan beton dapat dipengaruhi oleh perilaku tulangan lateral dalam kolom, dimana bentuk hubungan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti perbandingan tulangan lateral terhadap volume inti beton (*concrete core*), mutu beton, jarak antar tulangan lateral, dan tegangan leleh tulangan lateral. Selain itu tingkat laju pembebanan juga mempengaruhi, karena karakteristik tegangan – regangan beton pada dasarnya memiliki unsur *time – dependent*.

Kekangan tulangan transversal yang terdapat pada beton bertulang berperan dalam mengekang pengembangan lateral yang terjadi akibat beban tekan aksial, mencegah keruntuhan geser pada kolom, dan mencegah terjadi buckling pada tulangan longitudinal. Sebagai akibatnya terjadi peningkatan kekuatan dan daktilitas pada kolom yang terpasang tulangan transversal jika dibandingkan dengan beton yang tidak terpasang tulangan

transversal. Oleh karena itu semakin tinggi beban aksial yang bekerja terhadap kolom, semakin banyak pula tulangan transversal yang diperlukan agar struktur lebih kuat dan daktil. Namun, jarak sengkang yang sangat kecil akan menyebabkan agregat mengalami kesulitan pada proses pemadatan.

Gambar 2.1 memperlihatkan bahwa pada tegangan awal, modulus elastisitas beton terkekang dengan beton tidak terkekang mempunyai bentuk yang sama. Artinya pada tegangan awal tersebut, tulangan transversal belum memberikan tahanan lateral secara aktif. Deformasi lateral yang disebabkan oleh beban aksial yang bekerja pada beton mendapatkan tahanan dari ikatan antara partikel beton.



● Gambar 2. 1 Hubungan tegangan regangan beton terkekang dan beton tidak terkekang

Sumber : Razvi & Saatcioglu (1992)

Pada saat tegangan mencapai $0,4 f'_c$, perilaku kurva tegangan – regangan beton mulai menunjukkan bentuk non – linier. Ditandai dengan mulai runtuhnya selimut beton dan mempunyai perilaku tegangan – regangan yang berbeda dengan inti beton. Tulangan transversal yang terpasang dapat mengakibatkan kekangan lateral sebagai reaksi dari deformasi lateral beton. Kekangan lateral yang terjadi dapat meningkatkan kekuatan dan daktilitas beton terkekang dibanding dengan beton tidak terkekang.

Seperti yang terlihat pada grafik, beton terkekang menunjukkan penurunan yang lebih landai setelah mencapai puncaknya. Artinya daktilitas yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan beton tidak terkekang. Hal ini disebabkan karena daya dukung pada inti beton sebagian besar berasal dari tahanan tulangan lateral.

2.2 Tulangan Longitudinal

Tulangan longitudinal merupakan tulangan yang dipasang searah dengan sumbu batang untuk menahan gaya aksial serta momen yang terjadi. Baja merupakan material yang sering dimanfaatkan sebagai tulangan longitudinal. Baja memiliki harga yang relatif mahal, sehingga untuk menekan biaya, saat ini telah banyak diteliti bahan lain yang lebih murah untuk menggantikan baja sebagai tulangan, salah satunya adalah bambu. Perbedaan mengenai perbedaan tulangan bambu dan baja adalah :

- Tulangan baja

Pemakaian baja sebagai tulangan adalah hal umum yang dilakukan oleh banyak orang, karena kelebihan baja yang mudah diproduksi dalam jumlah banyak, kedap air, tidak mudah terbakar dan banyak lagi kelebihan lainnya. Tulangan baja yang tersedia di pasaran dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1. Baja Tulangan Polos (BJTP)

Tulangan Polos biasanya digunakan untuk tulangan geser/begel/sengkang, dan mempunyai tegangan leleh (f_y) minimal sebesar 240 Mpa dengan ukuran $\emptyset 6$, $\emptyset 8$, $\emptyset 10$, $\emptyset 12$, $\emptyset 14$ dan $\emptyset 16$

2. Baja Tulangan Ulir atau Deform (BJTD)

Tulangan Ulir/deform digunakan untuk tulangan longitudinal atau tulangan memanjang, dan mempunyai tegangan leleh (f_y) minimal 300 MPa. Ukuran diameter nominal tulangan ulir yang umumnya tersedia di pasaran adalah D10, D13, D16, D19, D22, D25, D29, D32, dan D36.

- Tulangan bambu

Telah diteliti bahwa bambu mempunyai kuat tarik yang cukup tinggi, yakni kuat tarik antara 100-400 Mpa, hampir menyamai kekuatan tarik besi tulangan setara dengan $\frac{1}{2}$ sampai $\frac{1}{4}$ dari tegangan ultimit besi (Widjaja, 2001 dalam Budi, 2013). Kuat tarik bambu dapat mencapai 1280 kg/cm² (Morisco, 1999).

Bambu mempunyai arah serat yang sejajar, sehingga kekuatan terhadap gaya normal cukup baik, bambu berbentuk pipa sehingga momen lembamnya cukup tinggi oleh karena itu bambu cukup baik untuk memikul momen lentur dan berat bambu sekitar $\frac{1}{9}$ dari berat besi. Selain itu bambu memiliki beberapa kelebihan sebagai tulangan pada beton, yaitu:

- Mudah didapatkan
- Pertumbuhan bambu yang cepat
- Jenis material konstruksi yang ringan

- Kuat tarik sejajar serat yang tinggi
- Harga bambu lebih murah dibanding baja

2.2.1 Fungsi Tulangan Longitudinal

Dalam struktur beton bertulang, baja memiliki fungsi untuk menahan gaya tarik. Oleh karena, dalam penggunaannya baja selalu diupayakan agar dipasang pada serat-serat beton yang mengalami tegangan tarik, misalnya penggunaan baja dalam struktur balok, kolom, pelat, pondasi, atau struktur lainnya. Keadaan ini terjadi terutama pada daerah yang menahan momen lentur besar (umumnya di daerah lapangan/tengah bentang, atau di atas tumpuan), sehingga sering mengakibatkan terjadinya retakan beton akibat tegangan lentur tersebut. Pada tulangan longitudinal, baja dipasang searah dengan sumbu batang.

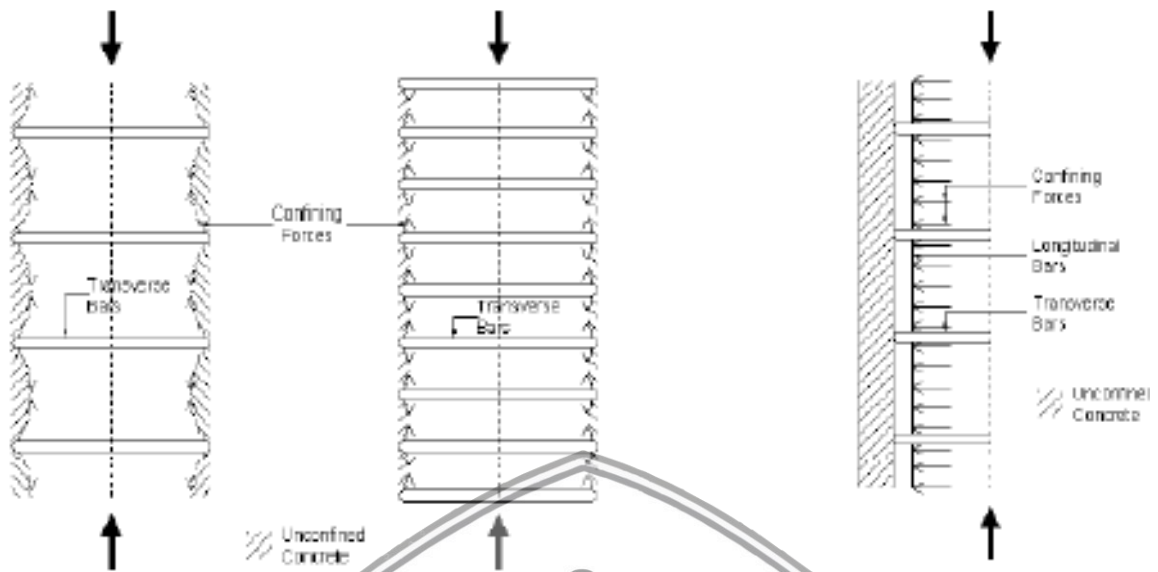
2.3 Tulangan Transversal (Sengkang)

Tulangan transversal merupakan tulangan yang dipasang untuk dapat menahan pengembangan retak geser diagonal. Tulangan longitudinal dan tulangan transversal bekerja sama untuk mengekang inti beton di dalam kolom, serta mencegah terjadi tekuk yang berlebihan pada kolom. Tulangan transversal dapat mencegah hancurnya inti beton pada kolom, sehingga kolom dapat secara maksimal menahan gaya vertikal yang lebih besar. Terdapat beberapa fungsi pada tulangan transversal (sengkang) :

1. Sengkang sebagai penahan gaya geser
2. Sengkang sebagai penahan tekuk (*buckling*)
3. Sengkang sebagai pengikat tulangan pokok
4. Sengkang sebagai pengekang (*confinement*)

2.3.1 Pengaruh Tulangan Transversal (Sengkang)

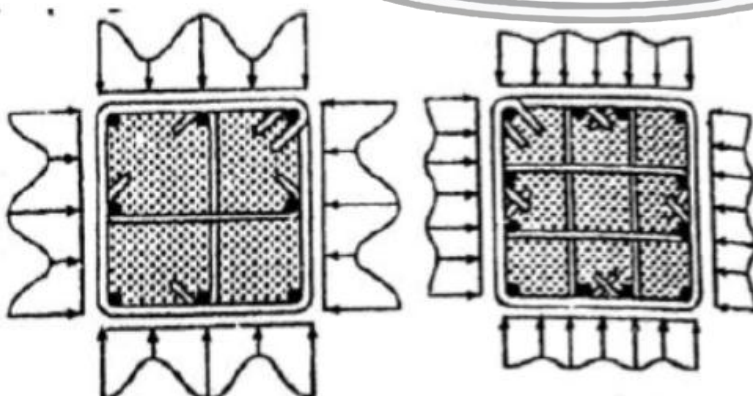
Selain menahan gaya vertikal, kolom juga menahan momen akibat eksentrisitas yang terjadi. Eksentrisitas terjadi akibat dari pengekangan pada ujung-ujung kolom yang dicetak secara monolit dengan komponen lain, pemasangan yang kurang sempurna, ataupun penggunaan mutu bahan yang tidak merata. Oleh karena itu, tulangan transversal dipasang untuk memberikan kekangan terhadap inti beton pada kolom, semakin rapat tulangan transversal dapat mengurangi kemungkinan beton yang tidak terkekang akan rontok dan mengurangi peluang tulangan longitudinal mengalami tekuk.



Gambar 2.2 Pengekangan dengan tulangan sengkang dan tulangan longitudinal

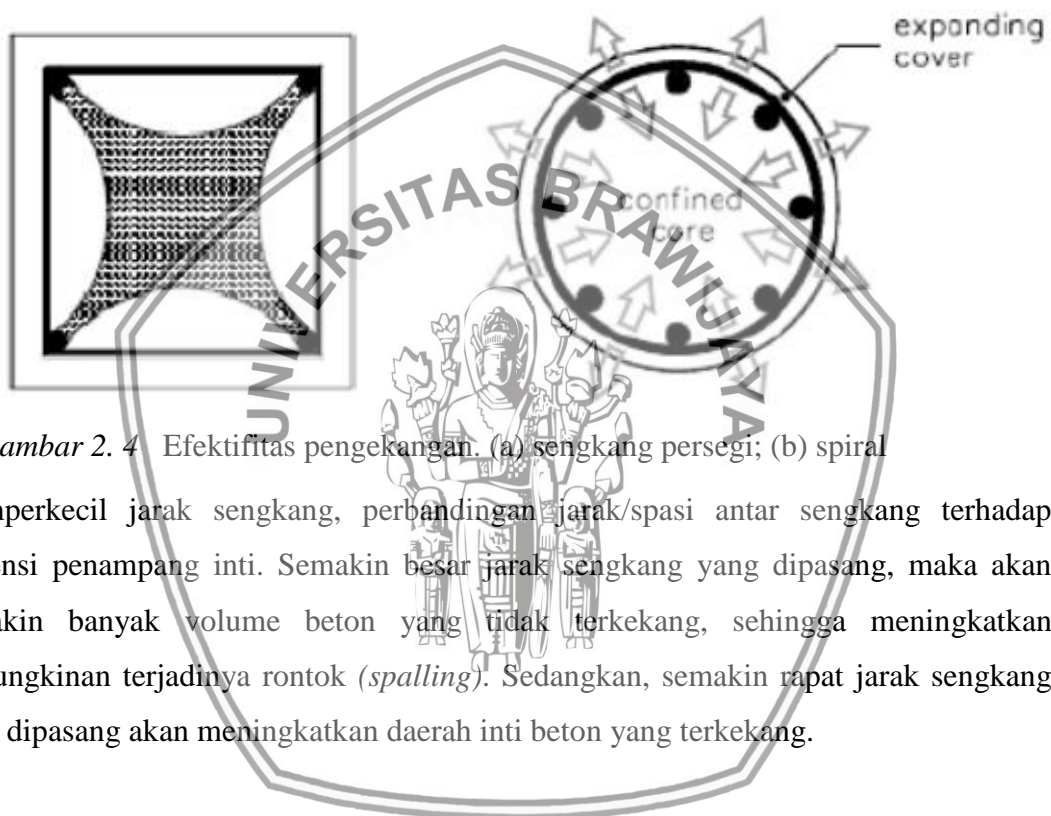
Kapasitas aksial dan bentuk kurva tegangan-tegangan suatu kolom dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Beberapa faktor yang dominan tersebut antara lain:

- a. Rasio volumetrik sengkang dan beton, yang dimaksud adalah perbandingan antara volume sengkang dengan volume inti beton yang terkekang dihitung dari as ke as sengkang. Rasio volumetrik yang kecil memiliki efek pengekangan yang lebih besar. Untuk memperoleh rasio volumetrik yang semakin kecil dapat dilakukan dengan tiga cara, antara lain:
 1. Memperbanyak volume sengkang maka dapat menambah nilai tegangan pengekang dalam arah transversal, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.

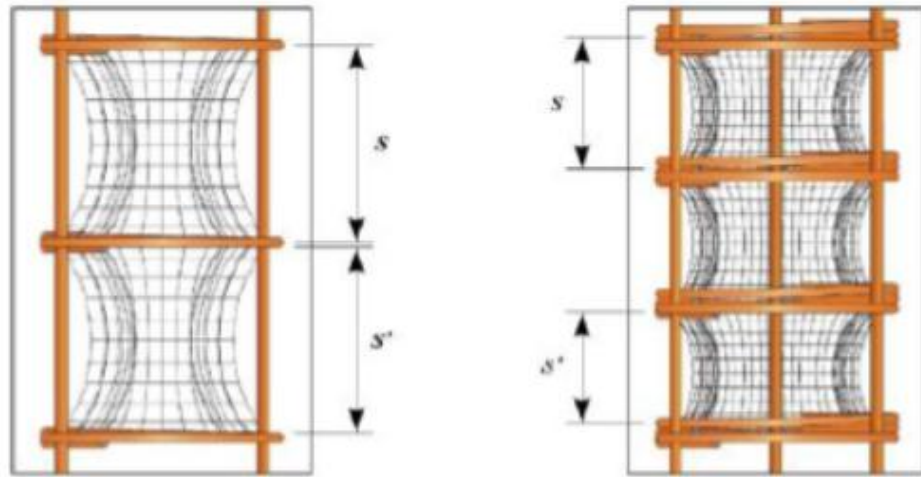


- Gambar 2.3 Variasi tegangan pengekang akibat jumlah dan susunan tulangan (longitudinal dan transversal)

2. Memperbesar diameter tulangan, karena dengan diameter yang lebih besar dapat menghasilkan pengekgangan yang lebih besar. Pada gambar 2.4 dapat dilihat bahwa daerah yang diarsir merupakan daerah yang tidak efektif terkekang. Dengan memasang sengkang dengan diameter yang besar akan menyebabkan luasan yang terkekang efektif bertambah yang disebabkan karena kekakuan lenturnya yang besar. Sedangkan, jika dipasang sengkang berdiameter kecil, dengan kekakuan lentur yang kecil maka sengkang hanya akan berperan sebagai pengikat antara sudut. Kekakuan yang kecil menyebabkan bagian tengah (daerah antara dua sudut) akan melendut, sehingga keektifan pengekgang pada bagian tengah sengkang menjadi lebih kecil.



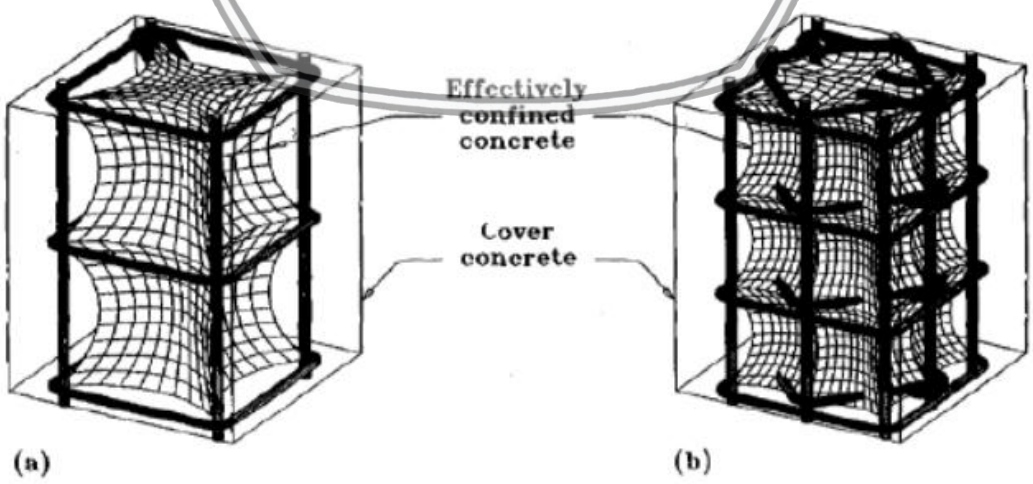
- *Gambar 2. 4* Efektifitas pengekgangan. (a) sengkang persegi; (b) spiral
3. Memperkecil jarak sengkang, perbandingan jarak/spasi antar sengkang terhadap dimensi penampang inti. Semakin besar jarak sengkang yang dipasang, maka akan semakin banyak volume beton yang tidak terkekang, sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya rontok (*spalling*). Sedangkan, semakin rapat jarak sengkang yang dipasang akan meningkatkan daerah inti beton yang terkekang.



•
 • **Gambar 2. 5** Jarak antar sengkang mempengaruhi efektifitas pengekanan

Sumber : Cusson dan Paultre (1995)

- b. Kuat leleh baja tulangan sengkang (f_{yh}), karena faktor ini dapat menentukan kuat batas *ultimate* dari tegangan pengekan lateral.
- c. Jumlah dan ukuran tulangan longitudinal, karena tulangan ini juga memiliki peranan untuk mengekan inti beton pada kolom. Tulangan longitudinal harus ditempatkan agak rapat disepanjang sengkang karena sengkanglah yang memberikan reaksi pengekanan pada tulangan longitudinal (tulangan lentur) dengan tulangan transversal (sengkang) akan menambah efisiensi pengekanan.
- d. Kuat tekan beton (mutu beton), sifat daktail pada beton dengan kuat tekan rendah (*lowstrenght concrete*) lebih besar dibandingkan sifat daktail pada beton mutu tinggi (*high strength concrete*).



• **Gambar 2. 6** Efek konfigurasi dan jarak sengkang (a) Konfigurasi sengkang yang kurang baik dengan jarak yang lebar ; (b) konfigurasi yang baik dengan jarak yang rapat

Sumber : Cusson (1995)



2.4 Bambu

Bambu merupakan jenis tanaman yang banyak ditemui di Indonesia, terdapat beraneka ragam jenis bambu, jumlahnya dapat mencapai ratusan. Kemudahan dalam menanam bambu serta sifat bambu yang dapat tumbuh secara alami menjadi kelebihan yang dimiliki oleh bambu. Namun, dari ratusan jenis bambu itu, hanya ada empat macam yang dianggap penting karena dapat dimanfaatkan dan umum dipasarkan di Indonesia, yakni bambu jenis petung, bambu jenis wulung, bambu jenis tali dan bambu jenis duri (Frick, 2004 dalam Budi, 2013).

Bambu digunakan sebagai tulangan alternatif sebagai pengganti tulangan baja karena merupakan produk hasil alam yang renewable, murah, mudah ditanam, pertumbuhan cepat, dapat mereduksi efek global warming serta memiliki kuat tarik sangat tinggi yang dapat dipersaingkan dengan baja (Wibowo, 2017).

2.4.1 Bambu Petung

Bambu petung (*Dendrocalamus sp*) atau yang dikenal dengan nama tiying petung, buluh petung, pring petung, awi petung, buluh swanggi, jajang petung, au petung, bulo lotung dan lainnya. Bambu jenis ini memiliki rumpun cukup rapat, mampu tumbuh di dataran rendah hingga pegunungan dengan ketinggian 2000 m di atas permukaan laut. Pertumbuhan jenis bambu ini cukup baik khususnya di daerah yang tidak terlalu kering. Umumnya bambu petung memiliki warna kulit batang hijau kekuningkuningan, dengan diameter batang antara 6 sampai 15 centimeter, panjang batang mencapai 10 sampai 14 meter, panjang tiap ruas sekitar 40 sampai 60 centimeter, dan tebal dindingnya antara 10 sampai 20 milimeter (Morisco, 1999 dalam Mustafa, 2010).

2.4.2 Bambu Apus

Bambu apus dikenal juga sebagai bambu tali, awi tali, atau pring tali. Bambu Apus/Tali kuat terhadap tarik, terutama kulit bambu yang merupakan pelindung dan bagian terkuat dari bambu. Selain itu, bambu ini juga mudah dilenturkan dibanding bambu jenis lain, mudah didapatkan, dan tahan lama sekalipun tanpa pengawetan.

2.4.3 Kuat Tarik Bambu

Kuat tarik sejajar serat yang dimiliki bambu cukup tinggi, sehingga dapat disejajarkan dengan kuat tarik yang dimiliki baja. Menurut Jansen (1980 dalam Handayani, 2007) terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan bambu adalah sebagai berikut:

1. Kandungan air, semakin sedikit kandungan air yang terdapat pada bambu maka kuat tarik bambu semakin kuat.

2. Ada tidaknya nodia pada bambu. Pada batang bambu yang bernodia atau beruas maka bambu itu mempunyai kekuatan yang lebih rendah dibanding dengan bambu yang tidak terdapat nodia.

Kuat tarik sejajar serat bambu hasil penelitian yang dilakukan oleh Morisco (1999) menunjukkan nilai yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 2000 – 3000 kg/cm². Sementara itu kuat batas dan tegangan ijin bambu sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Rentang frekuensi gelombang mekanik longitudinal

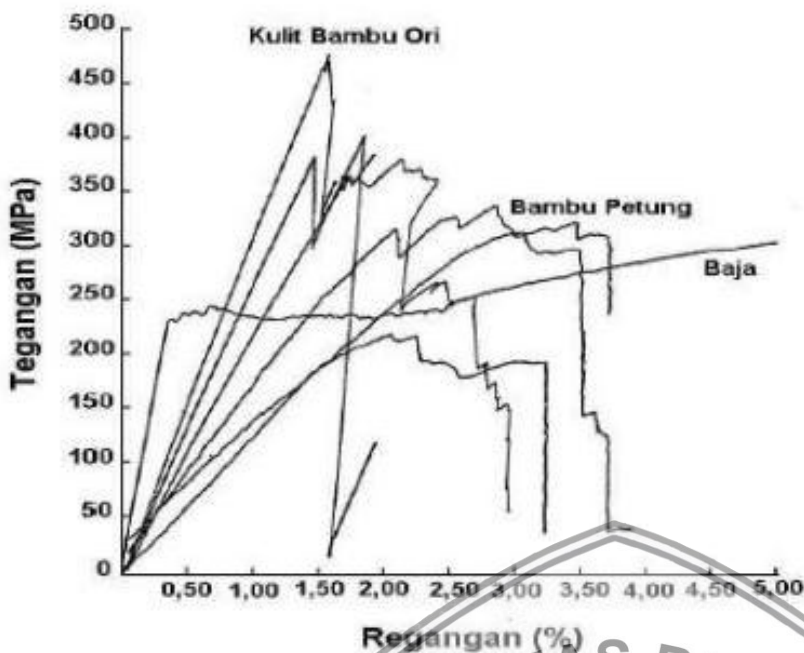
Macam Tegangan	Kuat Batas (kg/cm ²)	Tegangan Ijin (kg/cm ²)
Tarik	981 - 3920	294.2
Lentur	686 - 2940	98.07
Tekan	245 - 981	78.45
E Tarik	98070 - 294200	196.1 x 10 ³

Sumber: Morisco (1999)

Morisco (1999) telah melakukan pengujian kuat tarik bambu dengan nodia dan tanpa nodia pada empat jenis bambu, yaitu bambu Petung (*dendroclamus asper schult*), bambu ori (*bambusa bambos becke*), bambu tutul (*bambusa vulgaris schrad*), dan bambu wulung (*gigantochloa vercillata munro*). Hasil yang didapatkan dari pengujian tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.2.

- Tabel 2. 2 Tegangan tarik bambu kering oven tanpa nodia dan dengan nodia

Jenis Bambu	Tegangan Tarik (Mpa)	
	Tanpa Nodia	Dengan Nodia
Ori	291	128
Petung	190	116
Wulung	166	147
Tutul	216	74
Apus	151	55



• *Gambar 2.7* Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja

Sumber : Morisco (1999)

Dari Gambar 2.7 tegangan-regangan bambu dan baja, bambu ori memiliki kekuatan yang cukup tinggi yaitu hampir dua kali tegangan leleh baja. Selain bambu ori, kuat tarik rata-rata bambu petung juga lebih besar dari tegangan leleh baja.

2.4.4 Kuat Tekan Bambu

Kekuatan tekan pada bambu merupakan kekuatan bambu dalam menahan gaya luar yang sejajar dengan arah serat yang cenderung memperpendek bagian-bagian bambu secara bersama-sama (Syafii, 1984 dalam Mustafa, 2010) .

Berdasarkan penelitian Sidik Mustafa (2010) diketahui kuat tekan bambu petung seperti pada Tabel 2.3 berikut ini :

Tabel 2.3 Kuat tekan bambu petung

Sifat Mekanika	Umur	Rata-rata (Mpa)
Kuat Tekan	Muda	37.52
	Dewasa	46.59
	Tua	43.13

Sumber : Sidik Mustafa (2010)

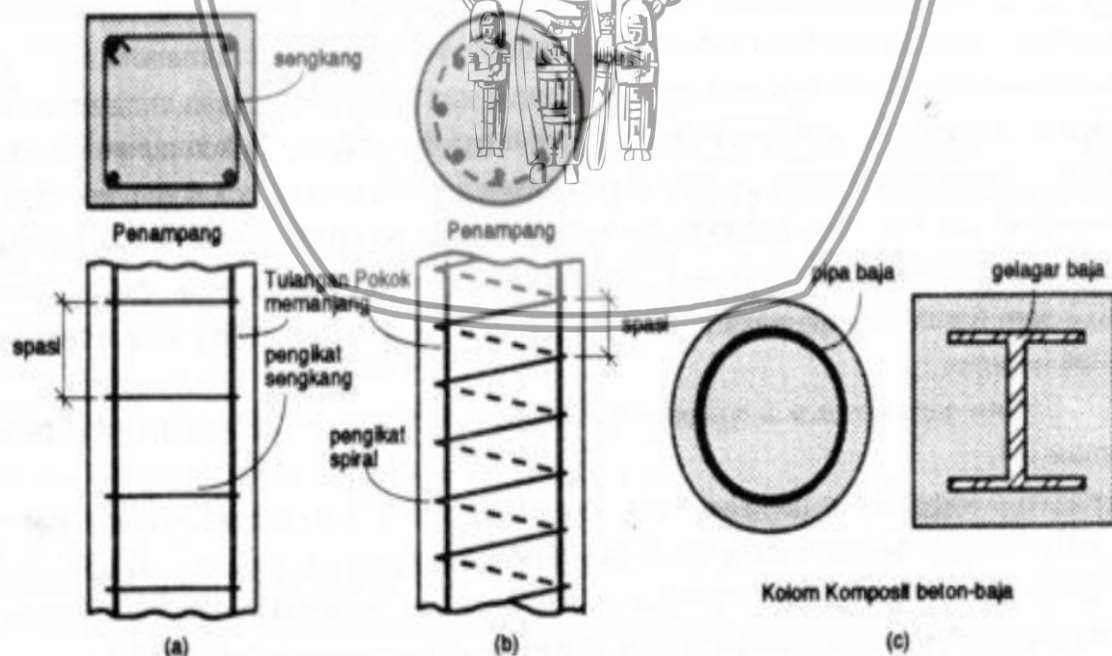
2.4.5 Perlakuan Bambu Sebagai Tulangan

Hal yang perlu diperhatikan pada penggunaan bambu sebagai pengganti baja pada struktur beton bertulang adalah kuat lekat bambu terhadap beton yang rendah. Pada fase

awal pengecoran tulangan bambu dapat menyerap air, sedangkan pada saat pasta beton mengeras bambu tidak dapat menyerap air sehingga mengalami penyusutan. Akibat dari bambu yang menyusut menimbulkan rongga udara disekeliling tulangan bambu yang akan berpengaruh terhadap daya lekat antara bambu dan beton (Suseno, 2001 dalam Budi, 2013). Bambu perlu diberikan perlakuan khusus untuk mengurangi penyusutan bambu dan meningkatkan kuat lekat bambu terhadap beton. Oleh karena itu, bambu diberi lapisan kedap air dan kemudian dilumuri pasir, sehingga permukaan bambu menjadi lebih kasar dan dapat meningkatkan daya lekat bambu terhadap beton.

2.5 Kolom

Kolom merupakan bagian terpenting pada struktur bangunan, kolom berfungsi sebagai batang tekan vertikal yang menyalurkan beban dari elevasi atas ke elevasi bawah hingga mencapai tanah melalui pondasi. Karena kolom merupakan komponen tekan, maka keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan *collapse* (runtuhnya) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*ultimate total collapse*) seluruh strukturnya. (Nawy, 1985). Oleh karena itu, kolom perlu direncanakan secara cermat terkait kapasitas kolom akibat beban yang terjadi. Kolom terbagi menjadi 3 variasi jenis kolom antara lain kolom persegi, kolom bulat dan kolom komposit.



- *Gambar 2.8* Variasi jenis kolom (a) Kolom Persegi, (b) Kolom Bulat, (c) Kolom Komposit

2.5.1 Kolom Pendek Dengan Beban Aksial

Pada kolom pendek yang diberikan beban aksial, beton dan baja dapat dianggap sebagai satu kesatuan saat menerima beban yang bekerja. Tegangan dan regangan yang terjadi terdistribusikan secara merata pada penampang kolom, sehingga regangan yang dihasilkan pada beton dianggap sama dengan regangan yang dihasilkan pada baja ($\varepsilon_c = \varepsilon_s$). Beton mencapai kekuatan maksimum ketika regangan mencapai 0.002 in./in. – 0.003 in./in. Sehingga, kapasitas aksial maksimum pada kolom pendek dapat dihitung dengan menjumlahkan kekuatan beton dan kekuatan baja, kontribusi beton yaitu $0.85 f'_c (A_g - A_{st})$ dan kontribusi baja yaitu $f_y A_{st}$.

Rumus untuk mencari kuat beban aksial pada kolom adalah sebagai berikut :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \dots\dots\dots(2-3)$$

Untuk analisis batang beton bertulang bambu dengan beban axial tekan murni (Sri Murni Dewi, 2013) adalah sebagai berikut :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}}) \dots\dots\dots(2-4)$$

Untuk analisis kuat beban aksial kolom *retrofit* bertulang bambu, dapat diperoleh persamaan :

$$P_{n(max)} = 50\% [0.85 f'_c (A_{gkolom\ asli} - A_{st}) + f_y A_{st}] + [0.85 f'_c (A_{gkolom\ retrofit} - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}})] \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana :

P_n = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (kN)

A_g = luas penampang bruto beton (mm²)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

f_y = tegangan leleh dari tulangan longitudinal (MPa)

A_{bambu} = luas penampang bambu (mm²)

$f_{tk\ bambu}$ = kuat tekan bambu (MPa)

Pada rumus kolom *retrofit* diambil rumus 50% kuat beban aksial kolom asli dikarenakan pada saat pengujian kuat beban aksial dihentikan pada saat kolom asli mengalami penurunan kuat beban sebesar 50% dari kuat beban puncak turun kolom asli.

2.6 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau yang disebut juga sebagai modulus young adalah suatu nilai yang digunakan untuk mengetahui nilai kekakuan suatu benda. Semakin besar nilai modulus elastisitas suatu benda, maka benda menjadi kaku untuk mengalami perpanjangan atau

perpendekan. Sebaliknya, semakin kecil nilai modulus elastisitas suatu benda, maka semakin mudah benda menjadi elastis sehingga mampu mengalami perpanjangan atau perpendekan.

Rumus modulus elastisitas :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots \dots \dots (2-6)$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas (kN/mm²)

σ = Tegangan (kN/mm²)

ε = Regangan

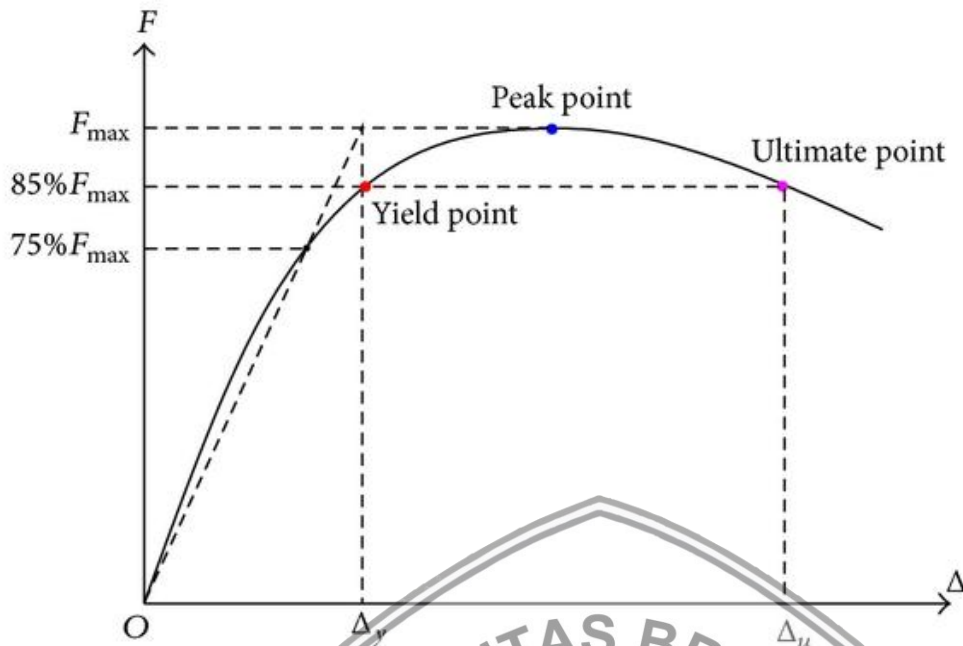
2.6.1 Modulus Elastisitas Secant

Modulus secant adalah kemiringan garis dari titik asal (0,0) ke suatu titik tegangan regangan. Titik yang digunakan merupakan 75% dari tegangan maksimal karena menggunakan beton bertulang. Modulus secant sangat berguna ketika digunakan untuk membandingkan antar material dan mengontrol kualitas.

2.6.2 Modulus Elastisitas Tangen

Modulus tangen adalah kemiringan garis singgung dari suatu titik pada kurva tegangan regangan. Modulus tangen sangat berguna untuk menggambarkan perilaku material yang mengalami tegangan diluar daerah elastis. Pada umumnya nilai modulus tangen lebih besar dari pada modulus secant karena penentuan dari modulus tangen bergantung pada kemiringan awal kurva tegangan regangan.

2.7 Kekakuan



• Gambar 2. 9 Grafik gaya tekan dan deformasi material yang dibebani aksial

Sumber : Hongmei Zhang et al. (2014)

Kekakuan merupakan perbandingan antara beban dengan perpendekan (Wibowo, 2009). Kekakuan didapatkan dengan mencari nilai kemiringan antara beban puncak dengan defleksi. Nilai kekakuan dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah retak yang terjadi pada beton. Ada dua metode untuk mencari nilai kekakuan yaitu metode tangen dan sekan. Nilai kekakuan dengan metode tangen akan lebih besar dari metode secant, karena metode tangen didapatkan dengan mencari nilai kemiringan dari awal grafik hingga kondisi sebelum leleh, sedangkan metode secant didapatkan dengan mencari nilai kemiringan dari awal grafik hingga kondisi beban sebesar 75% dari beban puncak. Metode secant lebih relevan digunakan untuk mencari nilai kekakuan, karena dianggap lebih mewakili kondisi beton seutuhnya (Wibowo, 2017).

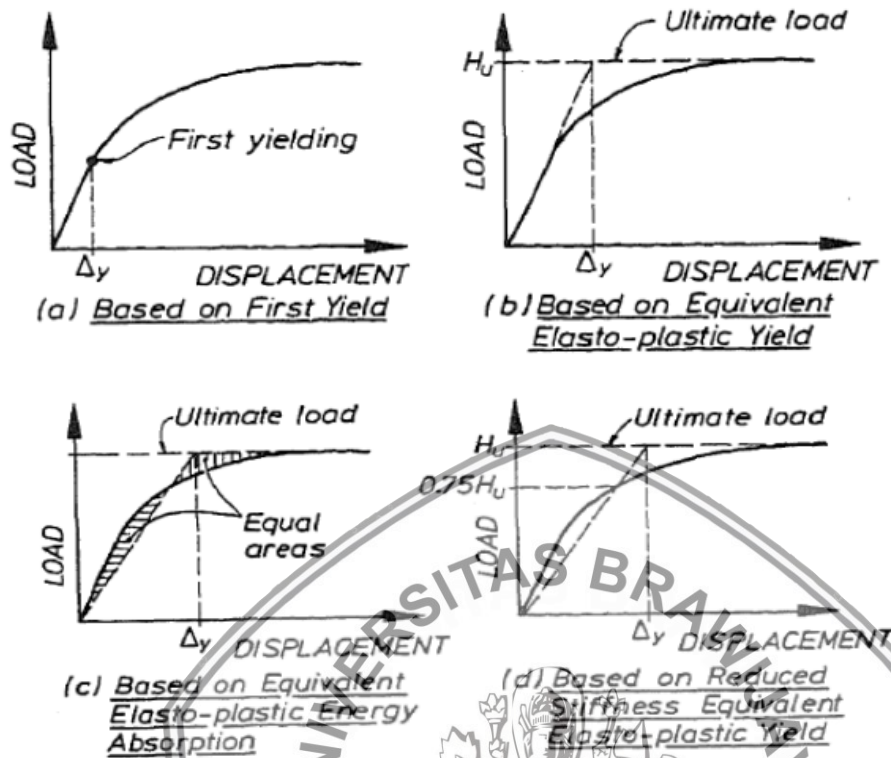
Rumus kekakuan :

$$k = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots(2-7)$$

Dimana :

- k = Kekakuan Struktur (kN/mm)
- P = Gaya Tekan (kN)
- Δ = Defleksi (mm)

Menurut Park (1988) defleksi pada titik leleh bisa didapatkan dari titik potong beban yang mana beban diambil 75% dari beban *ultimate*.



Gambar 2. 10 Beberapa alternatif pengambilan lendutan pada titik leleh
 Sumber : Park (1988)

2.8 Daktilitas

Keliatan (*ductility*) adalah kemampuan suatu struktur untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar dengan mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup akibat beban yang terjadi yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama. Keliatan diperlukan pada batang atau bagian yang mungkin mengalami beban yang besar secara tiba-tiba, karena perubahan bentuk yang berlebihan akan memberikan tanda-tanda ancaman kerusakan (Wibowo,2009). Berikut merupakan rumus untuk mencari daktilitas dari suatu bahan :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y} \dots \dots \dots (2-8)$$

Dimana :

- μ_{Δ} = Nilai daktilitas
- Δu = Deformasi *ultimate* (mm)
- Δy = Deformasi leleh (mm)



2.9 Perkuatan Kolom dengan Metode *Concrete jacketing*

Metode *concrete jacketing* merupakan metode perkuatan atau perbaikan struktur beton dengan memberikan tambahan selimut beton bertulang pada kolom. Perbaikan dilakukan apabila struktur mengalami kerusakan, sedangkan perkuatan dilakukan untuk meningkatkan kapasitas pada struktur akibat bertambahnya beban yang diterima. Keuntungan utama yang didapatkan dari metode ini adalah memberikan peningkatan kekuatan dan daktilitas pada struktur. Selain itu, *jacket* dapat melindungi kerusakan pada struktur dan mengurangi kegagalan geser langsung (*direct shear*) yang terjadi.

Metode *concrete jacketing* memiliki kelebihan dan kekurangan, sebagai berikut:

a. Kelebihan:

1. Menambah kekuatan dan daktilitas struktur
2. Meningkatkan kekakuan struktur
3. Menambah stabilitas struktur.
4. Memerlukan biaya yang lebih murah

b. Kekurangan:

1. Penampang kolom yang dihasilkan dari metode *concrete jacketing* semakin besar sehingga dapat mengurangi ruang kosong yang sudah ada.
2. Pengecoran *concrete jacketing* yang kurang baik dapat menghasilkan kekakuan yang tidak merata
3. Metode *concrete jacketing* memberikan kapasitas perkuatan yang lebih rendah dibandingkan metode *steel jacketing*.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang. Penelitian dimulai pada bulan September 2017 sampai selesai.

3.2 Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan beberapa bahan untuk mencapai tujuan penelitian, meliputi:

3.2.1 *Pozzolan Portland Cement*

Pozzolan Portland Cement yang digunakan pada penelitian ini adalah semen merk Semen Gresik kemasan 40 kg. Sebelum penelitian, kemasan dipastikan dalam kondisi baik dan tersegel, serta tidak terjadi penggumpalan pada semen di dalamnya.

3.2.2 Tulangan Baja

Pada penelitian ini, untuk kolom sebelum *diretrofit* menggunakan tulangan utama berukuran $\varnothing 8$ mm dan sengkang ukuran $\varnothing 6$ mm.

3.2.3 Tulangan Bambu

Pada penelitian ini pada saat perkuatan kolom dengan metode *concrete jacketing* digunakan bambu sebagai tulangan utama dan sengkang. Untuk tulangan utama digunakan bambu petung dengan ukuran yaitu: 1x1 cm dan 1x2 cm, sedangkan untuk sengkang digunakan jenis bambu apus dengan ukuran 0.5x0.5 cm.

3.2.4 Agregat

Agregat yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir), dengan spesifikasi agregat kasar yang digunakan berukuran maksimum 1 cm pada kolom sebelum *diretrofit* dan ukuran maksimum 0.5 cm setelah kolom *diretrofit*. Dari hasil pengujian analisa saringan, agregat halus berada pada zona 2. Agregat yang digunakan diperoleh dari daerah Malang dengan melalui tahap pengujian sebelum digunakan sebagai benda uji. Tahap pengujian yang dilakukan untuk agregat yaitu analisis gradasi agregat, kadar air, dan berat jenis.

3.2.5 Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

3.2.6 Bahan Perekat Beton

Bahan perekat beton digunakan dalam penelitian ini adalah untuk merekatkan kolom asli yang akan diperbaiki dengan kolom yang akan *retrofit*. Sehingga kolom asli yang telah diberi bahan perekat akan menempel pada kolom *retrofit* pada saat pengecoran.

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan berada di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang. Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi saringan, timbangan, mesin pengaduk beton, cetakan benda uji, alat uji tekan, dial, dan alat bantu lainnya. Alat-alat tersebut digunakan untuk mempersiapkan material hingga proses pengujian benda uji.

3.3.1 Saringan

Pada Penelitian ini saringan yang digunakan untuk analisi gradasi agregat adalah No. 1.5” hingga No. 4 untuk menentukan gradasi agregat kasar (kerikil) serta saringan No. 4 hingga No. 200 untuk gradasi agregat halus (pasir).

3.3.2 Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur berat bahan penyusun beton serta benda uji silinder dan kubus. Timbangan yang digunakan adalah timbangan dengan kapasitas 200 kg dengan ketelitian 10 gram dan timbangan dengan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 0,1 gram.

3.3.3 Mesin Pengaduk Beton

Mesin ini digunakan untuk mengaduk campuran bahan-bahan beton hingga menjadi campuran yang homogen.

3.3.4 Cetakan Benda Uji

Penelitian ini menggunakan cetakan/bekisting untuk benda uji silinder yang terbuat dari baja yang dapat dibongkar pasang dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta cetakan untuk benda uji kubus yang terbuat dari tripleks yang ditempah sendiri sesuai perencanaan dengan ukuran 12 x 12 x 30 cm.

3.3.5 Alat Uji Tekan

Alat uji yang dalam penelitian ini adalah *Compression Test Machine*. Alat uji tekan digunakan untuk mengetahui kuat tekan dari benda uji beton sesungguhnya.

3.3.6 Alat Uji Tarik

Alat uji tarik digunakan untuk mengetahui kuat tarik dari tulangan baja $\text{Ø}6$ mm dan $\text{Ø}8$ mm sesungguhnya. Alat uji dalam penelitian ini adalah *Hydraulic Universal Testing Machine*.

3.3.7 Dial Gauge Digital

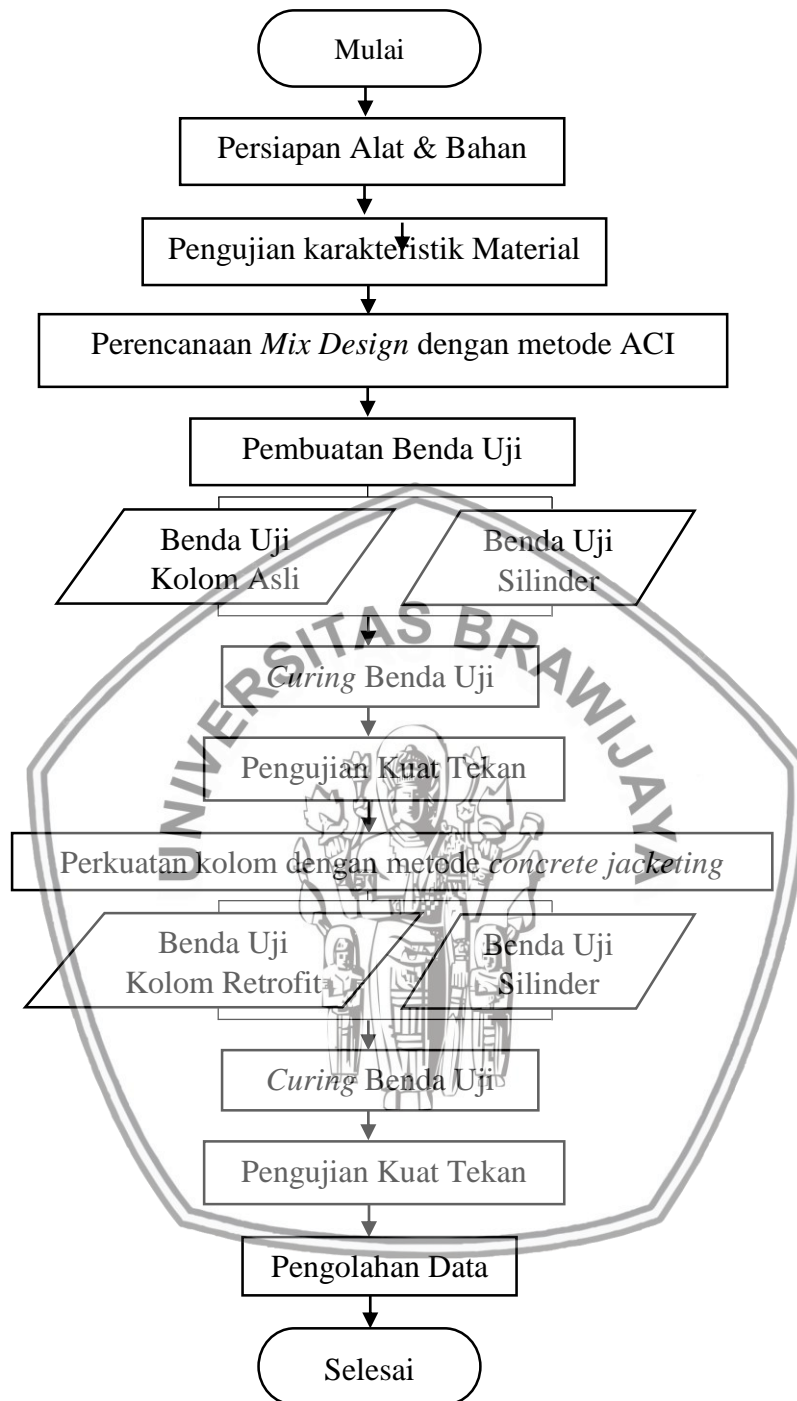
Penelitian ini menggunakan alat tambahan dial yang akan ditempelkan pada benda uji pada saat uji tekan. Dial ini berfungsi untuk mengetahui perpindahan dari benda uji pada saat diuji tekan sehingga mendapatkan data regangan dari beton.

3.3.8 Alat Bantu Lainnya

Alat bantu lainnya antara lain alat pengaduk, ember, karung goni, serta bak air untuk proses perawatan benda uji.



3.4 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir tahapan penelitian

3.5 Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini dibuat dua jenis benda uji. Benda uji yang pertama sebagai sampel kolom asli sebelum *diretrofit* berukuran 12 x 12 x 30 cm menggunakan tulangan utama berukuran $\varnothing 8$ mm dan sengkang ukuran $\varnothing 6$ mm. Untuk kolom setelah *diretrofit* memiliki ukuran 18 x 18 x 30 cm menggunakan tulangan bambu dengan jarak sengkang yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada tabel. Benda uji kedua berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebagai sampel untuk mengontrol mutu beton yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 3. 1 Kolom *retrofit* dengan variasi tulangan bambu dan jarak sengkang yang berbeda

Kode Kolom	Tulangan Bambu	rho	Sengkang bambu	
			1	2
			Jarak 9.3 cm	Jarak 14 cm
C	4bh 10 x 20	2.47	3 buah	3 buah
D	8bh 10 x 10	2.47	3 buah	3 buah

Pada penelitian ini dikhususkan menggunakan kolom *retrofit* bersengkang bambu dengan kode kolom C1 – C2 dan D1 – D2. Yaitu, kolom *retrofit* kode C1 dengan tulangan bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 20 mm dan dengan variasi jarak antar sengkang 9.3 cm dan kolom *retrofit* kode C2 dengan tulangan bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 20 mm dan dengan variasi jarak antar sengkang 9.3 cm, sedangkan kolom *retrofit* kode D1 dengan tulangan bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dan dengan variasi jarak antar sengkang 9.3 cm dan kolom *retrofit* kode D2 dengan tulangan bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dan dengan variasi jarak antar sengkang 14 cm. Sehingga nanti pada hasil penelitian akan didapatkan efektifitas pengekanan kolom *retrofit* dari 2 jenis tulangan longitudinal yakni kolom C1 dibandingkan dengan kolom C2 dan kolom D1 dibandingkan dengan kolom D2.

Jumlah benda uji sebelum kolom *diretrofit* yakni 4 buah silinder sampel kolom asli pada dan 12 benda uji kolom asli. Sedangkan jumlah benda uji setelah kolom *diretrofit* yakni 4 buah dan 12 benda uji kolom *retrofit*. Semua benda uji ini digunakan untuk pengujian tekan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.2.

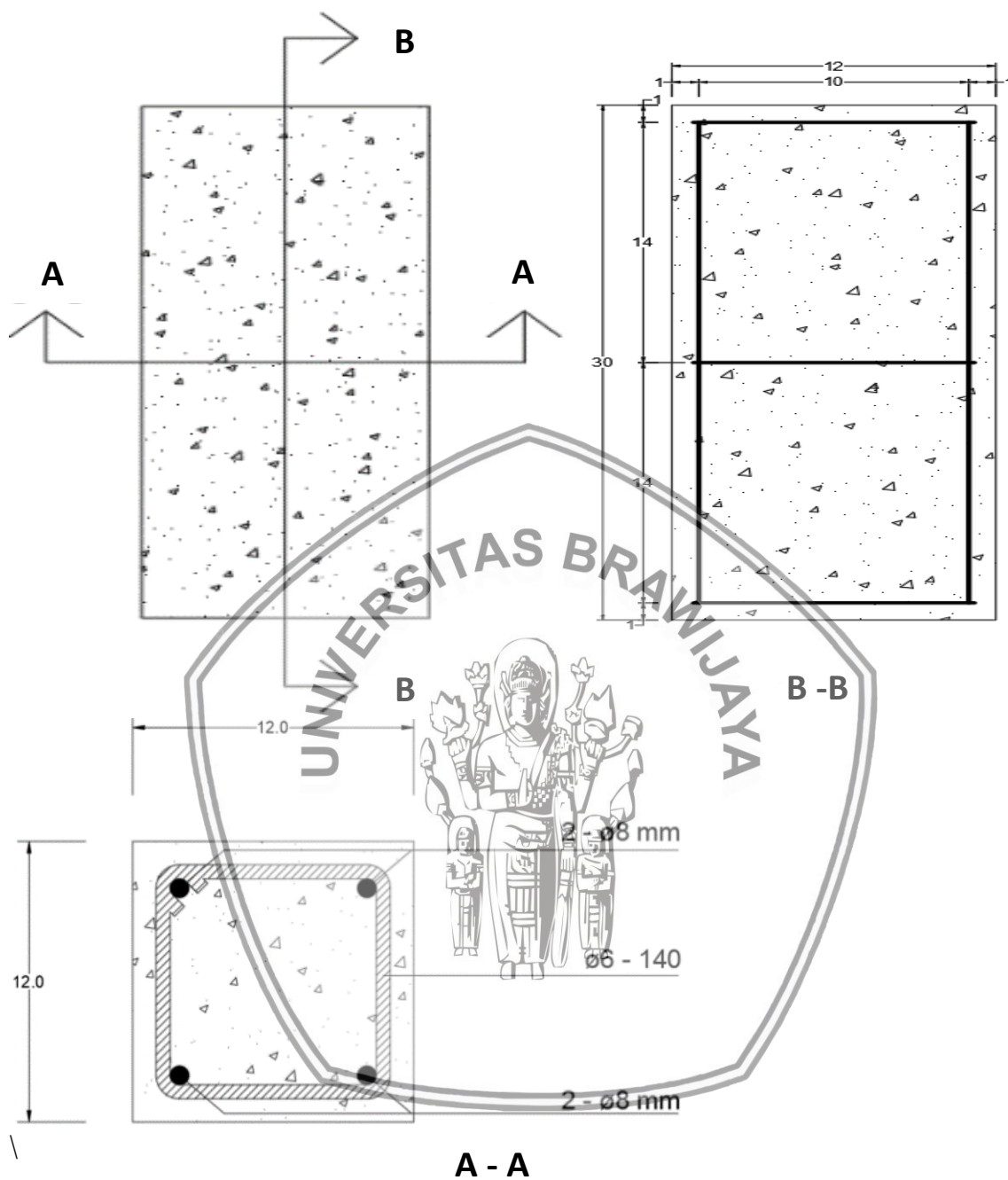
Tabel 3. 2 Jumlah benda uji

Varian	Jumlah
Benda uji silinder sampel kolom asli	4 buah
Benda uji kolom (12 x 12 x 30) cm dengan jarak sengkang 14 cm	12 buah
Benda uji silinder sampel kolom setelah <i>diretrofit</i>	4 buah
Benda uji kolom <i>retrofit</i> kode C1	3 buah
Benda uji kolom <i>retrofit</i> kode C2	3 buah
Benda uji kolom <i>retrofit</i> kode D1	3 buah
Benda uji kolom <i>retrofit</i> kode D2	3 buah

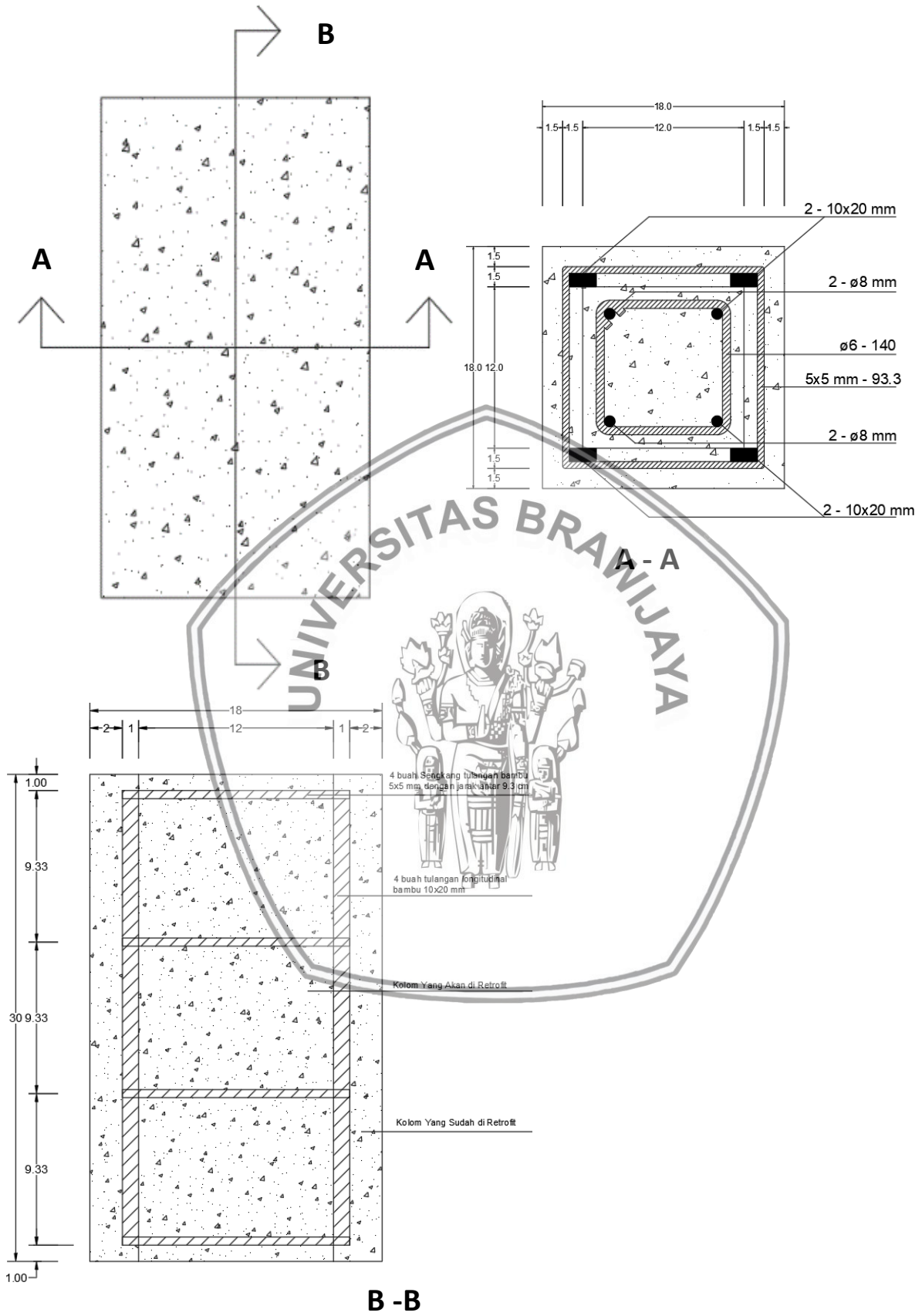
Untuk benda uji silinder dibuat 2 untuk setiap variasi benda uji untuk dapat mengontrol kuat tekan. Dengan catatan benda uji kubus tersebut memakai tulangan atau beton bertulang sedangkan benda uji silinder tidak menggunakan tulangan atau hanya beton saja.



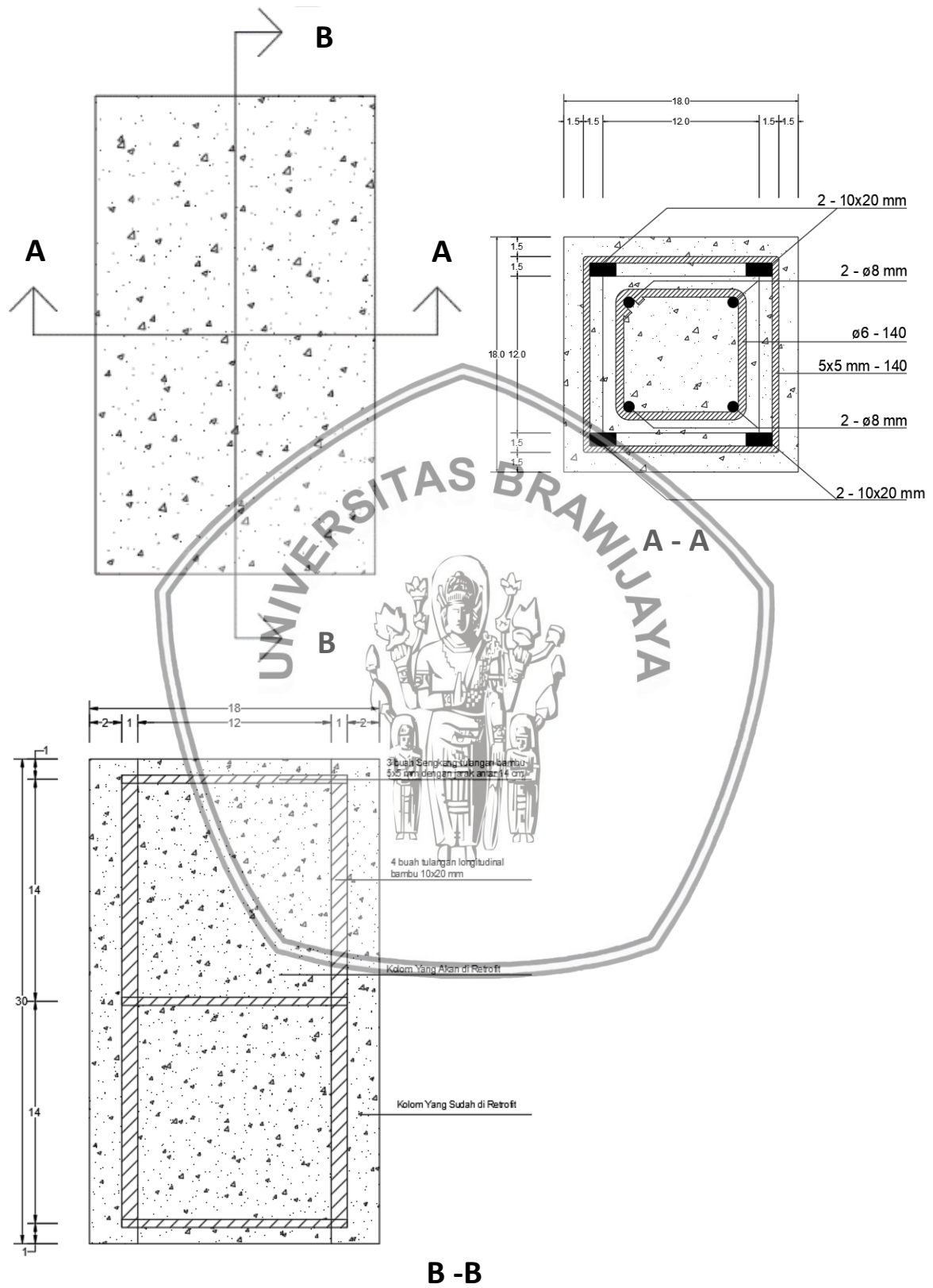
Pemodelan benda uji pada penelitian ini adalah seperti gambar berikut:



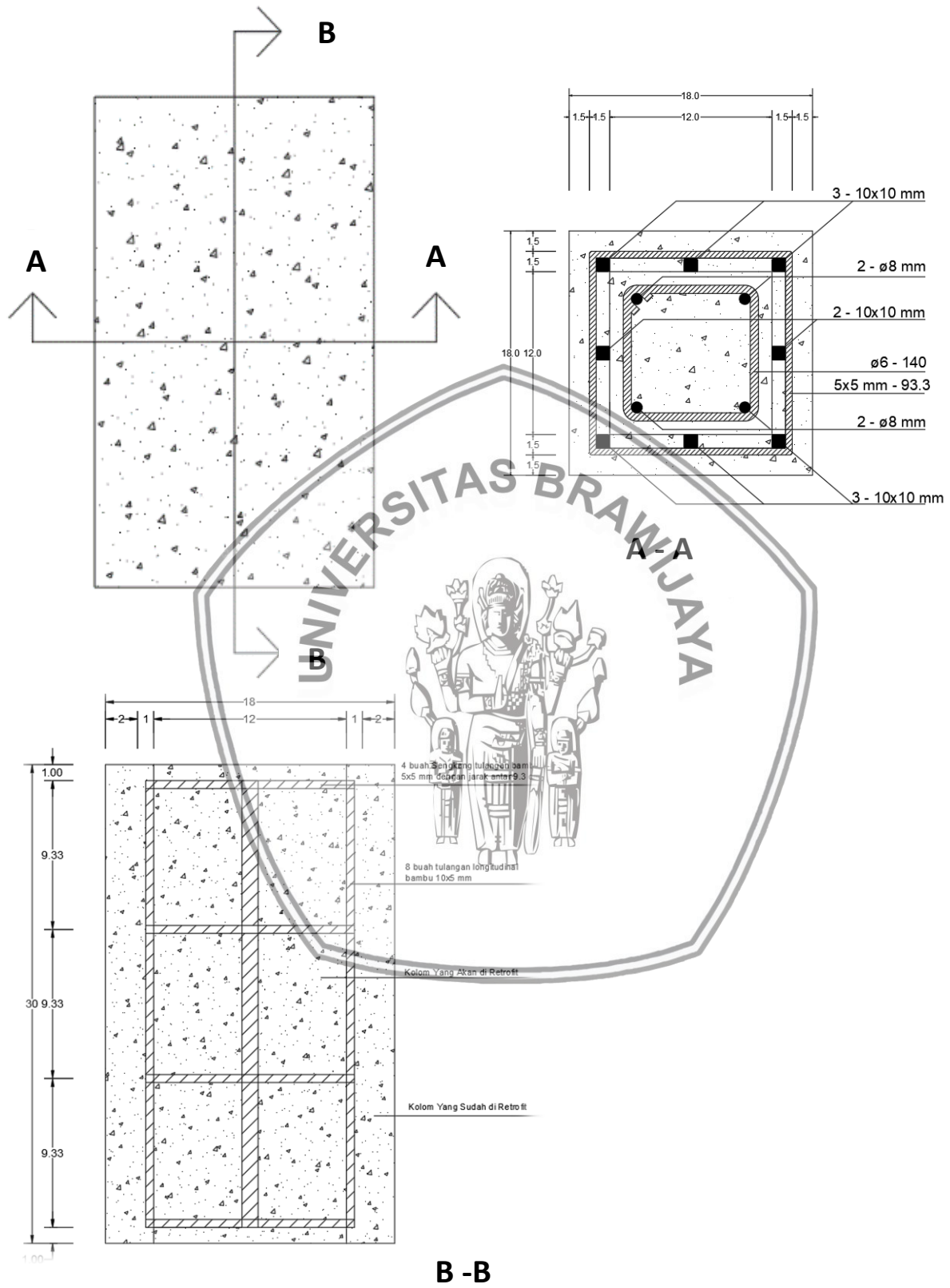
Gambar 3.2 Benda uji kolom asli



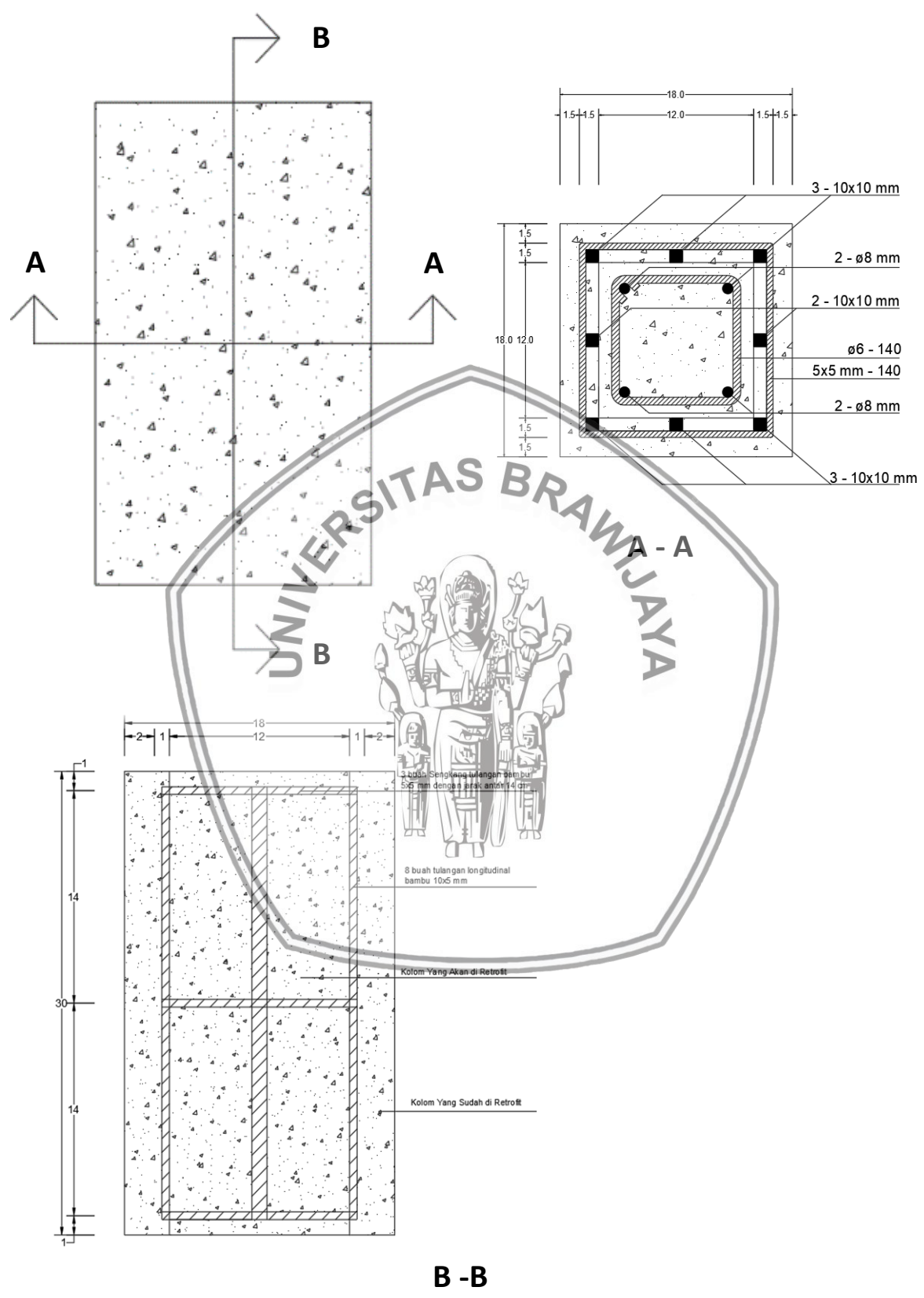
Gambar 3.3 Benda uji kolom retrofit kode C1



Gambar 3. 4 Benda uji kolom retrofit kode C2



Gambar 3. 5 Benda uji kolom retrofit kode D1



Gambar 3.6 Benda uji kolom retrofit kode D2

3.6 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan diukur adalah sebagai berikut:

- a. Variabel bebas (*independent variable*), yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini, yang menjadi variabel bebas adalah jarak sengkang pada kolom *retrofit*.
- b. Variabel terikat, yaitu variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini adalah gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas pada kolom *retrofit*.

3.7 Prosedur Penelitian

3.7.1 Pengujian Bahan Dasar

Pengujian bahan dasar yang akan digunakan mengacu pada buku petunjuk praktikum teknologi beton dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Bahan dasar yang diuji adalah agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil). Unsur-unsur dalam pengujian karakteristik agregat halus dan kasar meliputi: analisis butiran, pengujian berat jenis penyerapan, dan kadar air.

3.7.2 Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji sebelum kolom di *retrofit* adalah sebagai berikut:

1. Cetakan disiapkan dengan memberikan lapisan tipis dari oli.
2. Bahan penyusun beton disiapkan dengan kuantitas sesuai *mix design*.
3. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk selama kurang lebih 15 menit hingga campuran menjadi homogen.
4. Setelah pengadukan, diambil sebagian adonan beton untuk dilakukan pengujian *slump*.
5. Campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder dan kolom .

Langkah-langkah pembuatan benda uji setelah kolom di *retrofit* adalah sebagai berikut:

1. Cetakan disiapkan dengan memberikan lapisan tipis dari oli.
2. Bahan penyusun beton disiapkan dengan kuantitas sesuai *mix design*.
3. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk selama kurang lebih 15 menit hingga campuran menjadi homogen.
4. Setelah pengadukan, diambil sebagian adonan beton untuk dilakukan pengujian *slump*.
5. Benda uji kolom yang telah diuji tekan dan telah diberi perkuatan dengan menggunakan tulangan bambu petung dan sengkang apus, dimasukkan kedalam bekisting/cetakan yang telah disediakan.
6. Campuran beton dituang ke dalam bekisting/cetakan tersebut.

3.7.3 Perawatan Benda Uji

Setelah 72 jam cetakan benda uji silinder dan kubus dibuka dan dilakukan perawatan dengan tujuan agar semen terhidrasi dengan sempurna. Perawatan benda uji dapat dilakukan dengan dua cara antara lain:

1. Benda uji direndam dalam bak berisi air dengan suhu $23^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$.
2. Benda uji diselimuti dengan karung goni basah dan tiap hari dibasahi terus menerus dengan air.

Pada penelitian ini digunakan perawatan benda uji dengan cara benda uji diselimuti karung goni basah sehingga tiap hari dibasahi terus menerus dengan air. Perawatan benda uji yakni selama 28 hari.

3.7.4 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tekan dari benda uji beton yang telah berumur 28 hari. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut:

- a. Uji tekan beton silinder
 1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji dan kerapatan beton sebagai data tambahan.
 2. Pada permukaan atas benda uji dilapisi (*caping*) dengan mortar belerang dengan tujuan agar tegangan yang diberikan mesin penguji dapat terdistribusi secara merata pada permukaan beton.
 3. Benda uji diletakkan pada mesin uji secara sentris.
 4. Mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur.
 5. Beban saat beton hancur dicatat untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima beton.
- b. Uji tekan kolom
 1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji sebagai data tambahan.
 2. Pada permukaan atas benda uji kolom diberi potongan kardus dengan tujuan agar tegangan yang diberikan mesin penguji dapat terdistribusi secara merata pada permukaan beton. Pada permukaan bawah benda uji kolom diberi plat memanjang yang berfungsi sebagai penampang dial.
 3. Benda uji diletakkan pada mesin uji secara sentris.

4. Mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur. Dan untuk mendapatkan data perubahan panjang dari benda uji, digunakan dial yang berguna untuk membaca hasil perubahan panjang pada saat setiap penambahan beban. Pada setiap penambahan beban, data hasil bacaan tersebut dicatat untuk mendapatkan grafik hubungan gaya tekan dan defleksi serta grafik hubungan tegangan dan regangan beton.
5. Beban saat beton hancur dicatat untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima beton.
6. Dan langkah yang sama dilakukan kembali mulai langkah 1 untuk mendapatkan data yang sama pada kolom *retrofit*

3.7.5 Pengujian Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tarik dari tulangan baja Ø6 mm dan Ø8 mm. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tarik baja adalah sebagai berikut:

1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu diukur diameternya dengan jangka sorong untuk mengetahui diameter sebenarnya tulangan tersebut.
2. Siapkan kertas millimeter blok untuk tempat hasil pembacaan tegangan regangan tarik dari benda uji dapat tergambar.
3. Benda uji diletakkan pada mesin uji tarik. Pastikan bahwa benda uji benar-benar dalam keadaan terjepit bagian atas dan bawahnya dengan kuat.
4. Mesin uji tekan dijalankan hingga benda uji putus.
5. Pada saat pengujian akan terlihat jarum pertama kali berhenti yang menunjukkan tegangan leleh dan pada pemberhentian jarum kedua yang menunjukkan kuat tarik maksimum. Setelah itu akan didapatkan grafik tegangan tarik dari benda uji.
6. Grafik yang didapat dari hasil pengujian akan di analisis.

3.8 Metode Analisis

3.8.1 Pengumpulan Data

Dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan diambil beberapa data-data yang diperlukan. Pengujian kuat tekan menghasilkan data-data beban maksimum yang kemudian dikonversikan menjadi kuat tekan dari setiap benda uji beton dan data perubahan panjang dari kolom yang akan dikonversikan menjadi regangan. Data-data tersebut kemudian dikelompokkan untuk masing-masing variasi dari beton.

Tabel 3.3 Form pengujian kuat tekan beton silinder sampel kolom sebelum dan setelah *retrofit*

NO	Kode Benda Uji	Umur	Slump	Berat	Beban Maksimum	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rata-Rata
		(Hari)	(cm)	(kg)	(kN)	(Mpa)	(Mpa)

Tabel 3.4 Form pengujian kuat tekan kolom sebelum dan setelah *retrofit*

NO	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Beton (fc')	Kuat Beban Aksial <i>Ultimate</i> Kolom Asli Aktual	Rata-Rata Kuat Beban Aksial <i>Ultimate</i> Kolom Asli Teoritis Aktual
		(MPa)	(kN)	(kN)

Tabel 3. 5 Form pengumpulan data dari pengujian uji tarik tulangan baja Ø6 mm dan Ø8 mm

Benda Uji	Diameter	Tegangan Leleh (fy)	Tegangan Ultimit	Tegangan Leleh Rata-Rata	Tegangan Ultimit Rata-Rata
	(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)

3.8.2 Pengolahan Data

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan tegangan-regangan kolom *retrofit*, kapasitas aksial tekan kolom dan defleksi kolom *retrofit*, kekakuan dan modulus elastisitas kolom *retrofit* dan efektifitas dimensi tulangan dan jarak sengkang pada kolom *retrofit*. Penelitian ini menggunakan alat *compression test* dan *dial gauge*, *compression test* tersebut akan didapatkan kapasitas aksial tekan maksimum kolom dan akan dibagi dengan luasan penampang kolom tersebut maka akan di dapatkan daya tekan dari kolom tersebut dan *dial gauge* akan menghasilkan nilai defleksi yang didapatkan dari hasil perpanjangan/perpendekan kolom akibat diberi beban. Selain itu, data-data yang telah didapatkan pada kapasitas tekan maksimum kolom *retrofit* akan didapatkan variasi dimensi tulangan dan jarak sengkang yang paling efektif. Pada penelitian ini parameter tegangan-regangan didasarkan pada nilai gaya tekan dan defleksi dari kolom. Pada pengolahan data ini akan dibandingkan antara hasil uji secara aktual dengan teoritis.

Tabel 3. 6 Tabel pengolahan data gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom *retrofit*

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Defleksi (mm)		Kekakuan (kN/mm)	
		Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>

Tabel 3. 7 Tabel pengolahan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom *retrofit*

No	Defleksi (mm)	C.1.1	C.1.2	C.1.3	Rata-rata
		Gaya Tekan (kN)	Gaya Tekan (kN)	Gaya Tekan (kN)	Gaya Tekan (kN)

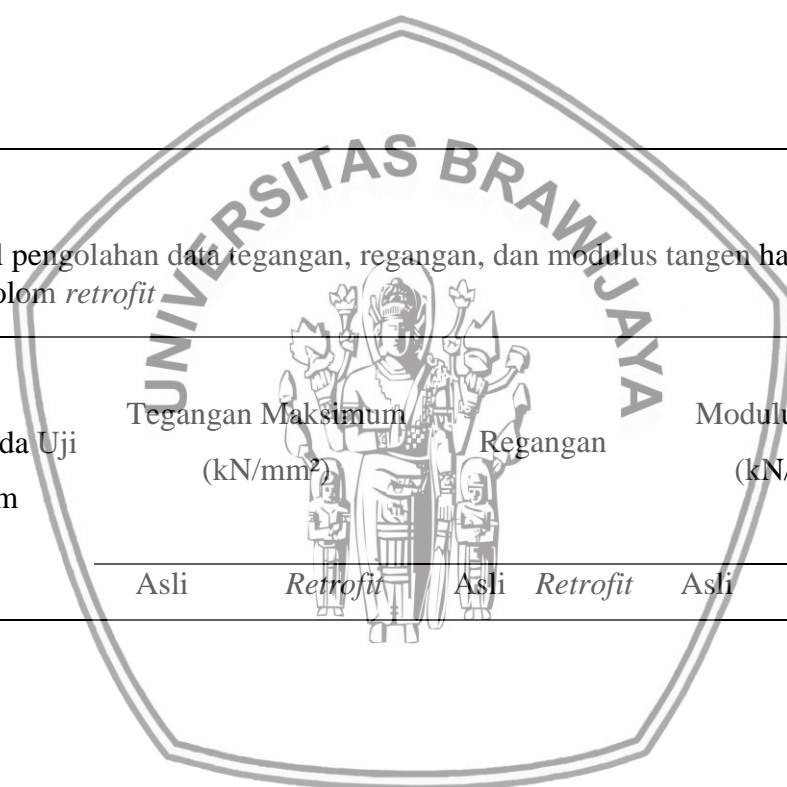


Tabel 3. 8 Tabel pengolahan data tegangan dan regangan, dan modulus secant hasil uji tekan kolom asli dan kolom *retrofit*

NO	Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		75% Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		Regangan		Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	
		Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>

Tabel 3. 9 Tabel pengolahan data tegangan, regangan, dan modulus tangen hasil uji tekan kolom asli dan kolom *retrofit*

NO	Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		Regangan		Modulus Secant (kN/mm ²)	
		Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>



Tabel 3. 10 Tabel pengolahan data tegangan dan regangan kolom asli dan kolom *retrofit*

No	Regangan	C.1.1	C.1.2	C.1.3	Rata - rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²

Tabel 3. 11 Tabel pengolahan data daktilitas pada kolom asli dan kolom *retrofit*

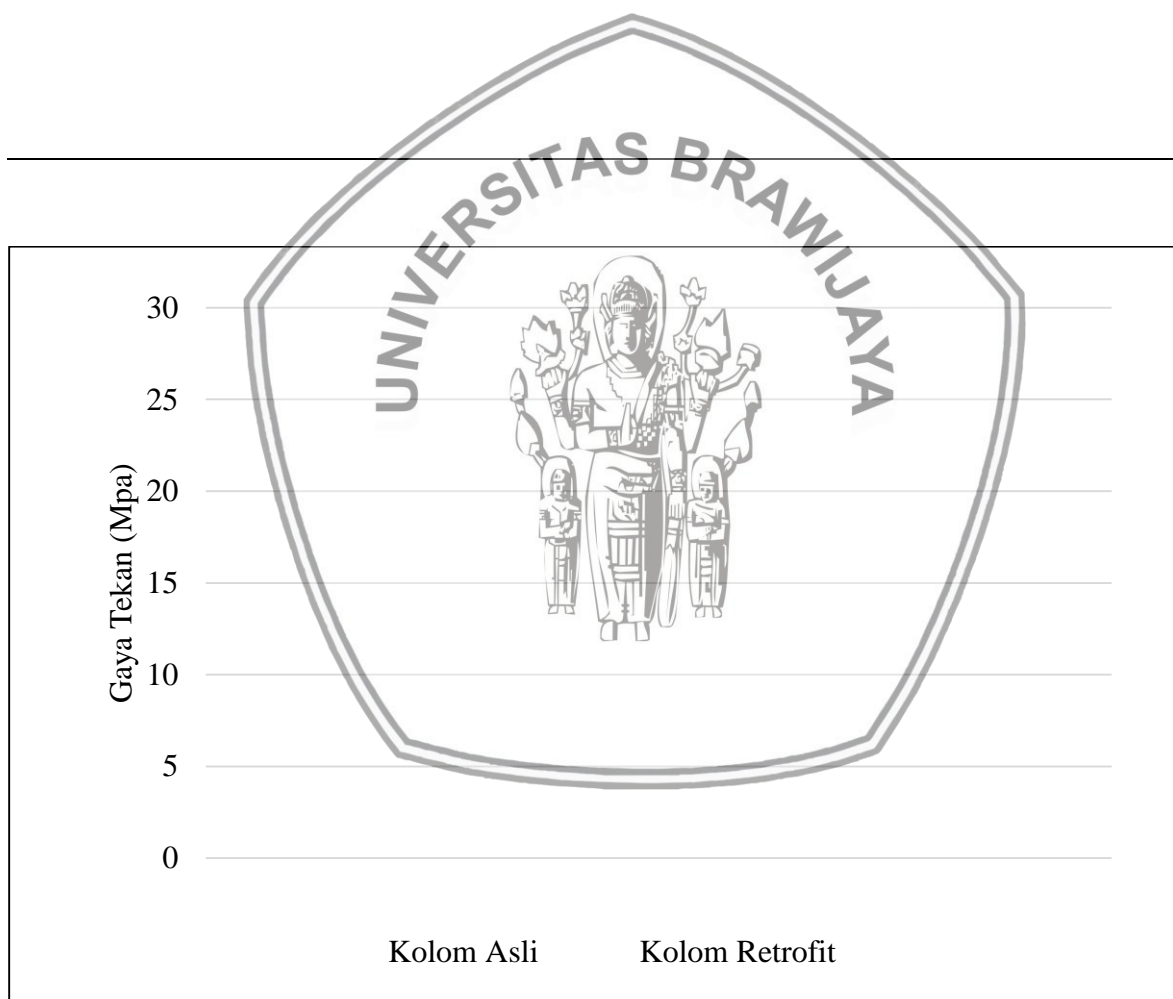
Kolom	Gaya Tekan	Δy	Beban Runtuh	% Keruntuhan	Beban Runtuh	Δu	Daktilitas
	Max		kN		kN	mm	
	kN	mm	kN		kN	mm	

Tabel 3. 12 Tabel data hasil gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas kolom asli dan kolom *retrofit*

Kode Benda Uji Kolom	Gaya tekan	Kekakuan	Modulus Elastisitas	Daktilitas
	Maksimum			
	(kN)	(kN/mm)	(kN/mm ²)	

Tabel 3. 13 Tabel data persentase perubahan gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas kolom asli dan kolom *retrofit*.

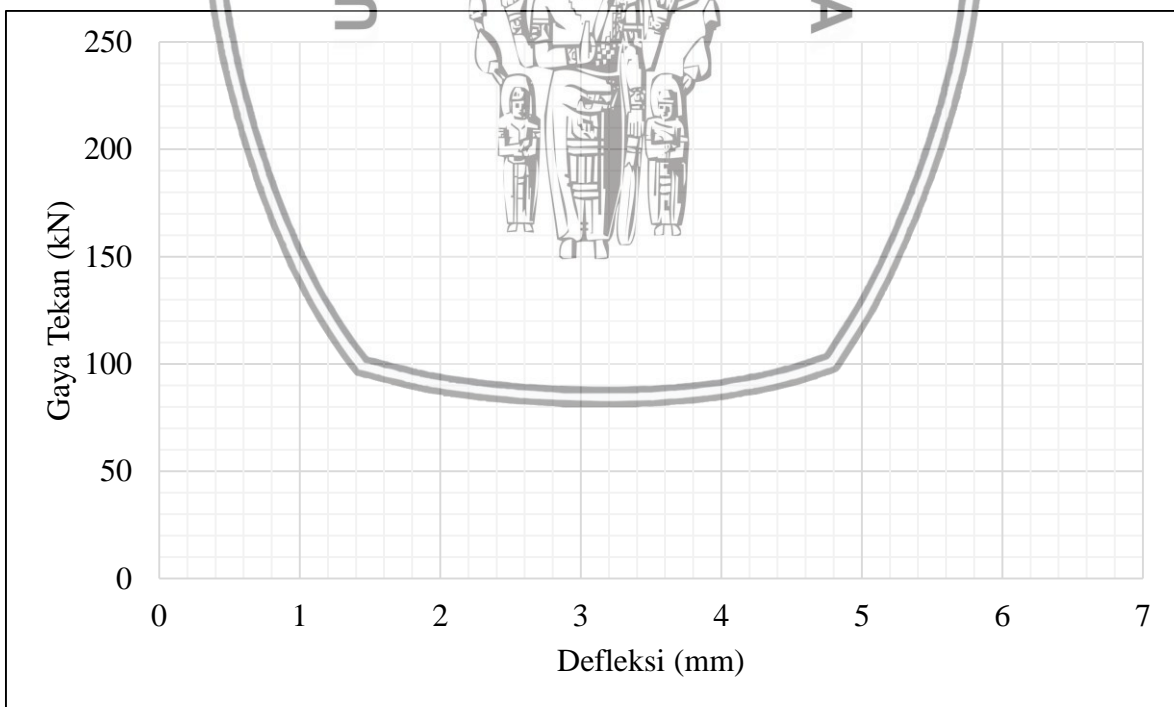
Kode Benda Uji Kolom	Perubahan		Perubahan	
	Gaya Tekan Maksimum (%)	Perubahan Kekakuan (%)	Modulus Elastisitas (%)	Perubahan Daktilitas (%)



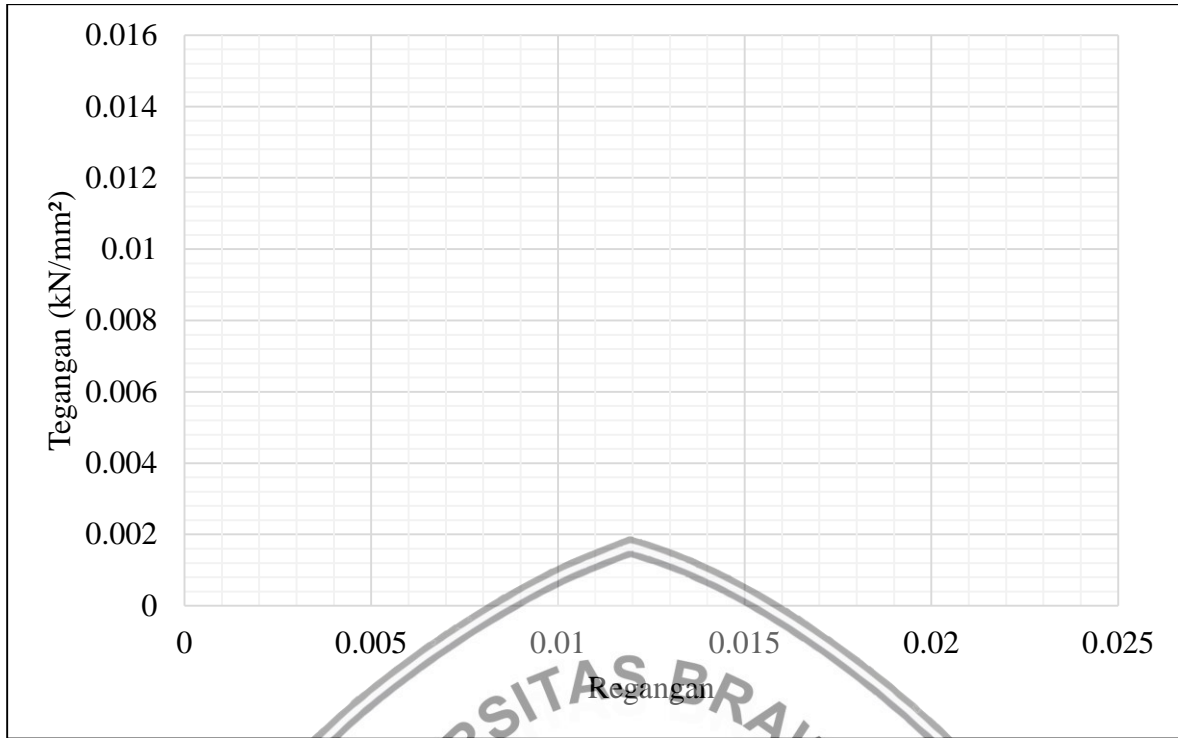
Gambar 3. 7 Grafik perbandingan hasil uji tekan beton uji silinder kolom asli dengan kolom *retrofit*



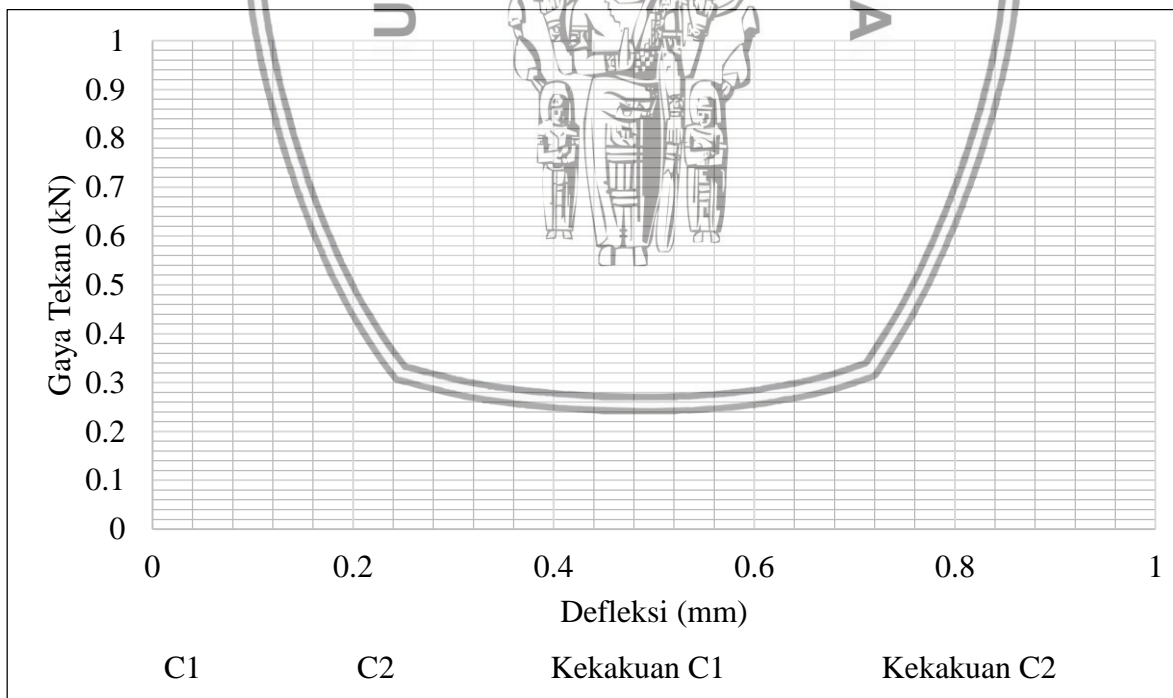
Gambar 3. 8 Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli dengan retrofit



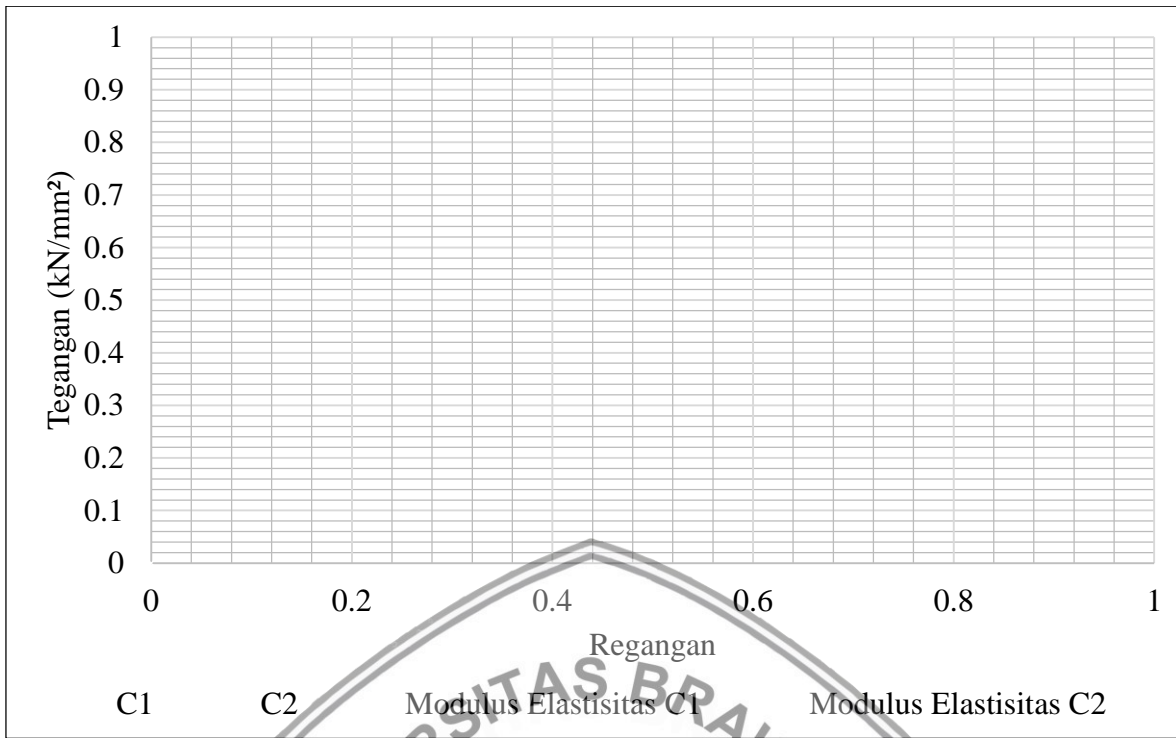
Gambar 3. 9 Grafik gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit



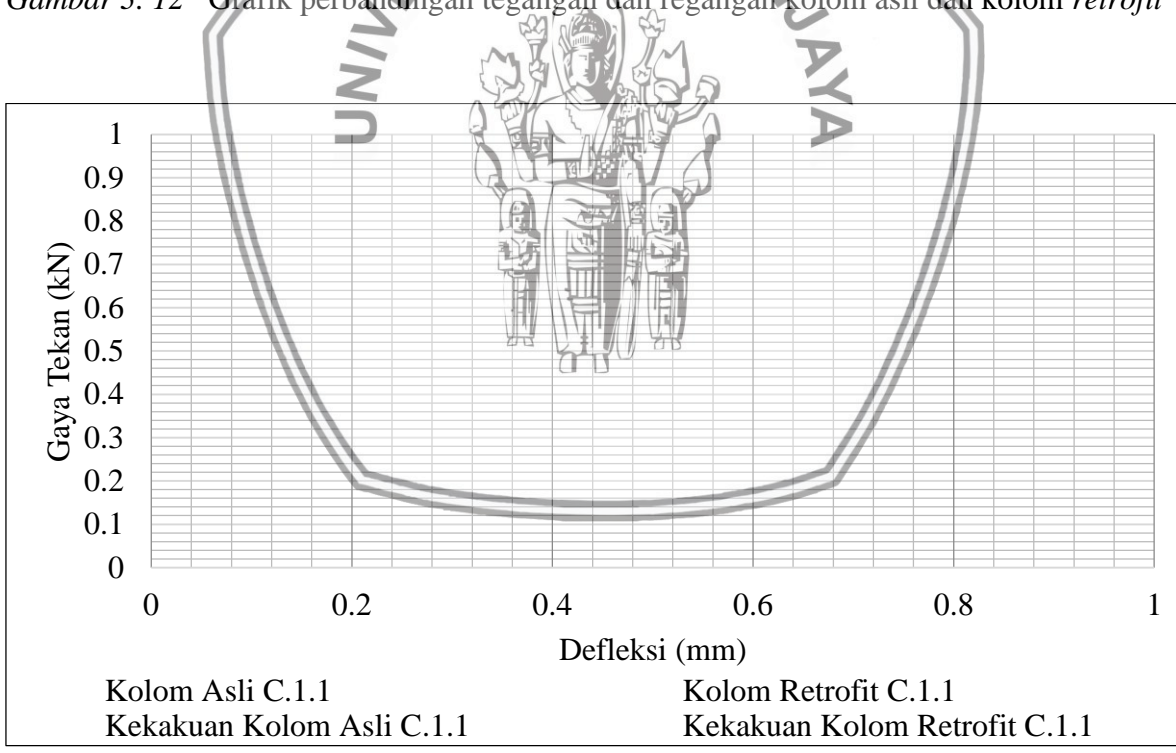
Gambar 3. 10 Grafik tegangan dan regangan kolom asli dan kolom *retrofit*



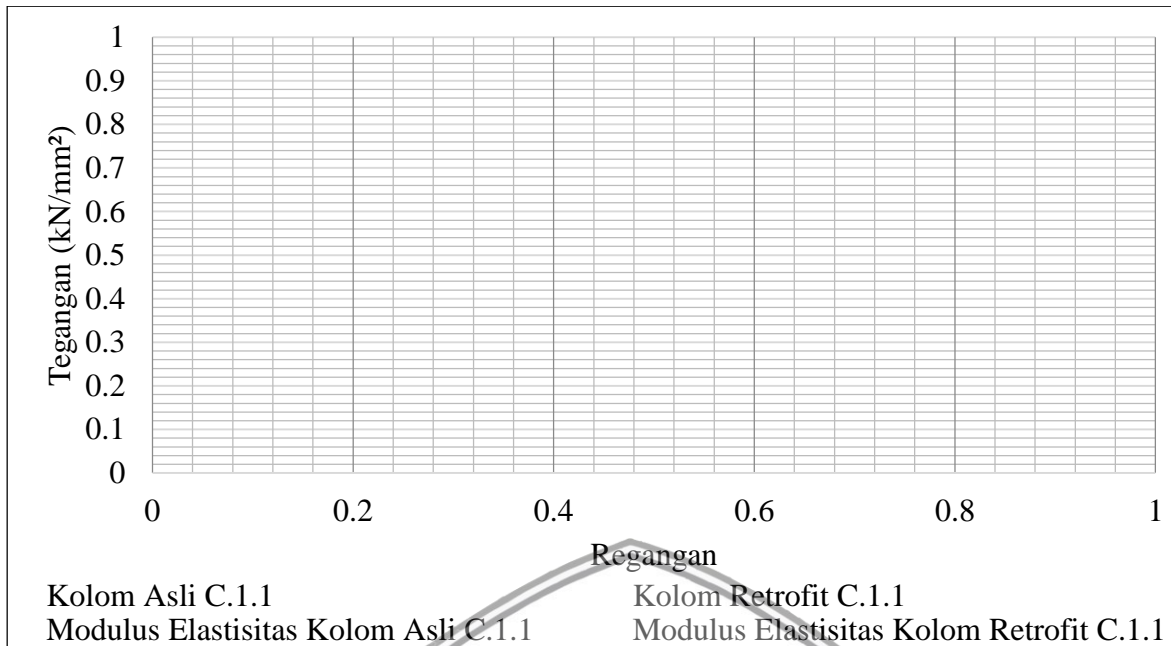
Gambar 3. 11 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom *retrofit*



Gambar 3. 12 Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dan kolom *retrofit*



Gambar 3. 13 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom *retrofit*



Gambar 3. 14 Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dengan kolom retrofit.

3.9 Hipotesis Penelitian

Dari tinjauan pustaka yang telah dibahas diatas didapatkan hipotesis untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Gaya tekan maksimum kolom *retrofit* dengan jarak sengkang yang rapat akan lebih besar dibandingkan dengan gaya tekan maksimum kolom *retrofit* dengan jarak sengkang yang renggang.
2. Nilai kekakuan, modulus elastisitas dan daktilitas pada kolom *retrofit* dengan jarak sengkang yang rapat akan semakin besar dibandingkan dengan kolom *retrofit* dengan jarak sengkang yang renggang.
3. Semakin rapat pemasangan sengkang pada kolom *retrofit*, maka akan lebih efektif dibandingkan pemasangan sengkang dengan jarak yang renggang pada pada kolom *retrofit*.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Bahan

4.1.1 Agregat Halus

Hasil pemeriksaan agregat halus adalah sebagai berikut :

1. Modulus halus = 4.97085
2. Berat Jenis (SSD) = 2.67641
3. Berat Satuan = 1528.68175 gr/cc
4. Absorpsi = 1.09179 %

4.1.2 Agregat Kasar

Hasil pemeriksaan agregat kasar adalah sebagai berikut :

1. Modulus halus = 1.27663
2. Berat Jenis (SSD) = 2.65326
3. Berat Satuan = 1427.59839 gr/cc
4. Absorpsi = 5.57414 %

4.1.3 Baja Tulangan

Pengujian terkait baja tulangan akan menghasilkan tegangan leleh dan tegangan maksimum atau dapat disebut juga sebagai tegangan ultimit. Pengujian tegangan tulangan baja dilakukan di Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya Malang. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Tabel hasil uji tulangan baja

Benda Uji	Diameter (mm)	Tegangan Leleh (fy) (Mpa)	Tegangan Ultimit (Mpa)	Tegangan Leleh Rata-Rata (Mpa)	Tegangan Ultimit Rata-Rata (Mpa)
1A	7.6	266.73	357.11	266.73	357.11
1B	7.6	266.73	357.11		
2A	5.7	168.51	321.35	168.51	321.35
2B	5.7	168.51	321.35		

4.1.4 Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini merupakan air bersih dari Perusahaan Air Minum (PDAM) Kota Malang dan dianggap telah memenuhi syarat sebagai bahan pelumas dan pencampur semen dengan agregat, sehingga dalam penelitian ini konsidi air tidak dianalisis lebih lanjut.

4.2 Campuran Beton

Perbandingan campuran beton berdasarkan teori perancangan proporsi campuran adukan beton dengan metode *American Concrete Institute (ACI)*.

Setelah dilakukan perhitungan perbandingan campuran beton didapatkan proporsi bahan berdasarkan perbandingan berat sebagai berikut :

Semen : Air : Pasir : Kerikil = 1 : 0.599 : 2.221 : 2.326

4.3 Pengujian Beton Segar

Pengujian yang dilakukan pada beton segar adalah pengujian slump (*Slump Test*). Tujuan dari pengujian beton segar adalah untuk mengetahui kekentalan adukan beton. Alat yang digunakan adalah “kerucut Abrams”. Untuk FAS sebesar 0.6 didapatkan nilai rata-rata slump 8 untuk beton kolom asli (12 x 12 x 30) cm dan nilai slump 9 untuk beton kolom *retrofit* kode C (18 x 18 x 30) cm.

Tabel 4. 2 Tabel hasil uji slump beton benda uji silinder (sampel benda uji kolom asli)

NO	Kode Benda Uji	Slump
		(cm)
1	C1	8
2	C2	8
3	D1	8
4	D2	8

Tabel 4. 3 Tabel hasil uji slump beton benda uji silinder (sampel benda uji kolom *retrofit*)

NO	Kode Benda Uji	Slump
		(cm)
1	C1	9
2	C2	9
3	D1	9
4	D2	9

Terlihat pada tabel 4.2 dan tabel 4.3 nilai slump berbeda beda namun hal ini tidak menjadi masalah karena slump di desain menggunakan nilai (60-180) mm.

4.4 Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

Pembuatan benda uji beton silinder diambil 2 benda uji kuat tekan setiap variasi kolom, hal ini ditujukan untuk mengetahui kuat tekan beton ($f'c$) dari setiap benda uji kolom. Benda uji silinder ini memiliki dimensi diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Proses perawatan atau *curing* benda uji kolom ini dilakukan dengan diselimuti karung goni basah sehingga tiap hari dibasahi terus menerus dengan air selama 28 hari. Proses perawatan ini bertujuan untuk menghindari rangkai dan susut pada kolom. Kemudian dilakukan pengujian tekan. Berikut ini merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung kuat tekan beton ($f'c$).

$$f'c = \frac{P_{max}}{A}$$

Dimana :

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

P_{max} = Beban maksimum (kN)

A = Luas tekan penampang (mm^2)

Hasil pengujian kuat tekan beton silinder ditampilkan pada Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Tabel hasil uji kuat tekan beton benda uji silinder (sampel benda uji kolom asli)

NO	Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Berat (kg)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
1	C1	28	12.4	329	18.62	19.58
2	C2		12.5	363	20.54	
3	D1	28	12.4	362	20.49	20.20
4	D2		12.45	352	19.92	

Tabel 4. 5 Tabel hasil uji kuat tekan beton benda uji silinder (sampel benda uji kolom retrofit)

NO	Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Berat (kg)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	
1	C1	28	12.55	313	17.71	18.22	—
2	C2		12.6	331	18.73		
3	D1	28	12.4	415	23.48	24.59	—
4	D2		12.3	454	25.69		

Contoh perhitungan kuat tekan beton (Beton C1 benda uji silinder sampel benda uji kolom asli):

Dik :

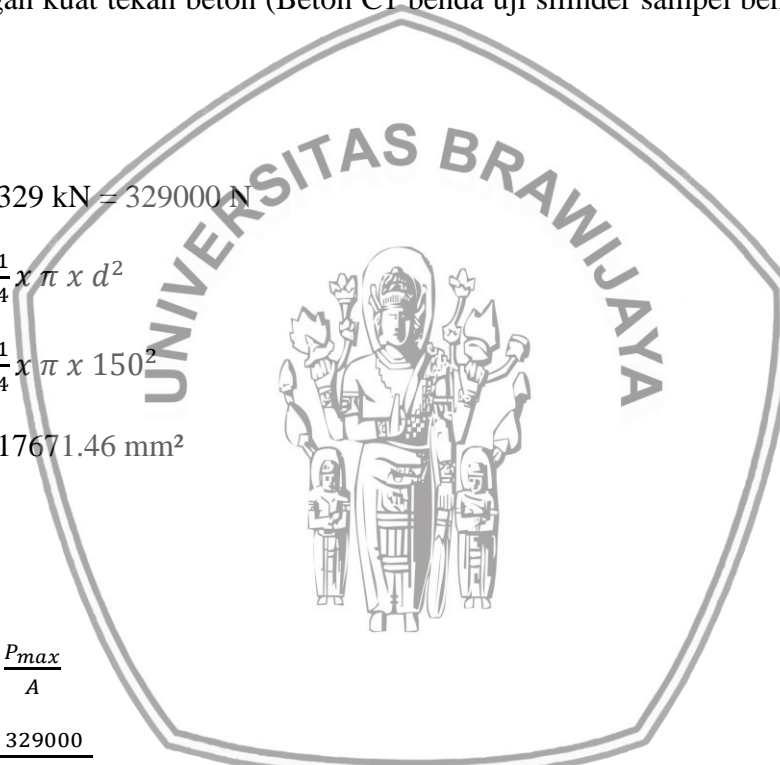
$$P_{max} = 329 \text{ kN} = 329000 \text{ N}$$

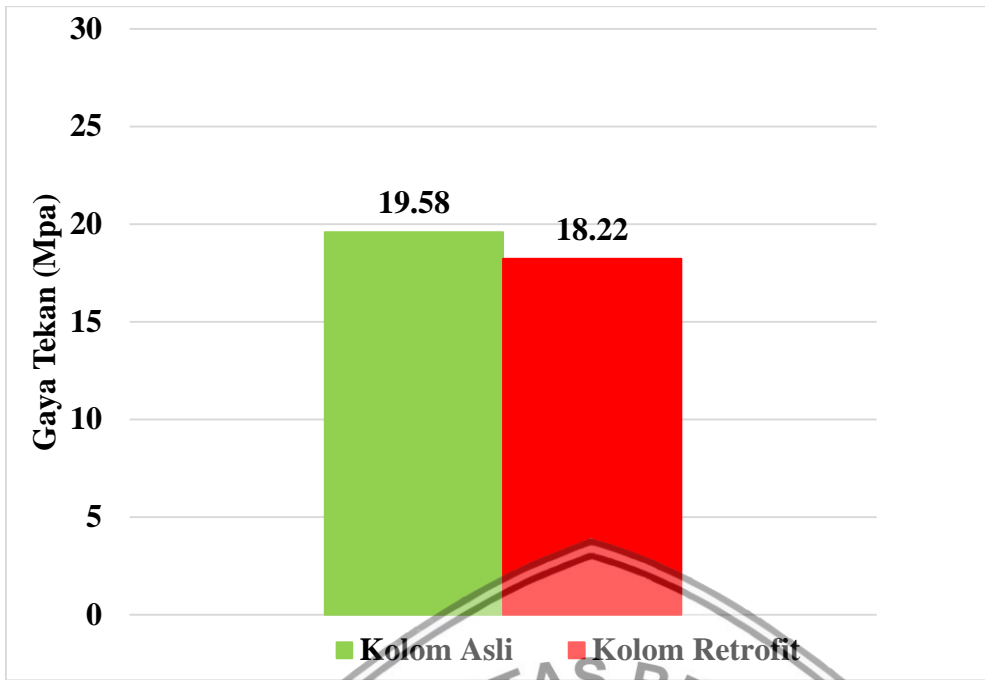
$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150^2 \\
 &= 17671.46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dit : f'_c ?

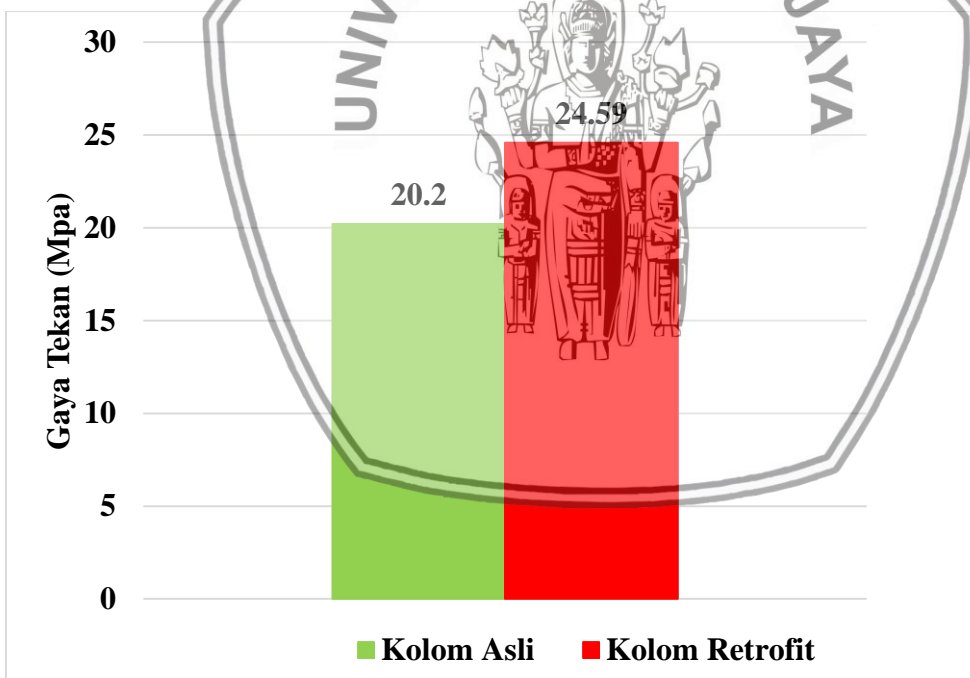
Jawab :

$$\begin{aligned}
 f'_c &= \frac{P_{max}}{A} \\
 &= \frac{329000}{17671.46} \\
 &= 19.58 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$





Gambar 4. 1 Grafik perbandingan hasil uji tekan beton uji silinder kolom asli C dengan kolom retrofit C



Gambar 4. 2 Grafik perbandingan hasil uji tekan beton uji silinder kolom asli D dengan kolom retrofit D

Dari hasil pengujian kuat tekan beton tersebut didapat nilai kuat tekan beton uji silinder kolom asli C rata-rata sebesar 19.58 MPa, nilai kuat tekan beton uji silinder kolom asli D rata-rata sebesar 20.20 MPa, nilai kuat tekan beton uji silinder kolom *retrofit* C rata-rata sebesar 18.22 MPa, dan nilai kuat tekan beton uji silinder kolom *retrofit* D rata-rata sebesar

24.59 MPa, sedangkan mutu beton yang direncanakan pada perencanaan *mix design* sebesar 17.5 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa beton yang digunakan mendekati dengan perencanaan *mix design*.

4.5 Pengujian Kuat Beban Aksial Kolom

Pembuatan benda uji kolom dibuat sebanyak 12 sampel kolom asli dan 12 sampel kolom *retrofit*. Untuk kolom asli mempunyai dimensi 12 x 12 x 30 cm dan kolom *retrofit* mempunyai dimensi 18 x 18 x 30 cm. Fungsi pengujian kuat beban aksial kolom ditujukan untuk mengetahui kuat beban aksial kolom nominal (P_n). Proses perawatan atau *curing* benda uji kolom ini dilakukan dengan diselimuti karung goni basah sehingga tiap hari dibasahi terus menerus dengan air selama 28 hari. Proses perawatan atau *curing* ini bertujuan untuk menghindari rangkai dan susut pada kolom. Kemudian dilakukan pengujian tekan. Berikut ini merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung kuat beban aksial kolom (P_n).

Rumus kuat beban aksial pada kolom asli :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$$

Rumus kuat beban aksial pada kolom *retrofit* :

$$P_{n(max)} = 50\% [0.85 f'_c (A_{gkolom\ asli} - A_{st}) + (f_y \cdot A_{st}) + [0.85 f'_c (A_{gkolom\ retrofit} - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk\ bambu})]$$

Dimana :

P_n = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (kN)

A_g = luas penampang bruto beton (mm²)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

f_y = tegangan leleh dari tulangan longitudinal (MPa)

A_{bambu} = luas penampang bambu (mm²)

$f_{tk\ bambu}$ = kuat tekan bambu (MPa)

Pada rumus kolom *retrofit* diambil rumus 50% kuat beban aksial kolom asli dikarenakan pada saat pengujian kuat beban aksial dihentikan pada saat kolom asli mengalami penurunan kuat beban sebesar 50% dari kuat beban puncak turun kolom asli. Hasil pengujian gaya tekan kolom ditampilkan pada Tabel 4.6

Tabel 4. 6 Tabel hasil kuat beban aksial kolom asli

NO	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Beton (fc')	Kuat Tekan Kolom Asli Maksimum Teoritis	Kuat Tekan Kolom Asli Maksimum Aktual
		(Mpa)	(kN)	(kN)
1	C.1.1			249.60
2	C1 C.1.2	19.58	251	233.50
3	C.1.3			265.40
4	C.2.1			265.30
5	C2 C.2.2	19.58	251	233.00
6	C.2.3			244.00
7	D.1.1			255.80
8	D1 D.1.2	20.20	258.59	269.70
9	D.1.3			229.60
10	D.2.1			224.20
11	D2 D.2.2	20.20	258.59	210.10
12	D.2.3			238.80

Tabel 4. 7 Tabel hasil rata-rata kuat beban aksial kolom asli

NO	Kode Benda Uji Kolom Asli	Kuat Tekan Beton (fc')	Kuat Beban Aksial Nominal Kolom (Pn) Secara Teoritis	Kuat Beban Aksial <i>Ultimate</i> Kolom (Pu) Secara Aktual
		(Mpa)	(kN)	(kN)
1	C1	19.58	251.00	248.90
2	C2	19.58	251.00	241.93
3	D1	20.20	258.59	250.10
4	D2	20.20	258.59	219.47

Untuk tabel hasil rata – rata kuat beban aksial kolom asli didapatkan dari rata – rata data kuat beban aksial per sampel kolom asli dengan asumsi pembacaan defleksi per sampel kolom asli harus senilai.

Contoh perhitungan kuat beban aksial nominal kolom asli ($P_n \max$) (Kolom C.1) :

Dik :

$$f'_c = 19.58 \text{ MPa}$$

$$A_g = 120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} = 14400 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = \frac{1}{4} \times \pi \times (7.6 \text{ mm})^2 = 45.36 \text{ mm}^2$$

$$F_y = 266.73 \text{ MPa}$$

Dit : $P_n \text{ (max) ?}$

Jawab :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$$

$$P_{n(max)} = 0.85 \times 19.58 (14400 - 45.36) + 266.73 \times 45.36$$

$$P_{n(max)} = 250999.25 \text{ N} = 251 \text{ kN}$$

Tabel 4. 8 Tabel hasil kuat beban aksial kolom *retrofit*

NO	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Beton (f'_c)	Kuat Tekan Kolom Asli Maksimum Teoritis	Kuat Tekan Kolom Asli Maksimum Aktual
		(Mpa)	(kN)	(kN)
1	C.1.1			254.20
2	C1 C.1.2	18.22	409.82	138.10
3	C.1.3			161.60
4	C.2.1			179.80
5	C2 C.2.2	18.22	409.82	240.70
6	C.2.3			287.80
7	D.1.1			309.80
8	D1 D.1.2	24.59	507.71	249.80
9	D.1.3			220.20
10	D.2.1			264.90
11	D2 D.2.2	24.59	507.71	277.90
12	D.2.3			207.40

Tabel 4. 9 Tabel hasil rata-rata kuat beban aksial kolom *retrofit*

NO	Kode Benda Uji Kolom Asli	Kuat Tekan Beton (fc')	Kuat Beban Aksial Nominal Kolom (Pn) Secara Teoritis	Kuat Beban Aksial <i>Ultimate</i> Kolom (Pu) Secara Aktual
			(kN)	(kN)
1	C1	18.22	409.82	177.73
2	C2	18.22	409.82	216.30
3	D1	24.59	507.71	244.60
4	D2	24.59	507.71	248.00

Untuk tabel hasil rata – rata kuat beban aksial kolom *retrofit* didapatkan dari rata – rata data kuat beban aksial per sampel kolom *retrofit* dengan asumsi pembacaan defleksi per sampel kolom *retrofit* harus senilai.

Contoh perhitungan kuat beban aksial nominal kolom *retrofit* (Pn max) (Kolom C.1):

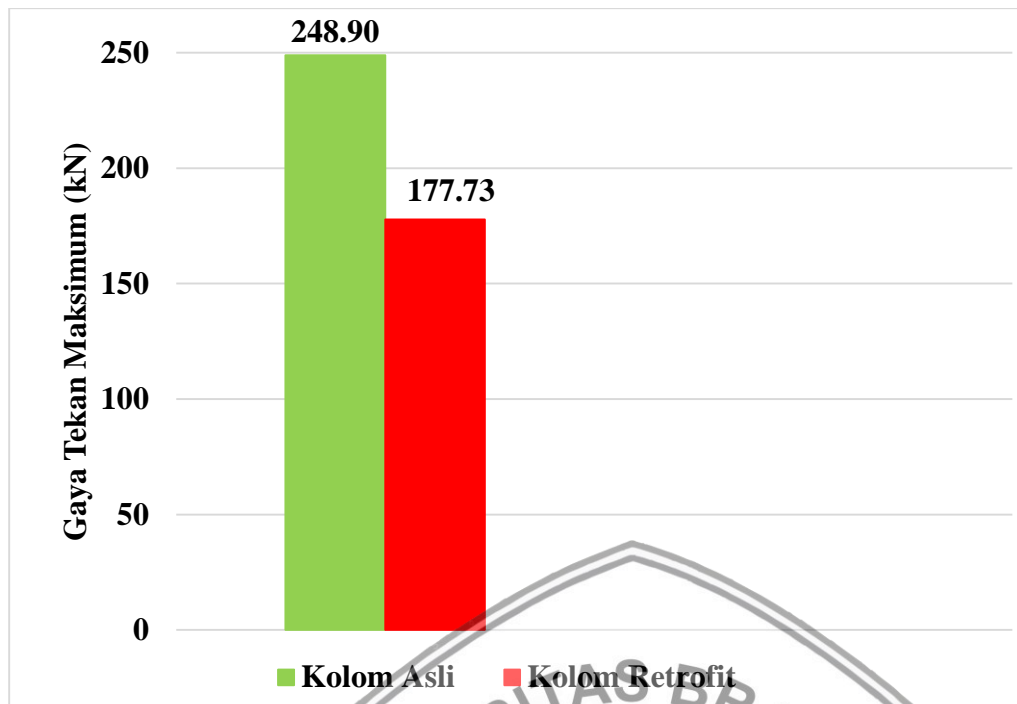
Dik :

$$\begin{aligned}
 f'_c \text{ kolom asli} &= 19.58 \text{ MPa} \\
 f'_c \text{ kolom retrofit} &= 18.22 \text{ MPa} \\
 A_{g \text{ kolom asli}} &= 120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} = 14400 \text{ mm}^2 \\
 A_{g \text{ kolom retrofit}} &= 180 \text{ mm} \times 180 \text{ mm} = 32400 \text{ mm}^2 \\
 A_{st} &= \frac{1}{4} \times \pi \times (7.6 \text{ mm})^2 = 45.36 \text{ mm}^2 \\
 A_{\text{ bambu}} &= 10 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} = 200 \text{ mm}^2 \\
 f_y &= 266.73 \text{ MPa} \\
 f_{tk \text{ bambu}} &= 43.13 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

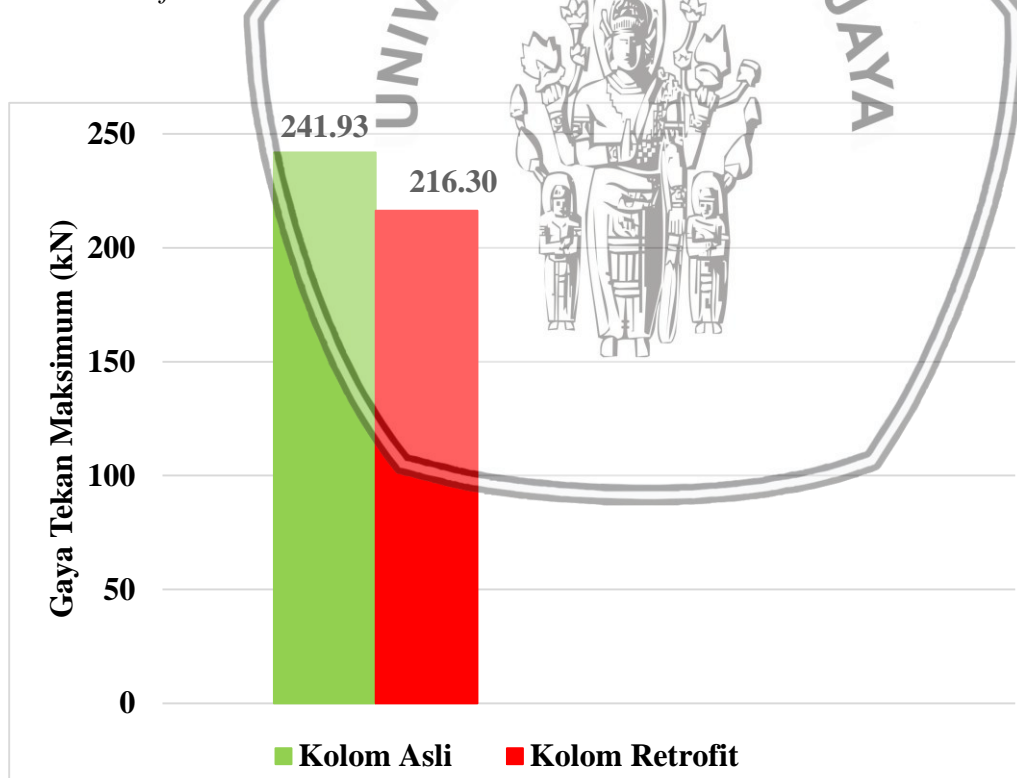
Dit : Pn (max) ?

Jawab :

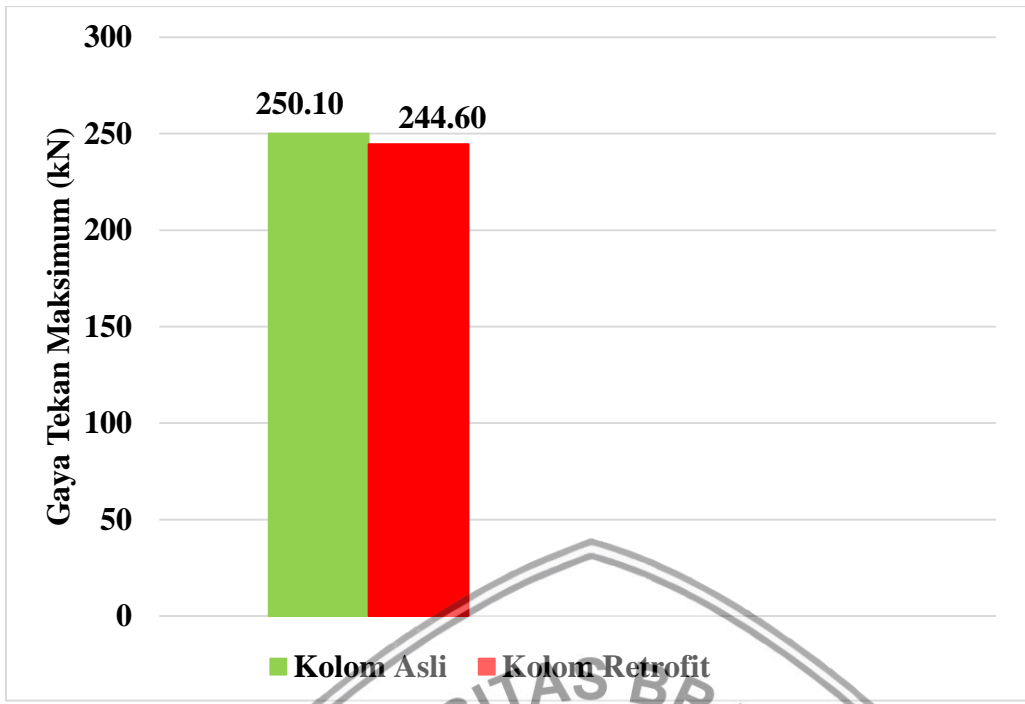
$$\begin{aligned}
 P_{n(max)} &= 50\% [0.85 f'_c (A_{g \text{ kolom asli}} - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] + \\
 &\quad [0.85 f'_c (A_{g \text{ kolom retrofit}} - A_{\text{ bambu}}) + (f_{tk \text{ bambu}} \cdot A_{\text{ bambu}})]. \\
 P_{n(max)} &= 50\% [0.85 \times 19.58 (14400 - 45.36) + 266.73 \times 45.36] + \\
 &\quad [0.85 \times 24.36 ((32400 - 14400) - 200) + (43.13 \times 200)] \\
 P_{n(max)} &= 409816.5 \text{ N} = 409.82 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



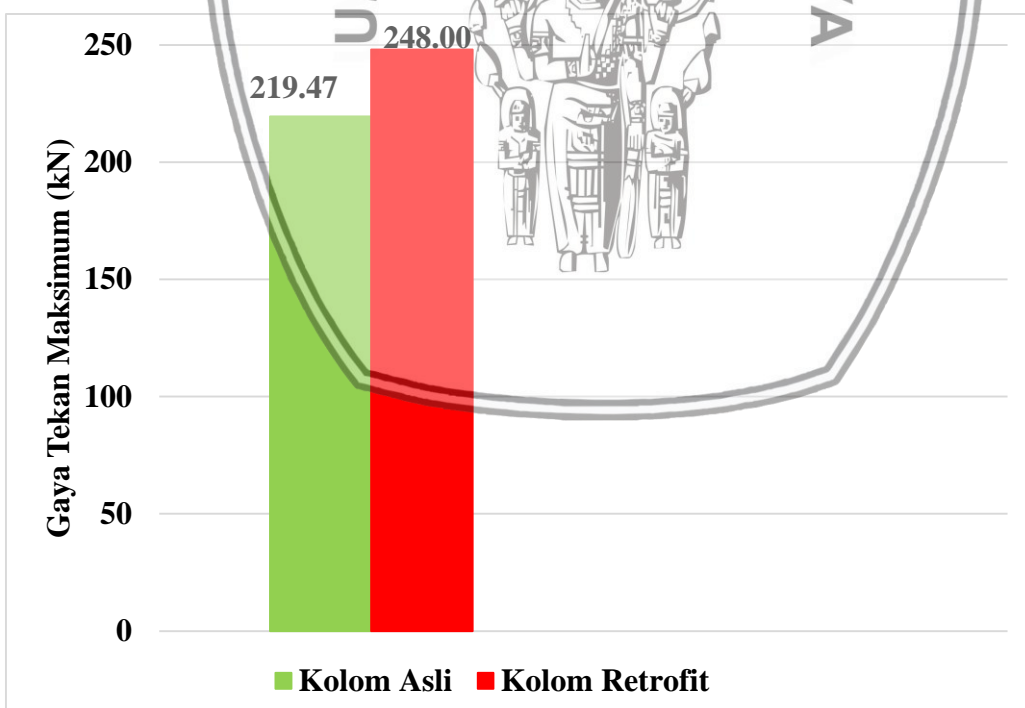
Gambar 4.3 Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli C1 dengan kolom retrofit C1



Gambar 4.4 Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli C2 dengan kolom retrofit C2



Gambar 4. 5 Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli D1 dengan kolom *retrofit* D1



Gambar 4. 6 Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli D2 dengan kolom *retrofit* D2

Dari penelitian kuat beban aksial kolom asli dengan kolom *retrofit* didapatkan hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom asli C.1 sebesar 248.9 kN sedangkan hasil kuat beban

aksial maksimum pada kolom *retrofit*.C1 sebesar 177.73 kN, apabila di persentasikan maka terjadi penurunan kuat beban aksial kolom *retrofit* C.1 sebesar 28.59 % dari kuat beban aksial maksimum kolom asli C.1. Untuk hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom asli C.2 sebesar 241.93 kN sedangkan hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom *retrofit* C.2 sebesar 216.30 kN, apabila di persentasikan maka terjadi penurunan kuat beban aksial kolom *retrofit* C.2 sebesar 10.6 % dari kuat beban aksial maksimum kolom asli C.2. Untuk hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom asli D.1 sebesar 250.1 kN sedangkan hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom *retrofit* D.1 sebesar 244.6 kN, apabila di persentasikan maka terjadi penurunan kuat beban aksial kolom *retrofit* D.1 sebesar 2.2 % dari kuat beban aksial maksimum kolom asli D.1. Untuk hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom asli D.2 sebesar 219.47 kN sedangkan hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom *retrofit* D.2 sebesar 248 kN, apabila di persentasikan maka terjadi peningkatan kuat beban aksial kolom *retrofit* D.2 sebesar 13 % dari kuat beban aksial maksimum kolom asli D.2.

4.6 Pembahasan

4.6.1 Pembahasan Mengenai Gaya Tekan dan Defleksi Kolom Asli dengan Kolom *Retrofit*

Pembahasan mengenai hubungan gaya tekan dan defleksi antara kolom asli dengan kolom *retrofit* bertujuan untuk mengetahui nilai kekakuan suatu benda. Nilai kekakuan pada suatu struktur merupakan bagian yang penting dan perlu diperhatikan. Pembatasan kekakuan berguna untuk menjaga konstruksi agar tidak melendut lebih dari lendutan yang disyaratkan. Nilai kekakuan merupakan sudut kemiringan dari hubungan antara beban dan defleksi.

Nilai kekakuan didapatkan dari rumus :

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

Dimana :

k = Kekakuan Struktur (kN/mm)

P = Gaya Tekan (kN)

Δ = Defleksi (mm)

Pada analisis data untuk mencari nilai kekakuan kolom asli dan kolom *retrofit* memakai metode yang dilakukan oleh Park (1988) yakni, untuk nilai gaya tekan diambil dari 75 % dari nilai gaya tekan maksimum dan nilai defleksi diambil pada 75 % dari nilai gaya tekan maksimum.

Tabel 4. 10 Tabel pengolahan gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom *retrofit*

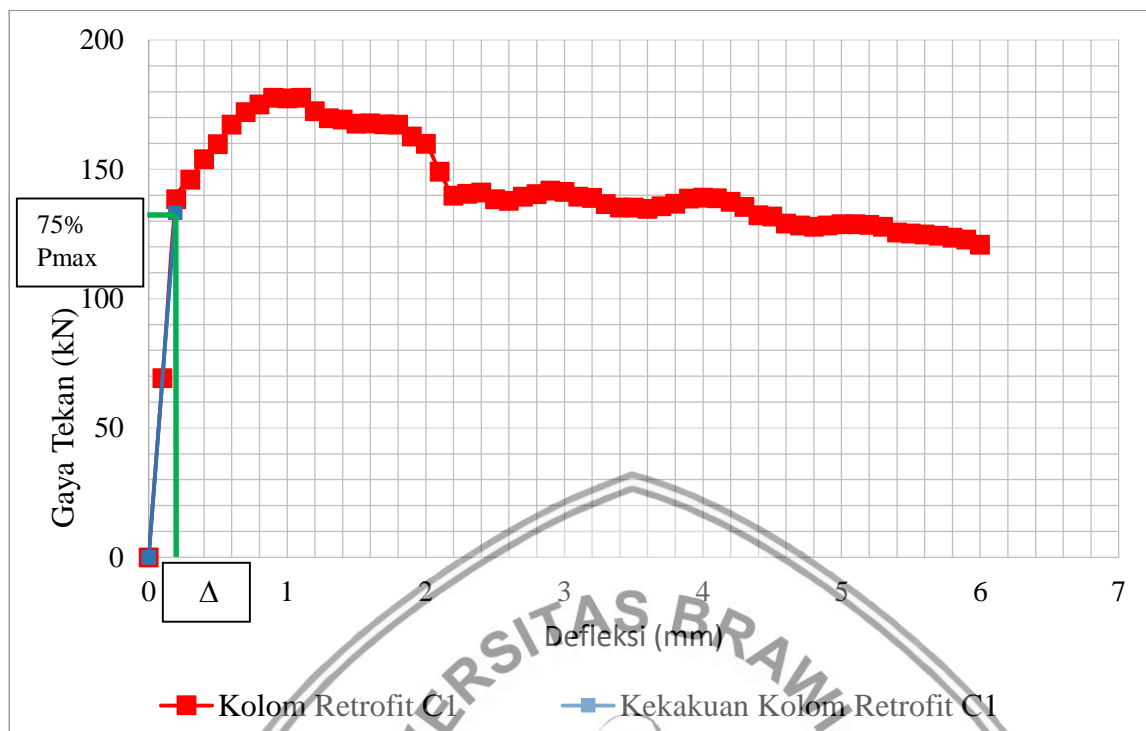
NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Defleksi (mm)		Kekakuan (kN/mm)	
		Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>
1	C.1.1	249.6	254.2	187.2	190.7	0.20	0.20	918.0	961.0
2	C1 C.1.2	233.5	138.1	175.1	103.6	0.21	0.21	841.6	492.7
3	C.1.3	265.4	161.6	199.1	121.2	0.22	0.21	924.7	586.5
4	C.2.1	265.3	179.8	199.0	134.9	0.23	0.20	859.6	658.8
5	C2 C.2.2	233.0	240.7	174.8	180.5	0.22	0.22	781.0	831.3
6	C.2.3	244.0	287.8	183.0	215.9	0.21	0.21	886.1	1019.8
7	D.1.1	255.8	309.8	191.9	232.4	0.22	0.21	872.8	1119.4
8	D1 D.1.2	269.7	249.8	202.3	187.4	0.21	0.22	979.4	849.3
9	D.1.3	229.6	220.2	172.2	165.2	0.20	0.21	847.2	775.6
10	D.2.1	224.2	264.9	168.2	198.7	0.22	0.21	770.3	931.2
11	D2 D.2.2	210.1	277.9	157.6	208.4	0.20	0.21	791.0	1001.5
12	D.2.3	238.8	207.4	179.1	155.6	0.20	0.21	884.3	724.9

Tabel 4. 11 Tabel data rata – rata gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom *retrofit*

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Defleksi (mm)		Kekakuan (kN/mm)	
		Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>
1	C1	248.9	177.7	186.7	133.3	0.2152	0.1924	867.6	692.7
2	C2	241.9	216.3	181.5	162.2	0.1986	0.1841	913.5	881.0
1	D1	250.1	244.6	187.6	183.5	0.2022	0.1888	927.8	971.7
2	D2	219.5	248.0	164.6	186.0	0.1965	0.1993	837.8	933.2

Untuk tabel hasil rata – rata kekakuan hasil uji tekan kolom asli dan kolom *retrofit* didapatkan dari rata – rata data gaya tekan per sampel kolom asli dan kolom *retrofit* dengan asumsi pembacaan defleksi per sampel kolom asli dan kolom *retrofit* harus senilai.

Contoh perhitungan kekakuan kolom (k) (Kolom *retrofit* C.1) :



Dik :

$$P_{\max} = 177.7 \text{ kN}$$

$$75\% P_{\max} = 75\% \times 177.7 = 133.3 \text{ kN}$$

Dari tabel 4.13 diperoleh data :

$$P_1 = 69.3 \text{ kN} \longrightarrow \Delta_1 = 0.1 \text{ mm}$$

$$P_2 = 138.5 \text{ kN} \longrightarrow \Delta_2 = 0.2 \text{ mm}$$

$$75\% P_{\max} (P) = 133.3 \text{ kN} \longrightarrow \Delta = \Delta_1 + \frac{(\Delta_2 - \Delta_1) \cdot (P - P_1)}{(P_2 - P_1)}$$

$$\Delta = 0.1 + \frac{(0.2 - 0.1) \cdot (133.3 - 69.3)}{(138.5 - 69.3)}$$

$$\Delta = 0.1924 \text{ mm}$$

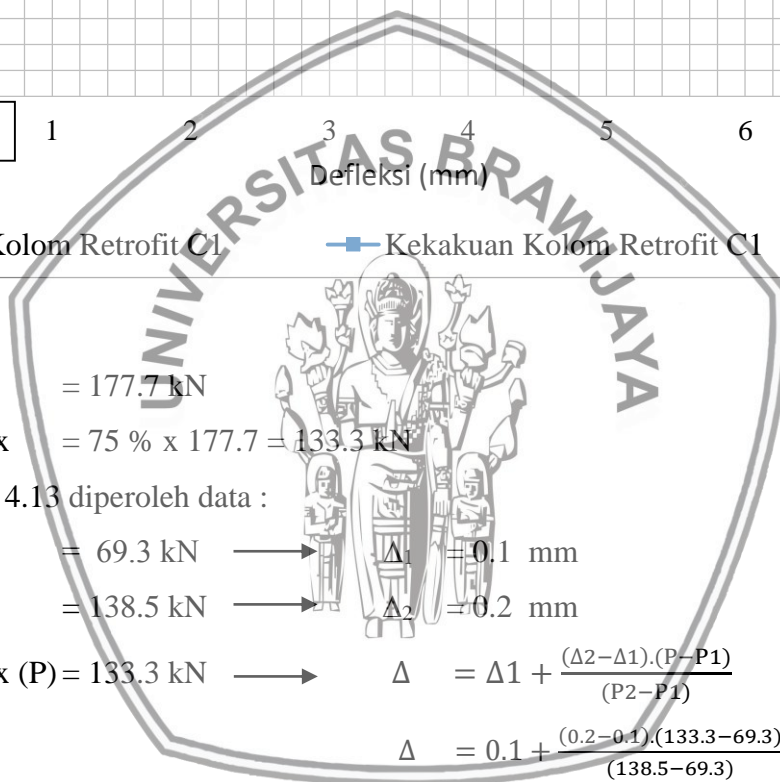
Dit : k ?

Jawab :

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

$$k = \frac{133.3}{0.1924}$$

$$k = 692.7 \text{ kN/mm}$$



4.6.1.1 Kolom Asli C.1 – Kolom *Retrofit* C.1

Tabel 4. 12 Tabel data gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1

No	Defleksi mm	C.1.1	C.1.2	C.1.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0	0	0	0	0
2	0.1	93.25	87.00	98.35	92.87
3	0.2	186.50	174.00	196.70	185.73
4	0.3	204.40	187.90	212.10	201.47
5	0.4	216.30	202.30	225.10	214.57
6	0.5	231.40	212.60	236.10	226.70
7	0.6	240.20	222.90	249.90	237.67
8	0.7	243.70	229.20	256.40	243.10
9	0.8	248.70	233.50	260.90	247.70
10	0.9	249.60	233.50	263.60	248.90
11	1	247.00	231.50	265.40	247.97
12	1.1	242.90	230.00	263.90	245.60
13	1.2	240.90	217.70	259.70	239.43
14	1.3	231.70	206.50	256.60	231.60
15	1.4	226.60	198.10	252.20	225.63
16	1.5	218.40	192.90	245.20	218.83
17	1.6	217.50	191.20	244.20	217.63
18	1.7	209.50	190.10	237.80	212.47
19	1.8	205.90	183.50	229.60	206.33
20	1.9	195.30	182.20	227.80	201.77
21	2	180.10	173.20	220.90	191.40
22	2.1	173.40	167.60	217.60	186.20
23	2.2	164.70	163.70	208.80	179.07
24	2.3	157.90	152.40	205.40	171.90
25	2.4	150.40	146.60	196.50	164.50
26	2.5	145.80	142.40	191.20	159.80
27	2.6	139.30	134.90	184.50	152.90

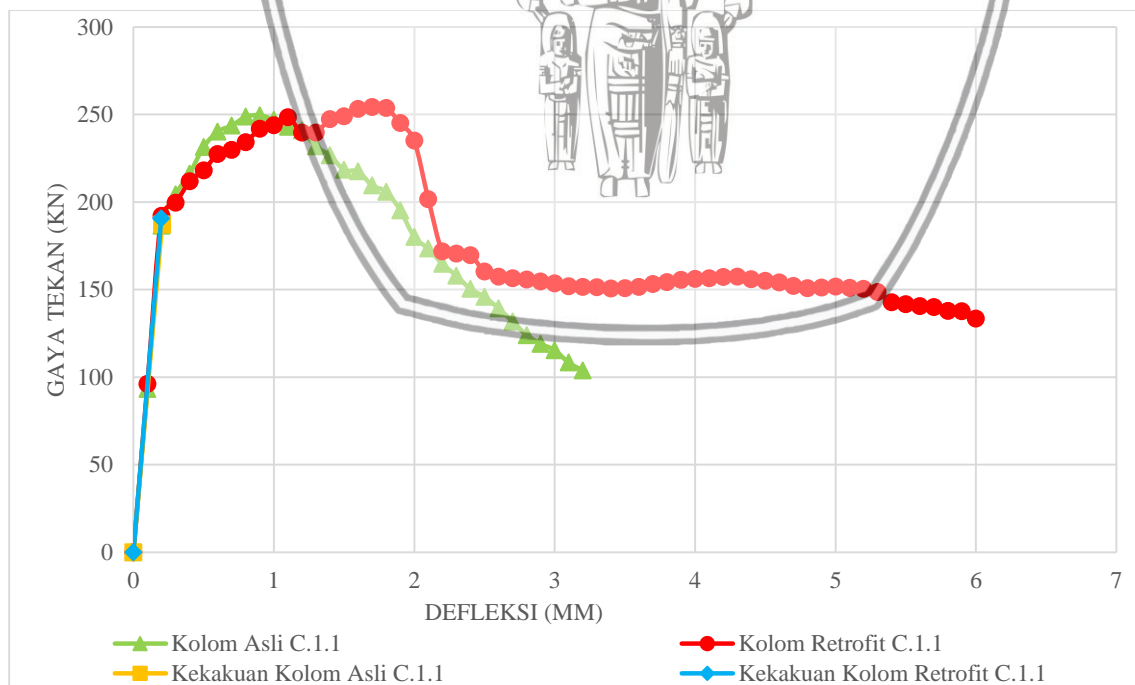
No	Defleksi mm	C.1.1	C.1.2	C.1.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
28	2.7	131.80	130.20	173.60	145.20
29	2.8	124.00	126.50	165.00	138.50
30	2.9	119.00	122.20	159.50	133.57
31	3	115.40	115.20	148.40	126.33
32	3.1	108.30	110.70	140.60	119.87
33	3.2	103.80	106.00	134.10	114.63

Tabel 4. 13 Tabel data gaya tekan dan defleksi kolom *retrofit* C.1

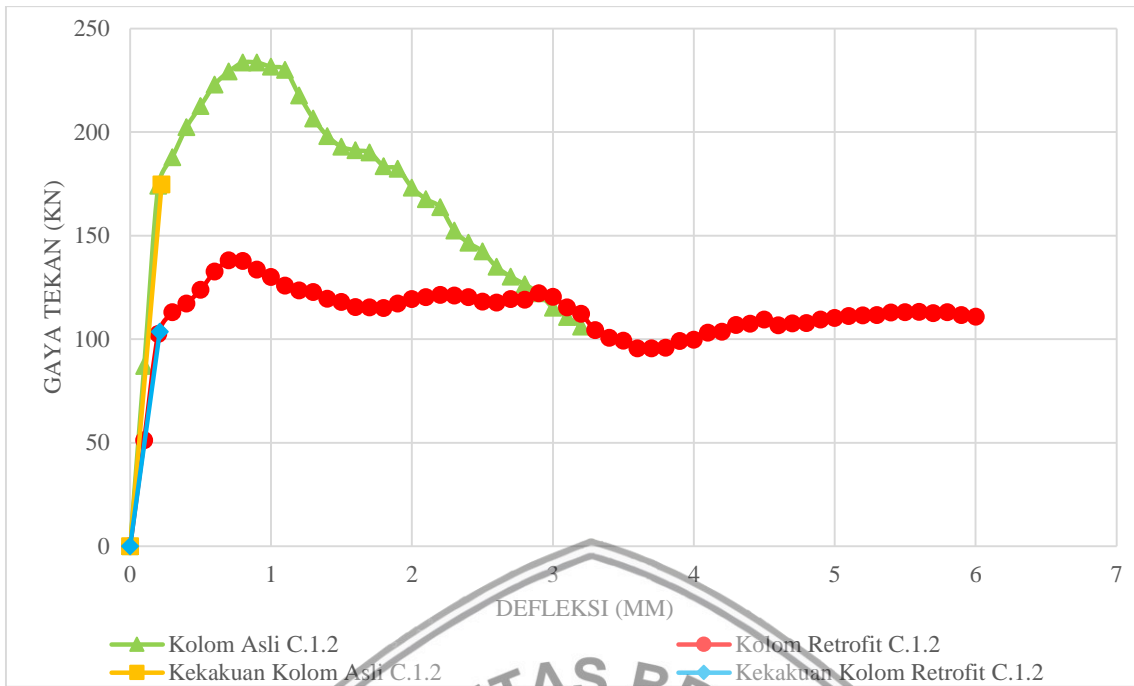
No	Defleksi mm	C.1.1	C.1.2	C.1.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0.0	0	0	0	0
2	0.1	96.1	51.3	60.5	69.3
3	0.2	192.2	102.5	120.9	138.5
4	0.3	199.6	113.0	125.4	146.0
5	0.4	211.8	117.2	133.0	154.0
6	0.5	218.1	123.9	137.3	159.8
7	0.6	227.4	132.6	142.0	167.3
8	0.7	229.8	138.1	148.6	172.2
9	0.8	234.1	137.7	153.6	175.1
10	0.9	241.8	133.6	157.8	177.7
11	1.0	243.9	130.0	158.5	177.5
12	1.1	248.4	125.8	158.8	177.7
13	1.2	239.6	123.5	154.6	172.6
14	1.3	239.6	122.7	147.0	169.8
15	1.4	247.4	119.5	141.1	169.3
16	1.5	248.9	118.0	136.2	167.7
17	1.6	253.1	115.5	134.8	167.8
18	1.7	254.2	115.3	132.9	167.5

No	Defleksi mm	C.1.1	C.1.2	C.1.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
19	1.8	253.7	115.0	133.1	167.3
20	1.9	245.2	117.2	125.9	162.8
21	2.0	235.0	119.3	125.4	159.9
22	2.1	201.7	120.3	125.3	149.1
23	2.2	171.9	121.4	126.4	139.9
24	2.3	170.5	121.0	130.3	140.6
25	2.4	169.7	120.3	133.3	141.1
26	2.5	160.3	118.1	137.2	138.5
27	2.6	157.4	117.7	138.4	137.8
28	2.7	156.5	119.4	142.4	139.4
29	2.8	155.8	119.1	146.3	140.4
30	2.9	154.6	122.1	148.6	141.8
31	3.0	153.5	120.5	149.8	141.3
32	3.1	151.9	115.4	151.2	139.5
33	3.2	151.6	112.2	153.1	139.0
34	3.3	151.4	104.3	154.1	136.6
35	3.4	150.6	100.6	154.4	135.2
36	3.5	150.8	99.3	155.6	135.2
37	3.6	151.6	95.6	157.2	134.8
38	3.7	153.1	95.5	158.7	135.8
39	3.8	154.3	95.8	160.2	136.8
40	3.9	155.6	99.1	161.6	138.8
41	4.0	156.1	99.8	161.4	139.1
42	4.1	156.4	103.1	157.1	138.9
43	4.2	157.1	103.6	151.9	137.5
44	4.3	157.3	106.8	142.3	135.5
45	4.4	155.9	107.4	133.6	132.3
46	4.5	155.0	109.4	131.0	131.8
47	4.6	154.1	106.7	126.5	129.1
48	4.7	152.0	107.6	125.5	128.4

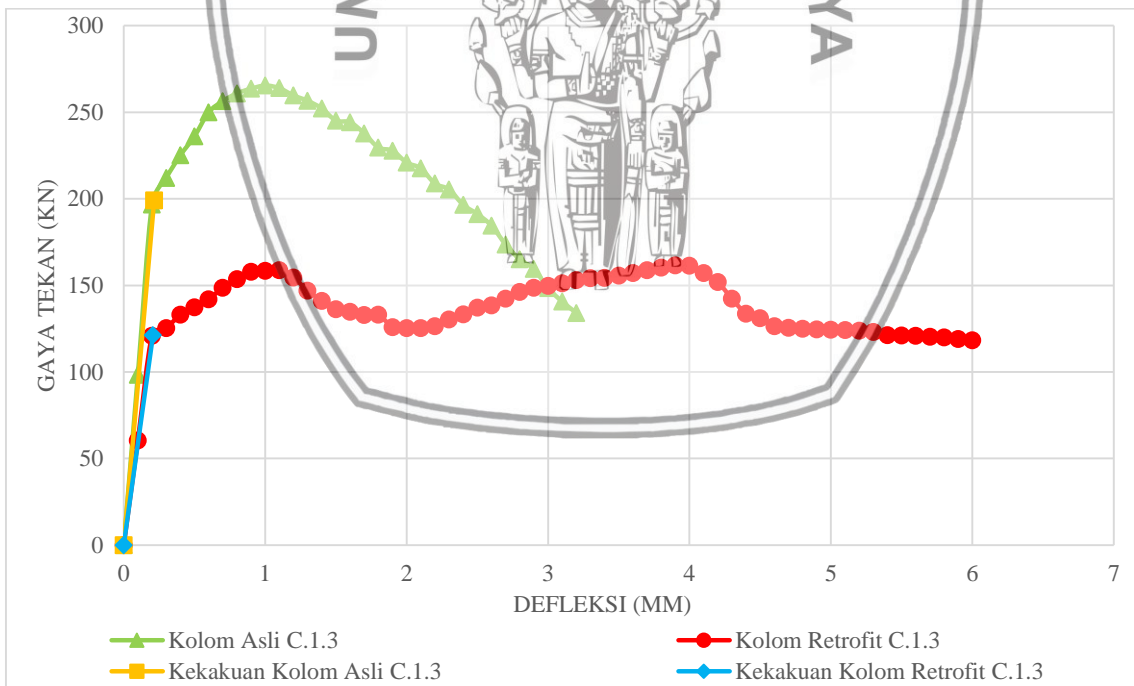
No	Defleksi mm	C.1.1	C.1.2	C.1.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
49	4.8	150.8	107.7	124.9	127.8
50	4.9	151.2	109.4	124.5	128.4
51	5.0	151.7	110.3	124.4	128.8
52	5.1	151.0	111.2	124.3	128.8
53	5.2	150.5	111.5	123.9	128.6
54	5.3	148.6	111.7	123.1	127.8
55	5.4	142.7	112.8	121.2	125.6
56	5.5	141.7	113.0	121.1	125.3
57	5.6	140.6	113.2	120.9	124.9
58	5.7	140.0	112.6	120.4	124.3
59	5.8	137.9	113.0	120.0	123.6
60	5.9	137.7	111.7	119.1	122.8
61	6.0	133.5	110.8	118.3	120.9



Gambar 4. 7 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.1 dengan kolom retrofit C.1.1

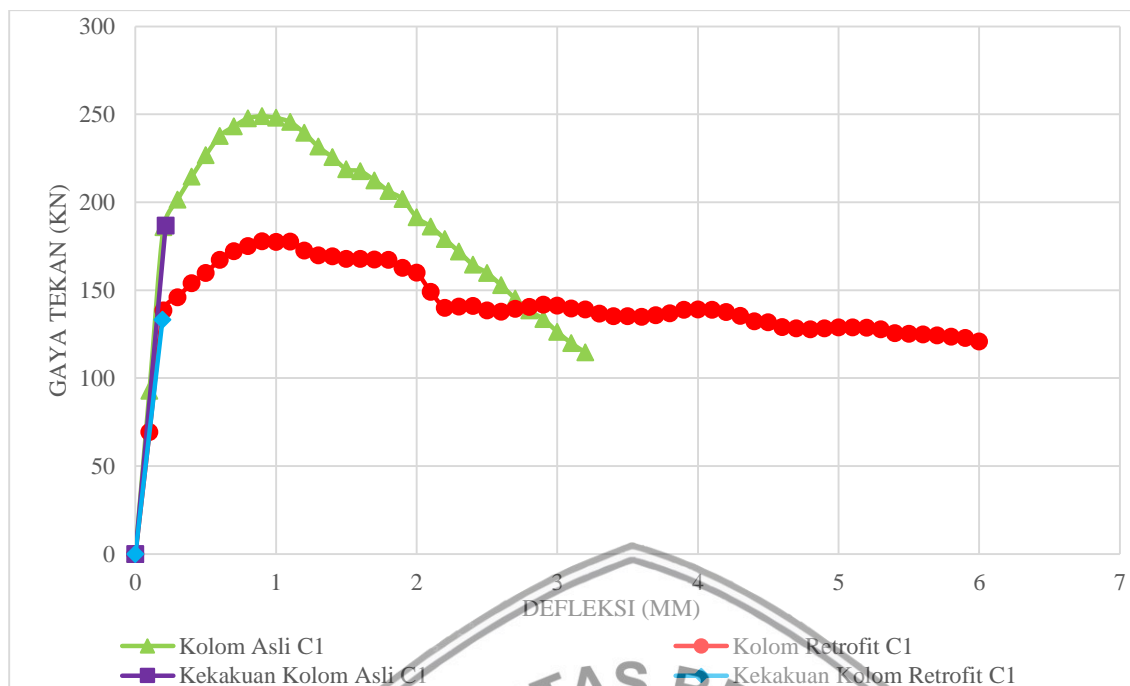


Gambar 4. 8 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.2 dengan kolom retrofit C.1.2



Gambar 4. 9 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.3 dengan kolom retrofit C.1.3





Gambar 4.10 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1 dengan kolom *retrofit* C.1

Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli C.1 dan kolom *retrofit* C.1 didapatkan dari rata – rata gabungan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom *retrofit* C.1.1, C.1.2 dan C.1.3. Sehingga dapat disimpulkan, pada kolom *retrofit* C.1 terjadi pemulihan awal setelah batas runtuh kolom asli C.1 dengan beban maksimum sebesar 177.73 kN. Namun beban maksimum kolom *retrofit* C.1 tidak sampai beban puncak kolom asli C.1 yakni sebesar 248.9 kN. Apabila di persentasikan maka terjadi penurunan pada nilai beban puncak kolom *retrofit* C.1 sebesar 28,59% dari nilai beban puncak kolom asli C.1.

Dari hasil analisis data pada kolom C.1 didapatkan pula nilai pada kekakuan kolom asli C.1 dan kolom *retrofit* C.1. Pada kolom asli C.1. didapatkan nilai kekakuan sebesar 867.6 kN/mm, sedangkan pada kolom *retrofit* C.1 didapatkan nilai kekakuan sebesar 692.7 kN/mm. Apabila dipersentasikan maka terjadi penurunan pada kekakuan kolom *retrofit* C.1 sebesar 20.17 % dari nilai kekakuan kolom asli C.1.

4.6.1.2 Kolom Asli C.2 – Kolom *Retrofit* C.2

Tabel 4. 14 Tabel data gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2

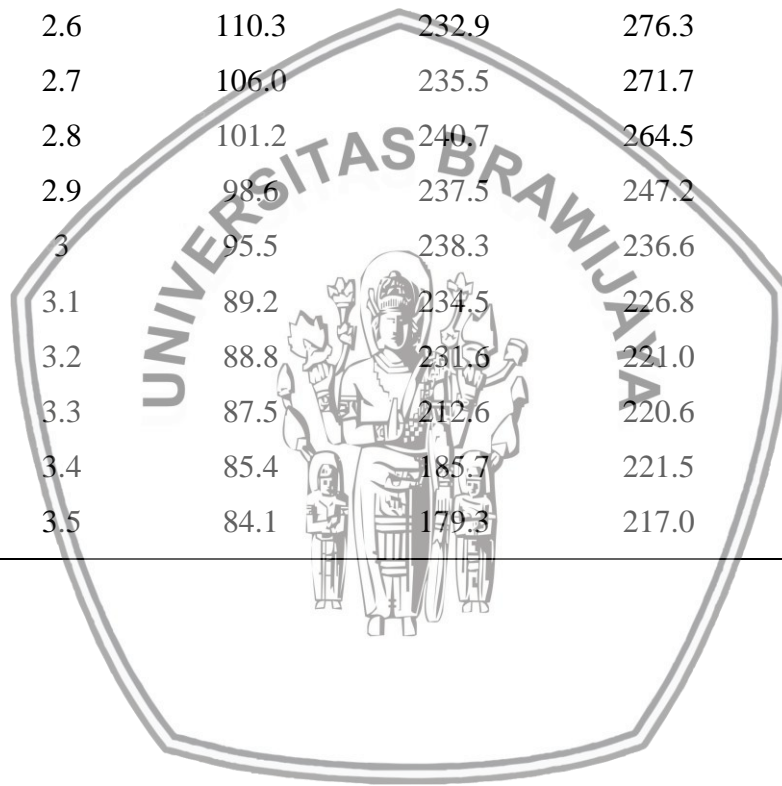
No	Defleksi mm	C.2.1	C.2.2	C.2.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0	0	0	0	0
2	0.1	97.30	85.95	90.80	91.35
3	0.2	194.60	171.90	181.60	182.70
4	0.3	208.50	183.90	203.10	198.50
5	0.4	220.20	192.60	220.40	211.07
6	0.5	234.30	202.00	232.20	222.83
7	0.6	245.80	210.90	242.60	233.10
8	0.7	257.20	218.50	244.00	239.90
9	0.8	262.50	223.20	240.10	241.93
10	0.9	265.30	228.00	228.80	240.70
11	1	256.50	232.30	217.70	235.50
12	1.1	247.90	233.00	209.20	230.03
13	1.2	238.20	230.90	198.90	222.67
14	1.3	226.20	230.30	189.30	215.27
15	1.4	217.00	225.90	184.90	209.27
16	1.5	206.00	218.10	175.10	199.73
17	1.6	196.00	213.10	169.20	192.77
18	1.7	187.50	204.80	162.50	184.93
19	1.8	178.20	198.90	160.30	179.13
20	1.9	170.80	194.00	154.80	173.20
21	2	167.70	189.50	151.60	169.60
22	2.1	161.20	186.90	144.60	164.23
23	2.2	157.80	182.90	139.60	160.10
24	2.3	154.10	177.20	135.80	155.70
25	2.4	147.90	171.40	129.10	149.47
26	2.5	142.20	167.50	123.70	144.47
27	2.6	135.50	163.50	120.40	139.80

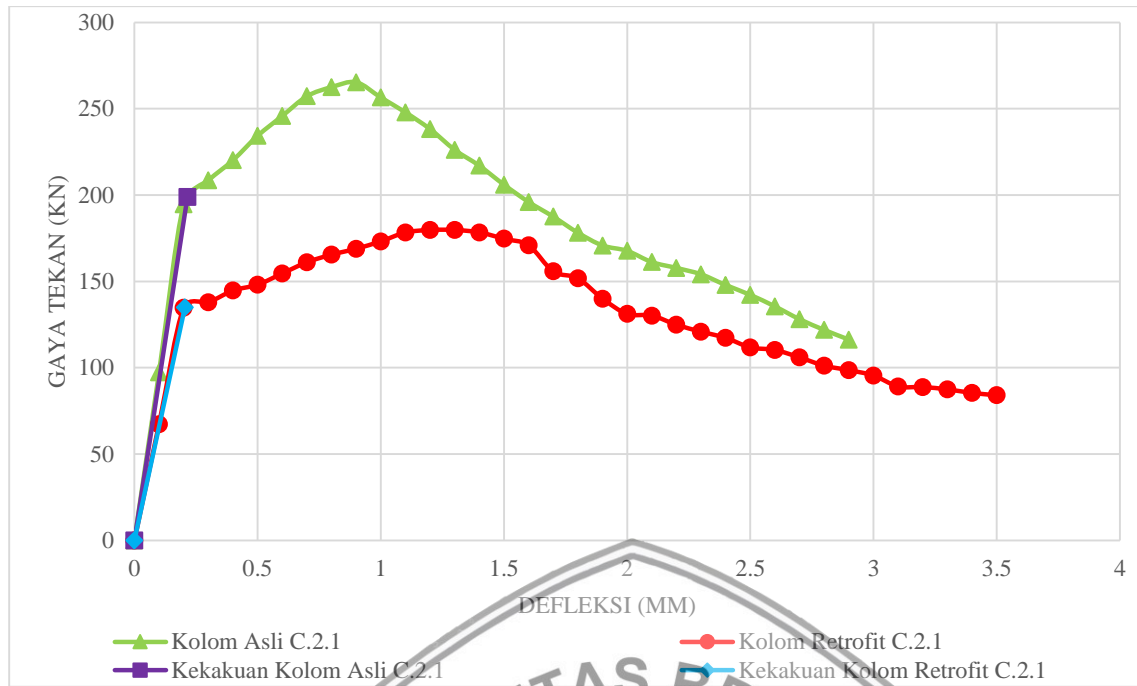
No	Defleksi mm	C.2.1	C.2.2	C.2.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
28	2.7	128.10	157.10	113.10	132.77
29	2.8	121.90	152.90	109.90	128.23
30	2.9	116.30	145.40	103.60	121.77

Tabel 4. 15 Tabel data gaya tekan dan defleksi kolom *retrofit* C.2

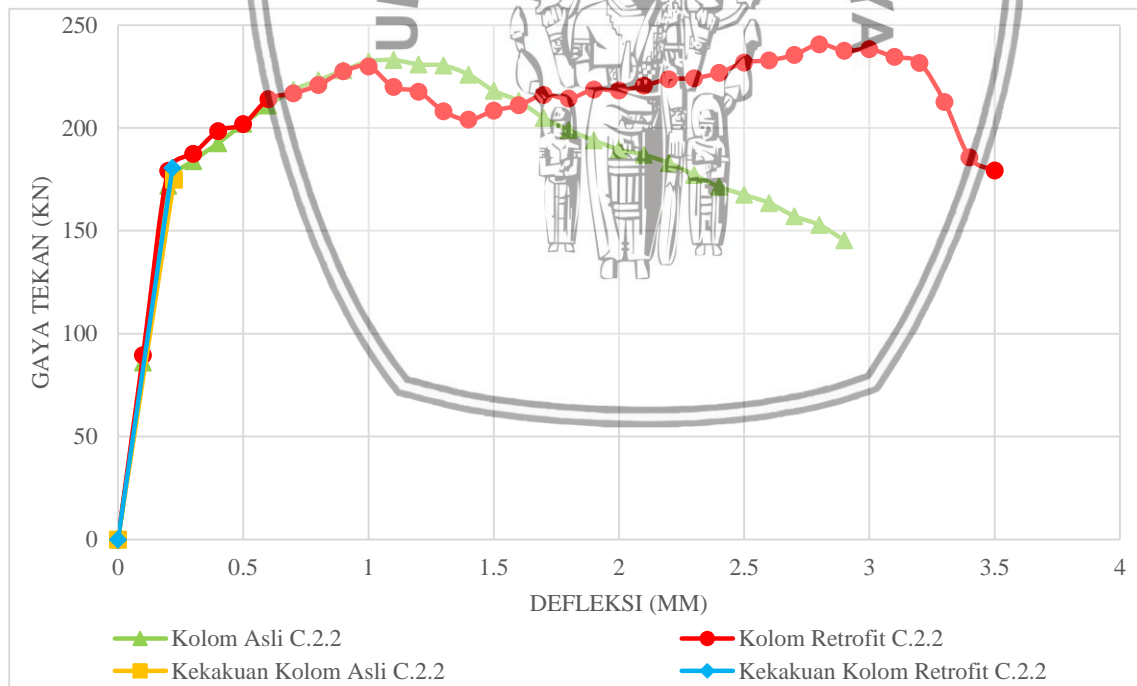
No	Defleksi mm	C.2.1	C.2.2	C.2.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0	0	0	0	0
2	0.1	67.4	89.6	107.4	88.1
3	0.2	134.7	179.1	214.8	176.2
4	0.3	137.9	187.4	223.8	183.0
5	0.4	144.7	198.5	232.9	192.0
6	0.5	148.1	201.9	241.2	197.1
7	0.6	154.6	214.0	240.5	203.0
8	0.7	161.1	216.8	231.0	203.0
9	0.8	165.5	220.8	231.7	206.0
10	0.9	168.9	227.5	239.1	211.8
11	1	173.2	229.9	243.3	215.5
12	1.1	178.3	219.9	247.0	215.1
13	1.2	179.8	217.6	250.8	216.1
14	1.3	179.8	208.1	252.1	213.3
15	1.4	178.4	204.0	256.8	213.1
16	1.5	174.7	208.4	259.4	214.2
17	1.6	170.9	211.0	267.0	216.3
18	1.7	155.8	216.1	271.8	214.6
19	1.8	151.8	214.3	275.7	213.9
20	1.9	140.0	218.7	282.3	213.7

No	Defleksi	C.2.1	C.2.2	C.2.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		mm	kN	kN	kN
21	2	131.2	218.2	283.9	211.1
22	2.1	130.2	220.6	285.6	212.1
23	2.2	124.9	223.7	287.8	212.1
24	2.3	120.9	224.2	285.2	210.1
25	2.4	117.3	226.8	283.9	209.3
26	2.5	111.8	231.8	280.8	208.1
27	2.6	110.3	232.9	276.3	206.5
28	2.7	106.0	235.5	271.7	204.4
29	2.8	101.2	240.7	264.5	202.1
30	2.9	98.6	237.5	247.2	194.4
31	3	95.5	238.3	236.6	190.1
32	3.1	89.2	234.5	226.8	183.5
33	3.2	88.8	231.6	221.0	180.5
34	3.3	87.5	212.6	220.6	173.6
35	3.4	85.4	185.7	221.5	164.2
36	3.5	84.1	179.3	217.0	160.1

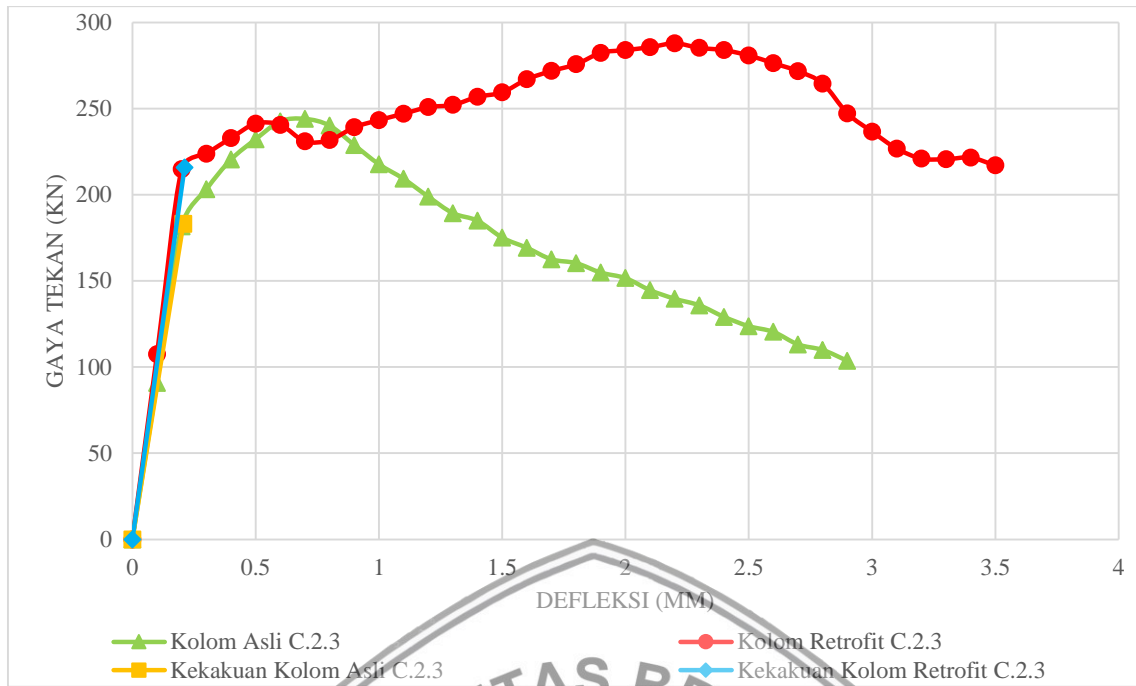




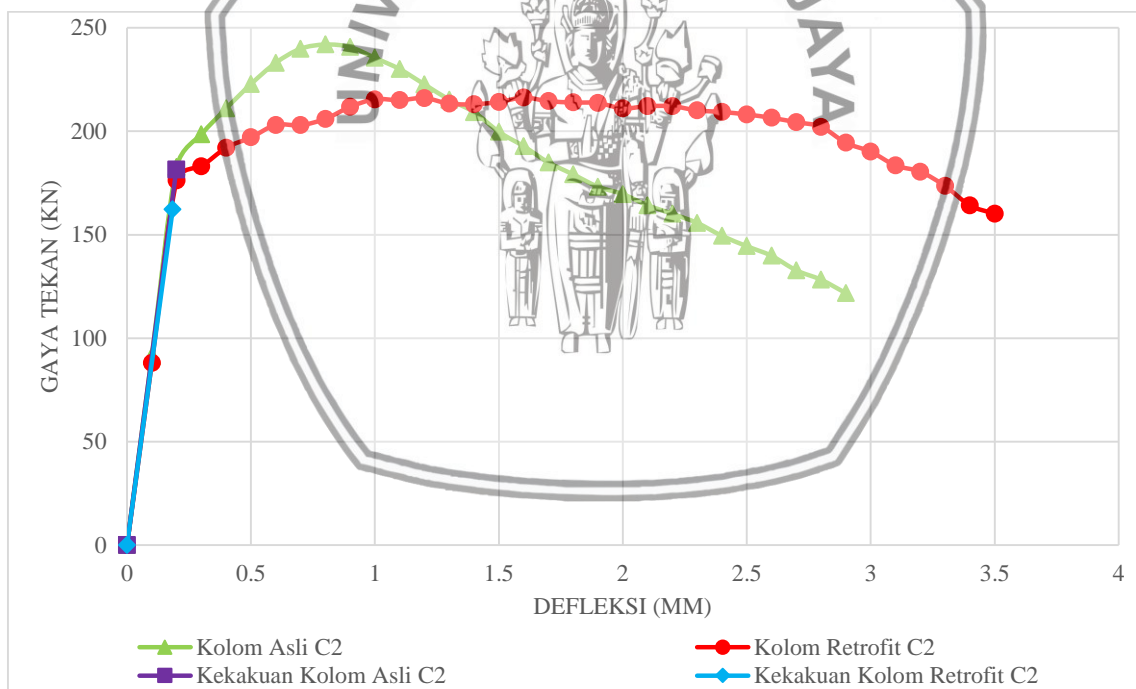
Gambar 4.11 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2.1 dengan kolom retrofit C.2.1



Gambar 4.12 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2.2 dengan kolom retrofit C.2.2



Gambar 4.13 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2.3 dengan kolom retrofit C.2.3



Gambar 4.14 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2 dengan kolom retrofit C.2

Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli C.2 dan kolom retrofit C.2 didapatkan dari rata – rata gabungan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit C.2.1, C.2.2 dan C.2.3. Sehingga dapat disimpulkan, pada kolom retrofit C.1 terjadi pemulihan awal setelah batas runtuh kolom asli C.2 dengan beban maksimum sebesar 216.3 kN. Beban



maksimum kolom *retrofit* C.2 lebih rendah dibandingkan beban maksimum kolom asli C.2 yang mempunyai nilai sebesar 241.93 kN. Apabila di persentasikan maka terjadi penurunan pada nilai beban puncak kolom *retrofit* C.2 sebesar 10.6 % dari nilai beban puncak kolom asli C.2.

Dari hasil analisis data pada kolom C.2 didapatkan pula nilai pada kekakuan kolom asli C.2 dan kolom *retrofit* C.2. Pada kolom asli C.2. didapatkan nilai kekakuan sebesar 913.5 kN/mm, sedangkan pada kolom *retrofit* C.2 didapatkan nilai kekakuan sebesar 881 kN/mm. Apabila dipersentasikan maka terjadi penurunan pada kekakuan kolom *retrofit* C.2 sebesar 3.56 % dari nilai kekakuan kolom asli C.2.

4.6.1.3 Kolom Asli D.1 – Kolom *Retrofit* D.1

Tabel 4. 16 Tabel data gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1

No	Defleksi mm	D.1.1	D.1.2	D.1.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0	0	0	0	0
2	0.1	94.40	100.55	85.95	93.63
3	0.2	188.80	201.10	171.90	187.27
4	0.3	204.20	219.10	181.10	201.47
5	0.4	222.30	231.40	192.70	215.47
6	0.5	232.30	243.10	200.50	225.30
7	0.6	242.00	253.10	209.20	234.77
8	0.7	250.00	264.10	215.00	243.03
9	0.8	254.90	267.30	217.70	246.63
10	0.9	255.80	269.70	224.80	250.10
11	1	255.30	267.50	225.30	249.37
12	1.1	252.00	263.40	227.80	247.73
13	1.2	248.90	256.00	229.60	244.83
14	1.3	244.70	249.50	225.40	239.87
15	1.4	241.10	239.70	221.70	234.17
16	1.5	236.80	235.80	217.50	230.03
17	1.6	230.90	233.80	209.60	224.77
18	1.7	224.90	232.90	200.70	219.50

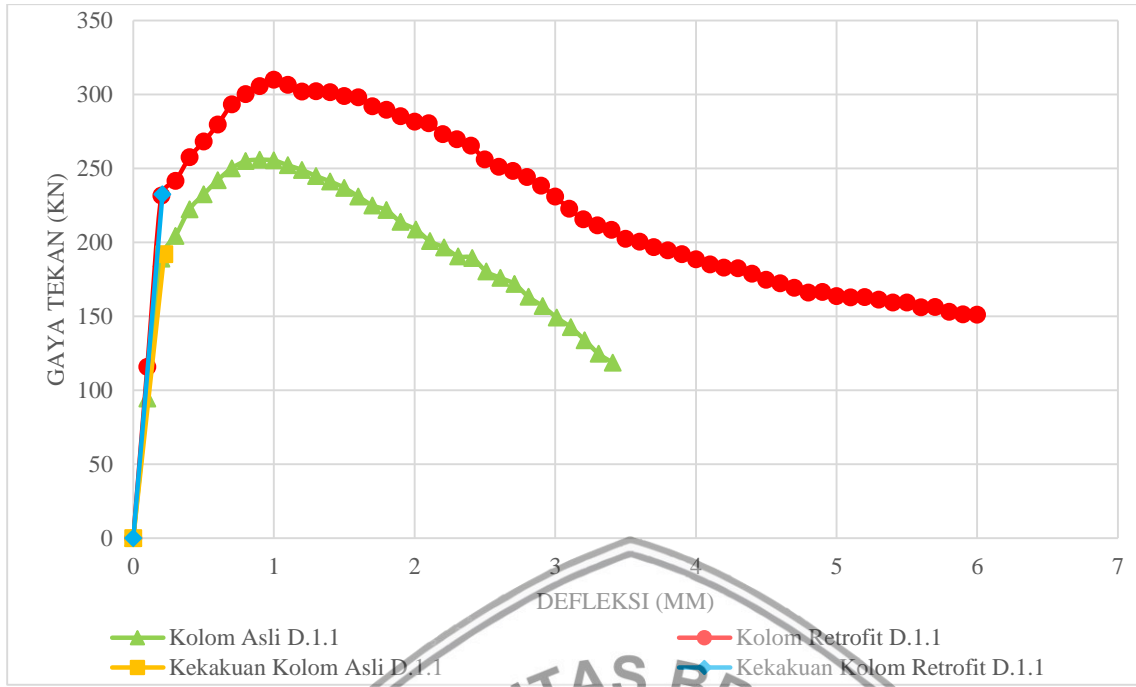
No	Defleksi mm	D.1.1	D.1.2	D.1.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
19	1.8	221.70	230.90	195.60	216.07
20	1.9	213.70	227.20	186.70	209.20
21	2	208.50	222.90	180.90	204.10
22	2.1	200.70	221.00	173.60	198.43
23	2.2	196.40	212.00	172.30	193.57
24	2.3	190.50	205.80	168.70	188.33
25	2.4	189.40	202.20	165.50	185.70
26	2.5	180.20	192.70	159.50	177.47
27	2.6	175.90	187.20	154.70	172.60
28	2.7	171.80	182.40	150.80	168.33
29	2.8	163.10	177.50	147.20	162.60
30	2.9	156.80	172.50	136.60	155.30
31	3	149.10	167.80	127.30	148.07
32	3.1	142.50	157.60	118.40	139.50
33	3.2	133.80	151.00	112.80	132.53
34	3.3	124.50	141.90	106.70	124.37
35	3.4	118.50	133.90	103.00	118.47

Tabel 4. 17 Tabel data gaya tekan dan defleksi kolom retrofit D.1

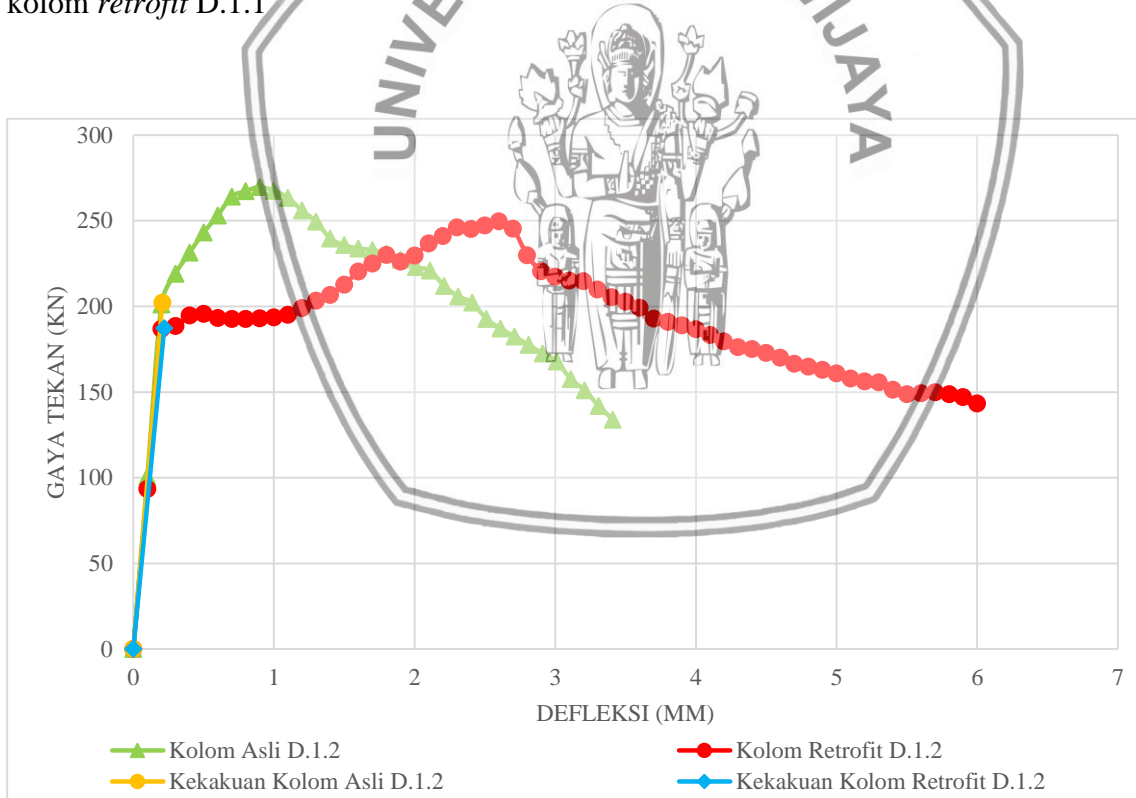
No	Defleksi mm	D.1.1	D.1.2	D.1.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0	0	0	0	0
2	0.1	115.8	93.5	82.2	97.2
3	0.2	231.6	187.0	164.4	194.3
4	0.3	241.5	188.7	170.2	200.1
5	0.4	257.4	194.7	174.7	208.9
6	0.5	268.0	195.7	181.6	215.1
7	0.6	279.6	193.2	183.8	218.9

No	Defleksi	D.1.1	D.1.2	D.1.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		mm	kN	kN	kN
8	0.7	293.1	192.8	184.5	223.5
9	0.8	300.1	192.8	189.2	227.4
10	0.9	305.5	193.0	192.6	230.4
11	1	309.8	193.6	199.3	234.2
12	1.1	306.3	195.1	203.2	234.9
13	1.2	301.8	199.1	208.7	236.5
14	1.3	302.1	203.3	214.4	239.9
15	1.4	301.4	206.8	219.1	242.4
16	1.5	298.9	212.8	220.2	244.0
17	1.6	298.0	220.3	215.5	244.6
18	1.7	291.8	225.0	205.9	240.9
19	1.8	289.6	230.1	194.0	237.9
20	1.9	285.1	226.1	180.1	230.4
21	2	281.6	229.8	176.8	229.4
22	2.1	280.4	236.8	175.4	230.9
23	2.2	273.1	241.1	174.0	229.4
24	2.3	269.7	246.1	169.3	228.4
25	2.4	265.3	245.3	162.9	224.5
26	2.5	256.0	247.2	157.2	220.1
27	2.6	251.0	249.8	153.7	218.2
28	2.7	248.1	245.4	147.4	213.6
29	2.8	244.0	229.9	143.6	205.8
30	2.9	238.2	220.6	139.7	199.5
31	3	230.9	217.3	136.4	194.9
32	3.1	222.6	215.1	134.8	190.8
33	3.2	215.5	214.7	133.5	187.9
34	3.3	211.3	209.9	132.0	184.4
35	3.4	208.3	205.4	127.9	180.5
36	3.5	202.3	202.9	124.2	176.5
37	3.6	200.4	199.3	122.5	174.1

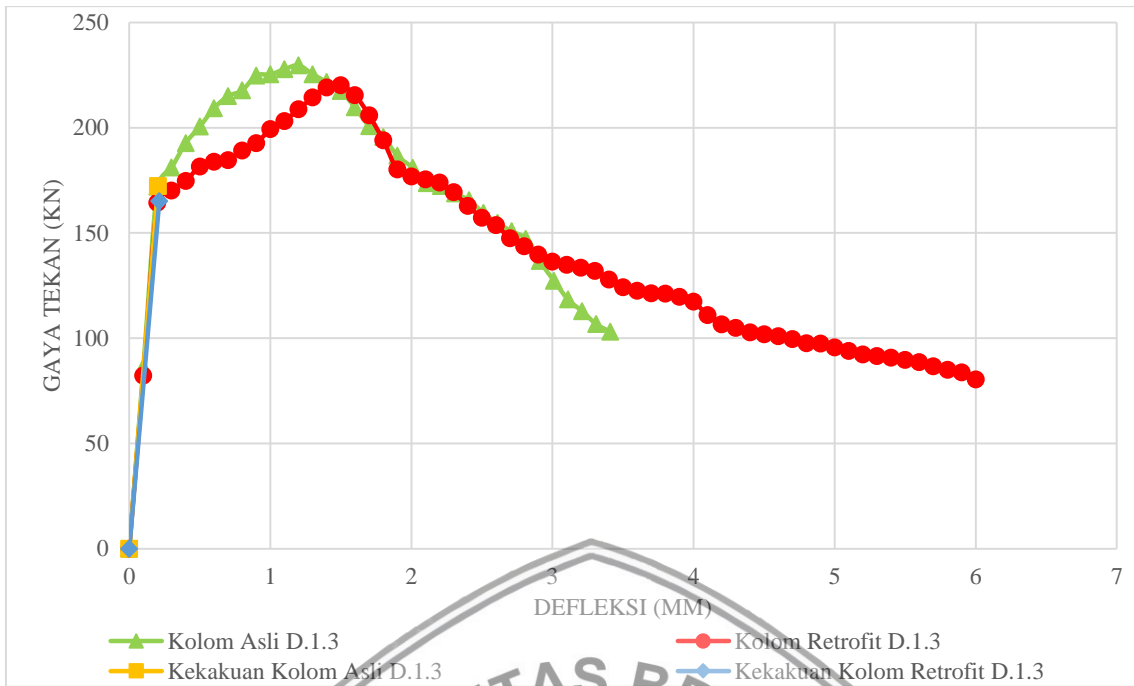
No	Defleksi	D.1.1	D.1.2	D.1.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		mm	kN	kN	kN
38	3.7	196.7	192.9	121.3	170.3
39	3.8	194.6	191.1	121.2	169.0
40	3.9	191.9	189.0	119.6	166.8
41	4	188.4	186.8	117.3	164.2
42	4.1	184.9	183.4	110.9	159.7
43	4.2	182.8	179.7	106.5	156.3
44	4.3	182.5	176.3	104.8	154.5
45	4.4	178.7	175.1	102.7	152.2
46	4.5	174.6	172.9	101.9	149.8
47	4.6	172.2	170.2	100.9	147.8
48	4.7	169.1	166.6	99.6	145.1
49	4.8	166.0	164.8	97.6	142.8
50	4.9	166.3	163.0	97.4	142.2
51	5	163.6	161.0	95.6	140.1
52	5.1	162.8	157.9	94.0	138.2
53	5.2	162.9	156.3	92.2	137.1
54	5.3	161.2	155.7	91.5	136.1
55	5.4	159.2	151.5	90.7	133.8
56	5.5	159.2	148.8	89.7	132.6
57	5.6	156.0	149.4	88.6	131.3
58	5.7	156.3	149.9	86.6	130.9
59	5.8	153.0	148.8	84.9	128.9
60	5.9	151.2	147.1	83.7	127.3
61	6	151.1	143.4	80.4	125.0



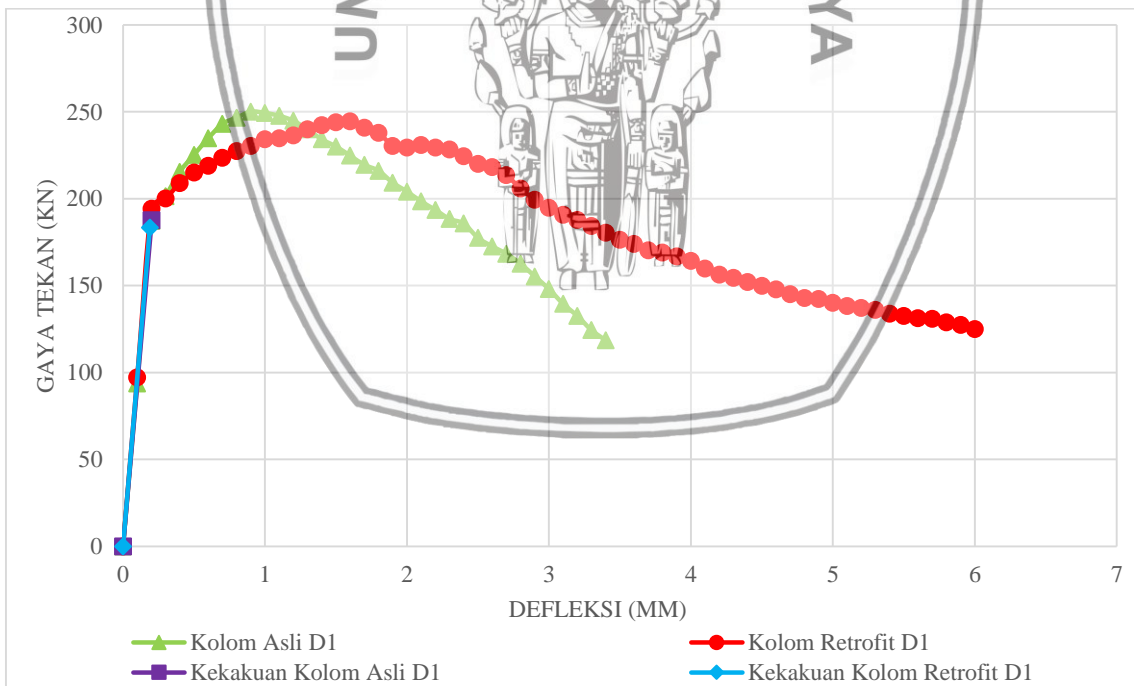
Gambar 4. 15 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.1 dengan kolom retrofit D.1.1



Gambar 4. 16 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.2 dengan kolom retrofit D.1.2



Gambar 4. 17 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.3 dengan kolom retrofit D.1.3



Gambar 4. 18 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1 dengan kolom retrofit D.1



Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli D.1 dan kolom *retrofit* D.1 didapatkan dari rata – rata gabungan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom *retrofit* D.1.1, D.1.2 dan D.1.3. Sehingga dapat disimpulkan, pada kolom *retrofit* D.1 terjadi pemulihan awal setelah batas runtuh kolom asli D.1 dengan beban maksimum sebesar 244.6 kN. Beban maksimum kolom *retrofit* D.1 lebih rendah dibandingkan beban maksimum kolom asli D.1 yang mempunyai nilai sebesar 250.1 kN. Apabila di persentasikan maka terjadi penurunan pada nilai beban puncak kolom *retrofit* D.1 sebesar 2.2% dari nilai beban puncak kolom asli D.1.

Dari hasil analisis data pada kolom D.1 didapatkan pula nilai pada kekakuan kolom asli D.1 dan kolom *retrofit* D.1. Pada kolom asli D.1. didapatkan nilai kekakuan sebesar 927.8 kN/mm, sedangkan pada kolom *retrofit* D.1 didapatkan nilai kekakuan sebesar 971.7 kN/mm. Apabila dipersentasikan maka terjadi peningkatan pada kekakuan kolom *retrofit* D.1 sebesar 4.73 % dari nilai kekakuan kolom asli D.1.

4.6.1.4 Kolom Asli D.2 – Kolom *Retrofit* D.2

Tabel 4. 18 Tabel data gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2

No	Defleksi mm	D.2.1	D.2.2	D.2.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0	0	0	0	0
2	0.1	83.0	79.1	89.3	83.8
3	0.2	165.9	158.2	178.6	167.6
4	0.3	178.2	169.6	198.4	182.1
5	0.4	195.5	184.8	215.9	198.7
6	0.5	205.2	195.5	229.7	210.1
7	0.6	216.9	202.7	238.8	219.5
8	0.7	222.4	210.1	218.9	217.1
9	0.8	224.2	209.0	200.1	211.1
10	0.9	220.4	208.8	193.0	207.4
11	1	218.4	208.8	185.0	204.1
12	1.1	215.1	192.3	180.1	195.8
13	1.2	204.2	134.0	175.3	171.2
14	1.3	195.0	130.2	170.3	165.2

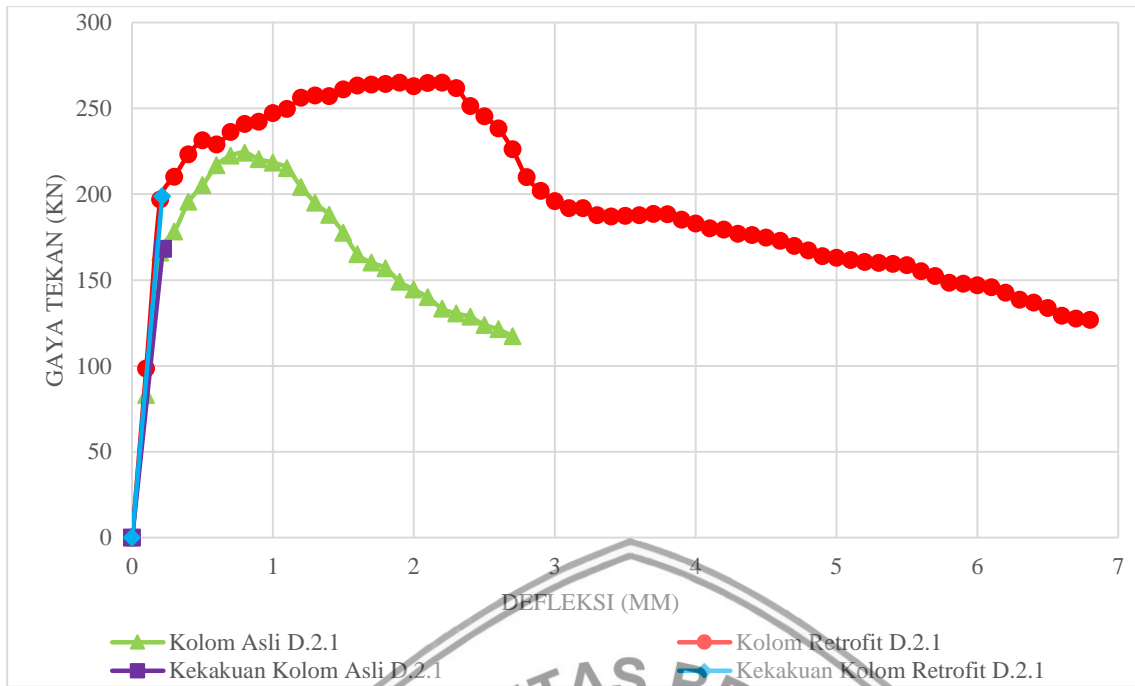
No	Defleksi mm	D.2.1	D.2.2	D.2.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
15	1.4	187.9	130.7	164.5	161.0
16	1.5	177.6	130.8	158.9	155.8
17	1.6	165.0	127.4	155.4	149.3
18	1.7	160.2	125.5	154.2	146.6
19	1.8	156.9	124.7	148.9	143.5
20	1.9	149.0	122.0	147.3	139.4
21	2	144.5	117.8	140.0	134.1
22	2.1	140.0	115.5	134.7	130.1
23	2.2	133.4	114.7	127.1	125.1
24	2.3	130.6	113.8	123.6	122.7
25	2.4	128.6	109.7	114.7	117.7
26	2.5	123.9	106.7	107.4	112.7
27	2.6	121.4	103.0	104.8	109.7
28	2.7	117.3	100.9	99.4	105.9

Tabel 4. 19 Tabel data gaya tekan dan defleksi kolom retrofit D.2

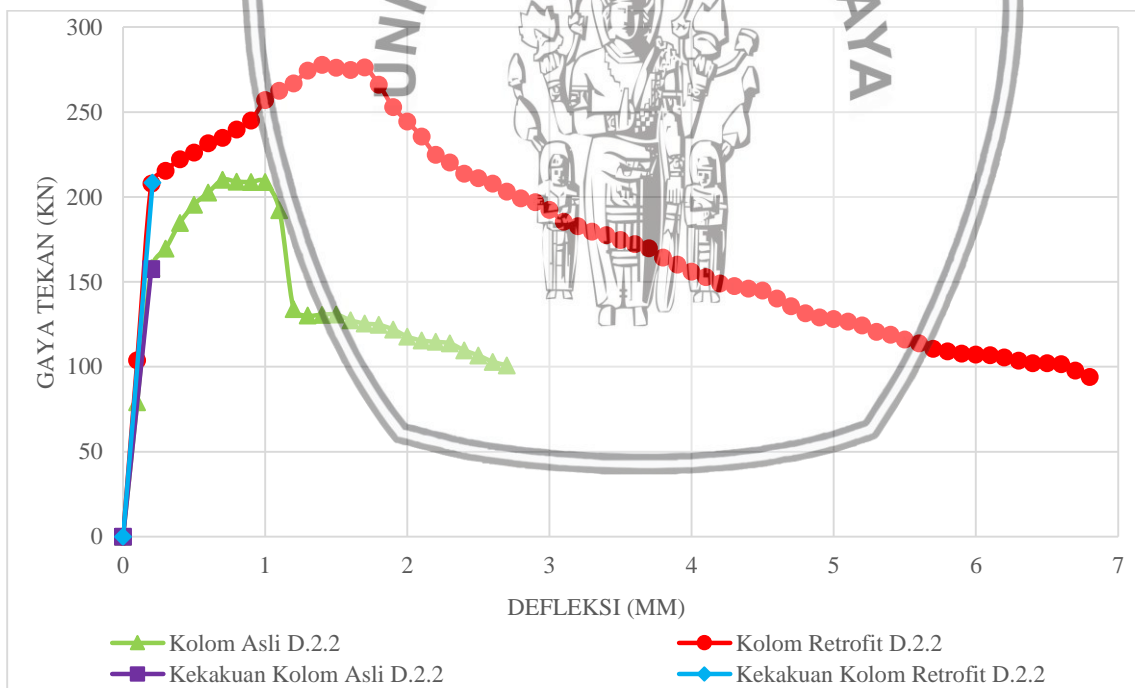
No	Defleksi mm	D.2.1	D.2.2	D.2.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0	0	0	0	0
2	0.1	98.5	103.9	77.6	93.3
3	0.2	196.9	207.8	155.2	186.6
4	0.3	210.2	215.5	157.6	194.4
5	0.4	223.1	222.3	162.0	202.5
6	0.5	231.3	226.1	169.0	208.8
7	0.6	229.0	231.6	175.5	212.0
8	0.7	236.2	234.8	181.1	217.4
9	0.8	240.8	239.7	186.8	222.4
10	0.9	242.2	245.1	191.6	226.3

No	Defleksi mm	D.2.1	D.2.2	D.2.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
11	1	247.3	257.0	197.9	234.1
12	1.1	249.7	262.5	199.8	237.3
13	1.2	256.1	266.9	205.6	242.9
14	1.3	257.5	274.4	207.4	246.4
15	1.4	257.1	277.9	206.5	247.2
16	1.5	261.1	276.2	204.8	247.4
17	1.6	263.2	274.7	202.3	246.7
18	1.7	263.9	276.3	203.8	248.0
19	1.8	264.2	266.2	206.2	245.5
20	1.9	264.9	252.9	202.4	240.1
21	2	262.9	244.4	199.2	235.5
22	2.1	264.8	235.5	196.8	232.4
23	2.2	264.9	224.8	195.2	228.3
24	2.3	261.8	220.4	197.4	226.5
25	2.4	251.4	213.8	193.1	219.4
26	2.5	245.4	211.0	185.8	214.1
27	2.6	238.3	207.9	183.9	210.0
28	2.7	226.1	203.1	182.5	203.9
29	2.8	209.9	199.2	179.2	196.1
30	2.9	201.9	197.0	172.1	190.3
31	3	196.0	192.4	166.1	184.8
32	3.1	191.9	185.4	162.6	180.0
33	3.2	191.8	182.8	156.3	177.0
34	3.3	187.8	179.6	143.1	170.2
35	3.4	187.1	177.5	141.8	168.8
36	3.5	187.4	174.7	142.0	168.0
37	3.6	187.7	172.2	142.0	167.3
38	3.7	188.6	169.8	140.8	166.4
39	3.8	188.4	164.3	142.6	165.1
40	3.9	185.2	160.2	144.1	163.2

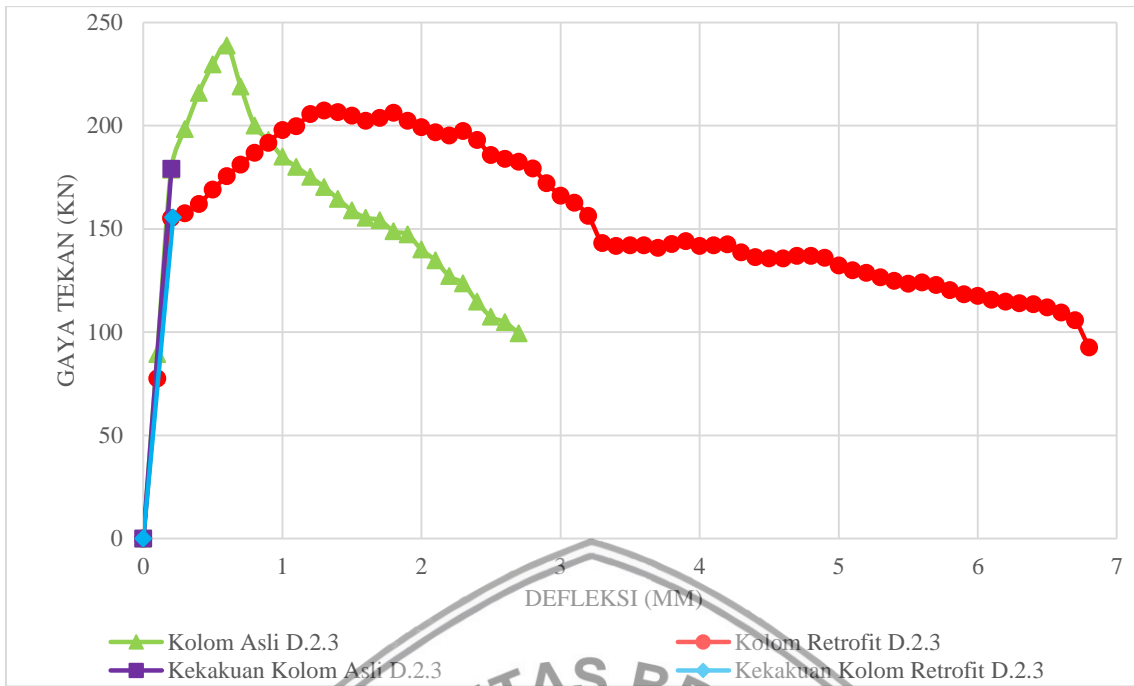
No	Defleksi	D.2.1	D.2.2	D.2.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		mm	kN	kN	kN
41	4	183.0	156.1	141.8	160.3
42	4.1	180.1	152.9	142.0	158.3
43	4.2	179.3	149.1	142.5	157.0
44	4.3	177.0	147.5	138.7	154.4
45	4.4	176.2	146.1	136.3	152.9
46	4.5	174.7	145.0	135.7	151.8
47	4.6	172.8	140.2	135.7	149.6
48	4.7	169.8	135.8	137.0	147.5
49	4.8	167.2	131.6	136.9	145.2
50	4.9	163.9	129.1	136.0	143.0
51	5	162.9	128.1	132.2	141.1
52	5.1	161.6	126.6	130.0	139.4
53	5.2	160.5	124.4	128.7	137.9
54	5.3	160.0	120.6	126.5	135.7
55	5.4	159.4	119.0	124.8	134.4
56	5.5	158.6	116.2	123.4	132.7
57	5.6	155.2	113.9	124.1	131.1
58	5.7	152.4	110.6	122.8	128.6
59	5.8	148.5	109.2	120.3	126.0
60	5.9	147.8	107.9	118.3	124.7
61	6	147.0	107.2	117.5	123.9
62	6.1	145.8	106.8	115.7	122.8
63	6.2	142.6	105.5	114.8	121.0
64	6.3	138.5	103.6	113.9	118.7
65	6.4	136.9	102.2	113.5	117.5
66	6.5	133.7	102.1	111.9	115.9
67	6.6	129.2	101.6	109.4	113.4
68	6.7	127.5	97.9	105.7	110.4
69	6.8	126.8	94.0	92.5	104.4



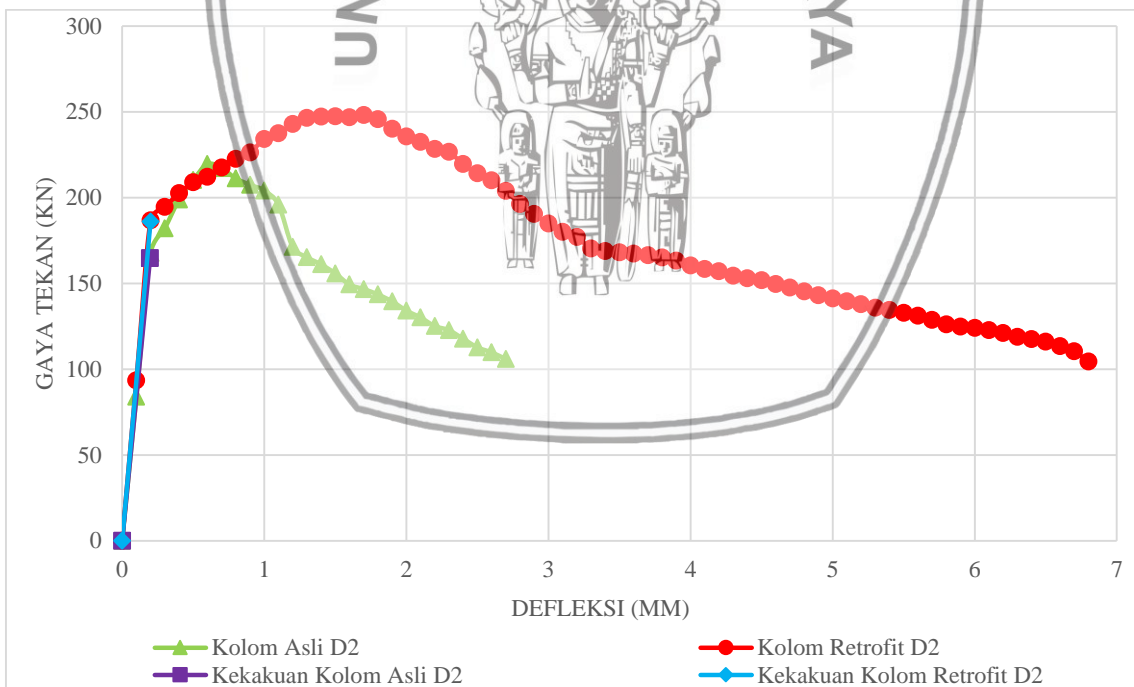
Gambar 4.19 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2.1 dengan kolom retrofit D.2.1



Gambar 4.20 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2.2 dengan kolom retrofit D.2.2



Gambar 4. 21 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2.3 dengan kolom retrofit D.2.3



Gambar 4. 22 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2 dengan kolom retrofit D.2



Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli D.2 dan kolom *retrofit* D.2 didapatkan dari rata – rata gabungan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom *retrofit* D.2.1, D.2.2 dan D.2.3. Sehingga dapat disimpulkan, pada kolom *retrofit* D.2 terjadi pemulihan awal setelah batas runtuh kolom asli D.2 dengan beban maksimum sebesar 244.6 kN. Beban maksimum kolom *retrofit* D.2 lebih besar dibandingkan beban maksimum kolom asli D.2 yang mempunyai nilai sebesar 219.47 kN. Apabila di persentasikan maka terjadi peningkatan pada nilai beban puncak kolom *retrofit* D.2 sebesar 13 % dari nilai beban puncak kolom asli D.2.

Dari hasil analisis data pada kolom D.2 didapatkan pula nilai pada kekakuan kolom asli D.2 dan kolom *retrofit* D.2. Pada kolom asli D.2, didapatkan nilai kekakuan sebesar 837.8 kN/mm, sedangkan pada kolom *retrofit* D.2 didapatkan nilai kekakuan sebesar 933.2 kN/mm. Apabila dipersentasikan maka terjadi peningkatan pada kekakuan kolom *retrofit* D.2 sebesar 11.38 % dari nilai kekakuan kolom asli D.2.

4.6.2 Pembahasan Mengenai Tegangan dan Regangan Kolom Asli dengan Kolom *Retrofit*

Pembahasan mengenai hubungan tegangan dan regangan antara kolom asli dengan kolom *retrofit* bertujuan untuk mengetahui nilai modulus elastisitas suatu benda, karena semakin besar nilai modulus elastisitas suatu benda, maka benda akan semakin kaku. Namun apabila nilai modulus elastisitas suatu benda kecil, maka benda tersebut akan mudah elastis. Nilai modulus elastisitas didapatkan dari rumus :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas (kN/mm²)

σ = Tegangan (kN/mm²)

ε = Regangan

Pada analisis data untuk mencari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom *retrofit*, nilai tegangan didapat dari 75 % dari nilai gaya tekan maksimum dibagi dengan luas penampang kolom dan nilai regangan diambil dari nilai defleksi dari 75 % gaya tekan maksimum dibagi dengan panjang mula – mula kolom yakni 300 mm. Untuk tabel hasil rata – rata modulus elastisitas hasil uji tekan kolom asli dan kolom *retrofit* didapatkan dari rata – rata data gaya tekan per sampel kolom asli dan kolom *retrofit* dengan asumsi pembacaan defleksi per sampel kolom asli dan kolom *retrofit* harus senilai.

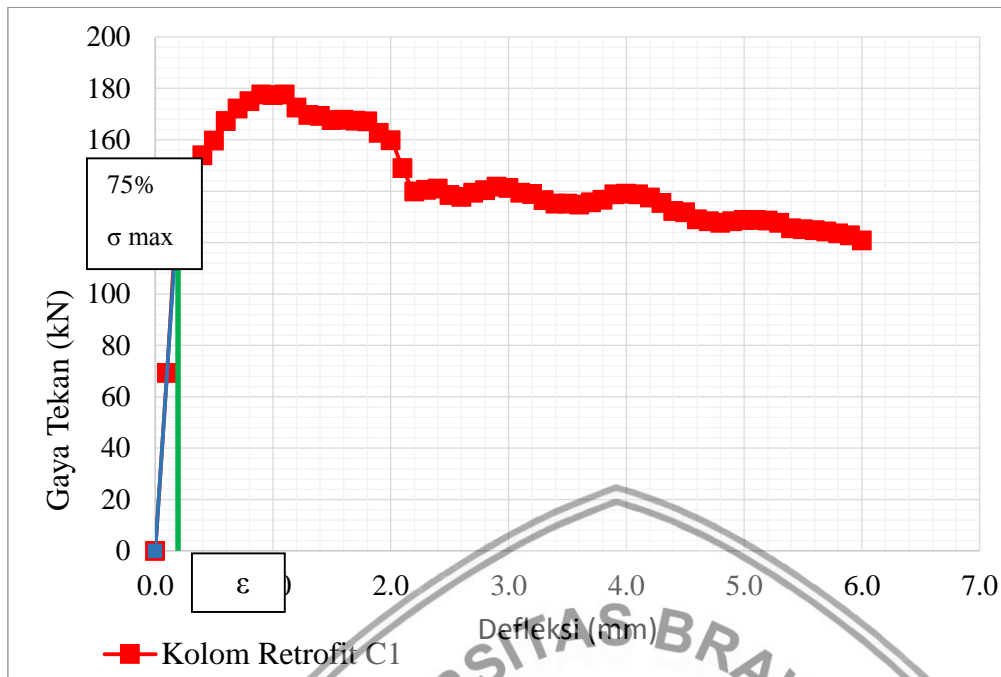
Tabel 4. 20 Tabel pengolahan data tegangan, regangan, dan modulus secant hasil uji tekan kolom asli dan kolom *retrofit*

Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		75% Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		Regangan		Modulus Elastisitas (kN/mm ²)		
	Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>	
	C1	C.1.1	0.0173	0.0078	0.0130	0.0059	0.0007	0.0007	19.1
	C.1.2	0.0162	0.0043	0.0122	0.0032	0.0007	0.0007	17.5	4.6
	C.1.3	0.0184	0.0050	0.0138	0.0037	0.0007	0.0007	19.3	5.4
C2	C.2.1	0.0184	0.0055	0.0138	0.0042	0.0008	0.0007	17.9	6.1
	C.2.2	0.0162	0.0074	0.0121	0.0056	0.0007	0.0007	16.3	7.7
	C.2.3	0.0169	0.0089	0.0127	0.0067	0.0007	0.0007	18.5	9.4
D1	D.1.1	0.0178	0.0096	0.0133	0.0072	0.0007	0.0007	18.2	10.4
	D.1.2	0.0187	0.0077	0.0140	0.0058	0.0007	0.0007	20.4	7.9
	D.1.3	0.0159	0.0068	0.0120	0.0051	0.0007	0.0007	17.6	7.2
	D.2.1	0.0156	0.0082	0.0117	0.0061	0.0007	0.0007	16.0	8.6
D2	D.2.2	0.0146	0.0086	0.0109	0.0064	0.0007	0.0007	16.5	9.3
	D.2.3	0.0166	0.0064	0.0124	0.0048	0.0007	0.0007	18.4	6.7

Tabel 4. 21 Tabel data rata –rata tegangan, regangan, dan modulus secant hasil uji tekan kolom asli dan kolom *retrofit*

NO	Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		75% Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		Regangan		Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	
		Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>
		1	C1	0.0173	0.0055	0.0130	0.0041	0.0007	0.0006
2	C2	0.0168	0.0067	0.0126	0.0050	0.0007	0.0006	19.0	8.2
1	D1	0.0174	0.0075	0.0130	0.0057	0.0007	0.0006	19.3	9.0
2	D2	0.0152	0.0077	0.0114	0.0057	0.0007	0.0007	17.5	8.6

Contoh perhitungan modulus elastisitas secant kolom (E) (Kolom *retrofit* C.1) :



Dik :

$$\sigma_{\max} = 0.0055$$

$$75\% \sigma_{\max} = 75\% \times 0.0055 = 0.0041 \text{ kN/mm}^2$$

Dari tabel 4.25 diperoleh data :

$$\sigma_1 = 0.0021 \text{ kN/mm}^2 \quad \varepsilon_1 = 0.0003$$

$$\sigma_2 = 0.0043 \text{ kN/mm}^2 \quad \varepsilon_2 = 0.0007$$

$$75\% \sigma_{\max} (\sigma) = 0.0041 \text{ kN/mm}^2 \quad \varepsilon = \varepsilon_1 + \frac{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \cdot (\sigma - \sigma_1)}{(\sigma_2 - \sigma_1)}$$

$$\varepsilon = 0.0003 + \frac{(0.0007 - 0.0003) \cdot (0.0041 - 0.0021)}{(0.0043 - 0.0021)}$$

$$\varepsilon = 0.0006$$

Dit : E ?

Jawab :

$$E = \frac{75\% \sigma_{\max}}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{0.0041 \text{ kN/mm}^2}{0.0006}$$

$$E = 6.4 \text{ kN/mm}^2$$

Modulus tangen adalah kemiringan garis singgung dari suatu titik pada kurva tegangan regangan. Modulus tangen merupakan suatu pendekatan terhadap kekakuan struktur pada saat beton masih belum mengalami retak atau masih dalam kondisi bagus.

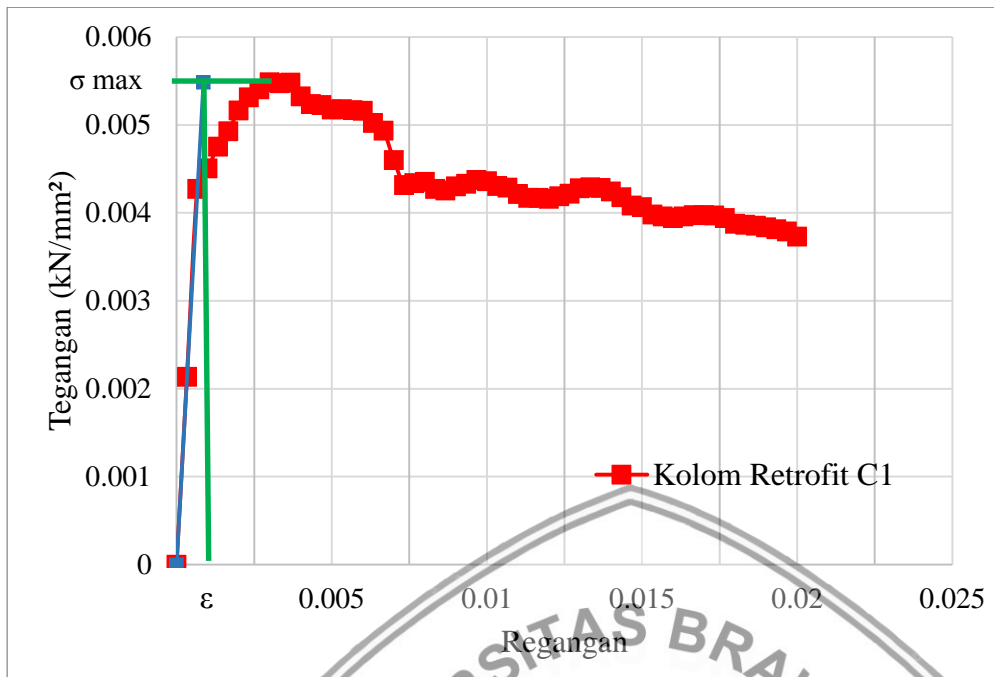
Tabel 4. 22 Tabel pengolahan data tegangan, regangan, dan modulus tangen hasil uji tekan kolom asli dan kolom *retrofit*

NO	Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		Regangan		Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	
		Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>
1	C.1.1	0.01733	0.00785	0.00087	0.00087	20.0	9.1
2	C1 C.1.2	0.01622	0.00426	0.00090	0.00087	18.0	4.9
3	C.1.3	0.01843	0.00499	0.00090	0.00087	20.5	5.8
4	C.2.1	0.01842	0.00555	0.00087	0.00090	21.3	6.2
5	C2 C.2.2	0.01618	0.00743	0.00090	0.00087	18.0	8.6
6	C.2.3	0.01694	0.00888	0.00090	0.00077	18.8	11.6
7	D.1.1	0.01776	0.00956	0.00087	0.00080	20.5	12.0
8	D1 D.1.2	0.01873	0.00771	0.00090	0.00083	20.8	9.3
9	D.1.3	0.01594	0.00680	0.00090	0.00083	17.7	8.2
10	D.2.1	0.01557	0.00818	0.00090	0.00087	17.3	9.4
11	D2 D.2.2	0.01459	0.00858	0.00090	0.00087	16.2	9.9
12	D.2.3	0.01658	0.00640	0.00090	0.00087	18.4	7.4

Tabel 4. 23 Tabel data rata-rata tegangan, regangan, dan modulus tangen hasil uji tekan kolom asli dan kolom *retrofit*

NO	Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		Regangan		Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	
		Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>	Asli	<i>Retrofit</i>
1	C1	0.01728	0.00548	0.00086	0.00086	19.9	6.3
2	C2	0.01680	0.00667	0.00076	0.00080	21.9	8.3
1	D1	0.01736	0.00754	0.00080	0.00083	21.7	9.1
2	D2	0.01524	0.00765	0.00086	0.00086	17.6	8.8

Contoh perhitungan modulus elastisitas tangen kolom (E) (Kolom *retrofit* C.1) :



Dik :

$$\sigma_{max} = 0.00548$$

$$\epsilon = 0.00086$$

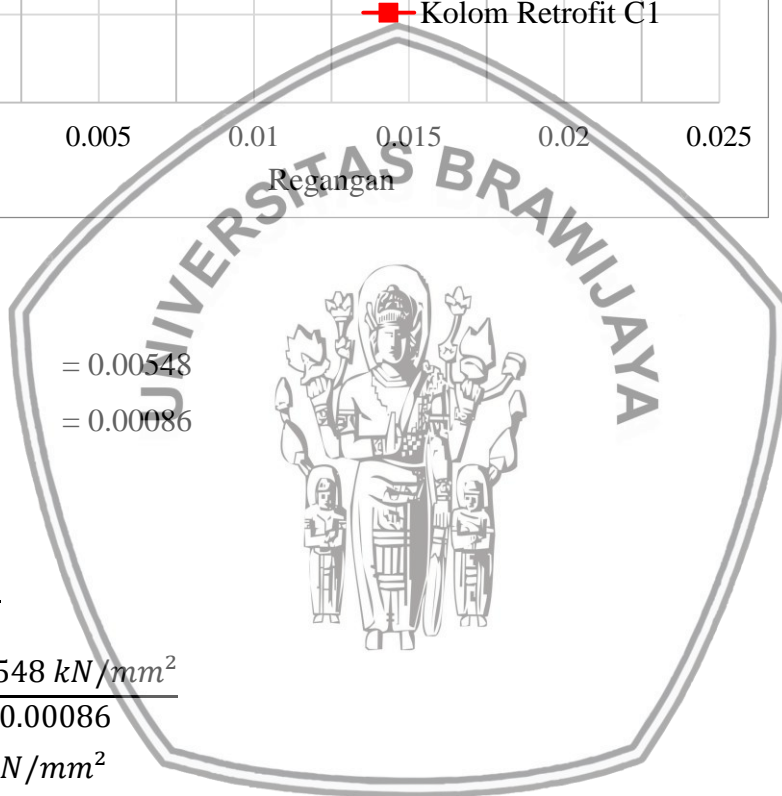
Dit : E ?

Jawab :

$$E = \frac{\sigma_{max}}{\epsilon}$$

$$E = \frac{0.00548 \text{ kN/mm}^2}{0.00086}$$

$$E = 6.3 \text{ kN/mm}^2$$



Untuk analisis modulus elastisitas berikutnya digunakan metode secant, karena metode secant dianggap lebih relevan karena metode ini lebih mewakili kondisi beton seutuhnya.

4.6.2.1 Kolom Asli C.1 – Kolom *Retrofit* C.1

Tabel 4. 24 Tabel data tegangan dan regangan kolom asli C.1

No	Regangan	C.1.1	C.1.2	C.1.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
1	0	0	0	0	0
2	0.0003	0.0065	0.0060	0.0068	0.0064
3	0.0007	0.0130	0.0121	0.0137	0.0129
4	0.0010	0.0142	0.0130	0.0147	0.0140
5	0.0013	0.0150	0.0140	0.0156	0.0149
6	0.0017	0.0161	0.0148	0.0164	0.0157
7	0.0020	0.0167	0.0155	0.0174	0.0165
8	0.0023	0.0169	0.0159	0.0178	0.0169
9	0.0027	0.0173	0.0162	0.0181	0.0172
10	0.0030	0.0173	0.0162	0.0183	0.0173
11	0.0033	0.0172	0.0161	0.0184	0.0172
12	0.0037	0.0169	0.0160	0.0183	0.0171
13	0.0040	0.0167	0.0151	0.0180	0.0166
14	0.0043	0.0161	0.0143	0.0178	0.0161
15	0.0047	0.0157	0.0138	0.0175	0.0157
16	0.0050	0.0152	0.0134	0.0170	0.0152
17	0.0053	0.0151	0.0133	0.0170	0.0151
18	0.0057	0.0145	0.0132	0.0165	0.0148
19	0.0060	0.0143	0.0127	0.0159	0.0143
20	0.0063	0.0136	0.0127	0.0158	0.0140
21	0.0067	0.0125	0.0120	0.0153	0.0133
22	0.0070	0.0120	0.0116	0.0151	0.0129
23	0.0073	0.0114	0.0114	0.0145	0.0124
24	0.0077	0.0110	0.0106	0.0143	0.0119
25	0.0080	0.0104	0.0102	0.0136	0.0114

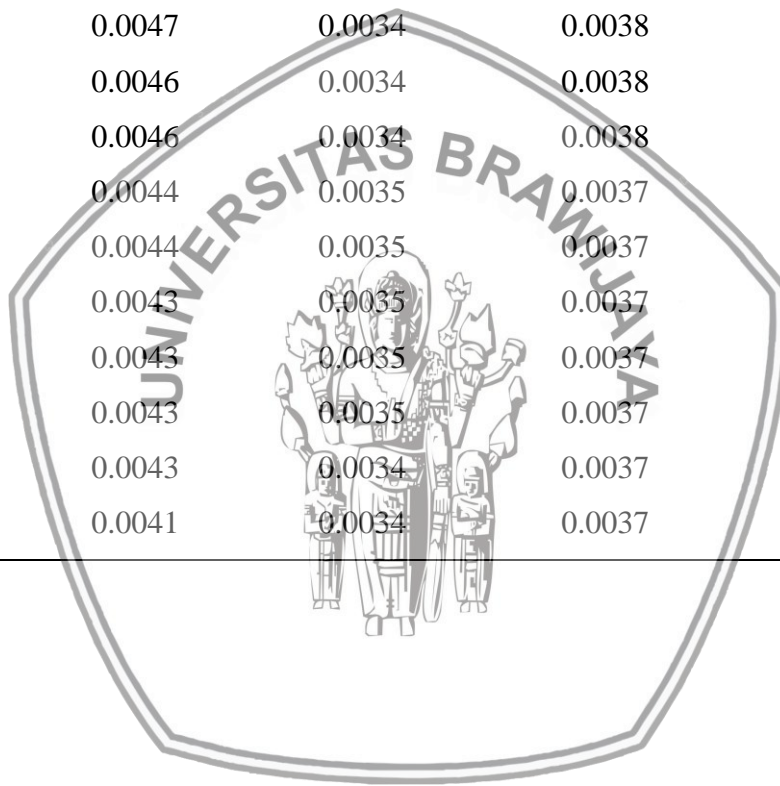
No	Regangan	C.1.1	C.1.2	C.1.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
26	0.0083	0.0101	0.0099	0.0133	0.0111
27	0.0087	0.0097	0.0094	0.0128	0.0106
28	0.0090	0.0092	0.0090	0.0121	0.0101
29	0.0093	0.0086	0.0088	0.0115	0.0096
30	0.0097	0.0083	0.0085	0.0111	0.0093
31	0.0100	0.0080	0.0080	0.0103	0.0088
32	0.0103	0.0075	0.0077	0.0098	0.0083
33	0.0107	0.0072	0.0074	0.0093	0.0080

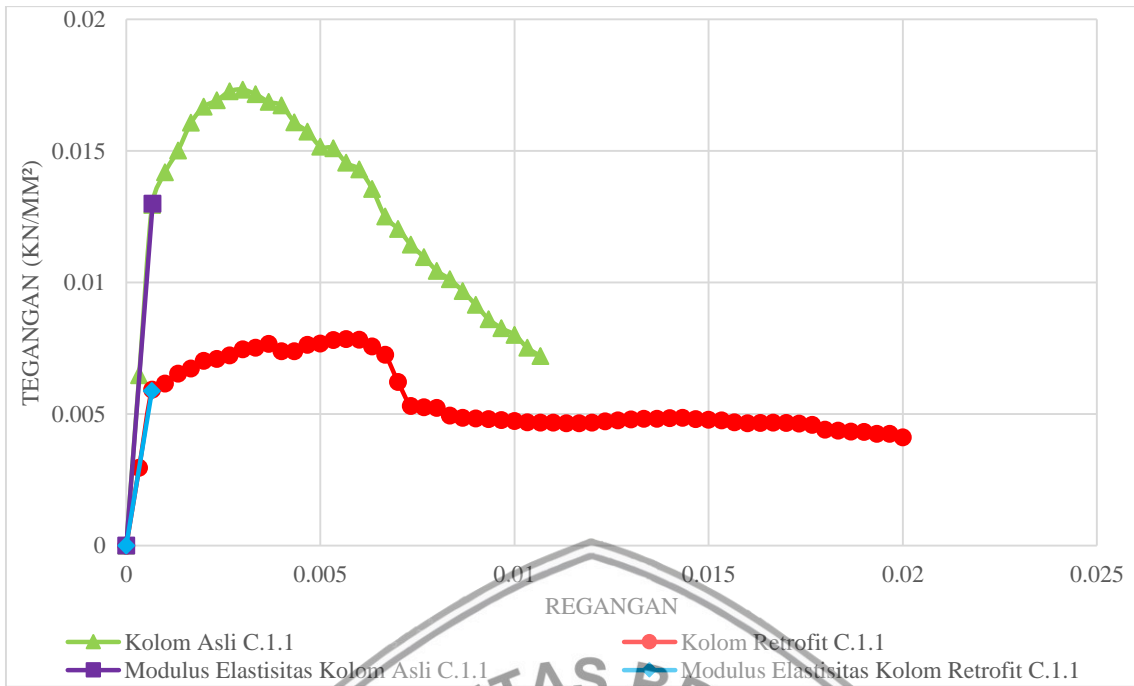
Tabel 4. 25 Tabel data tegangan dan regangan kolom *retrofit* C.1

No	Regangan	C.1.1	C.1.2	C.1.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
1	0	0	0	0	0
2	0.0003	0.0030	0.0016	0.0019	0.0021
3	0.0007	0.0059	0.0032	0.0037	0.0043
4	0.0010	0.0062	0.0035	0.0039	0.0045
5	0.0013	0.0065	0.0036	0.0041	0.0048
6	0.0017	0.0067	0.0038	0.0042	0.0049
7	0.0020	0.0070	0.0041	0.0044	0.0052
8	0.0023	0.0071	0.0043	0.0046	0.0053
9	0.0027	0.0072	0.0043	0.0047	0.0054
10	0.0030	0.0075	0.0041	0.0049	0.0055
11	0.0033	0.0075	0.0040	0.0049	0.0055
12	0.0037	0.0077	0.0039	0.0049	0.0055
13	0.0040	0.0074	0.0038	0.0048	0.0053
14	0.0043	0.0074	0.0038	0.0045	0.0052
15	0.0047	0.0076	0.0037	0.0044	0.0052

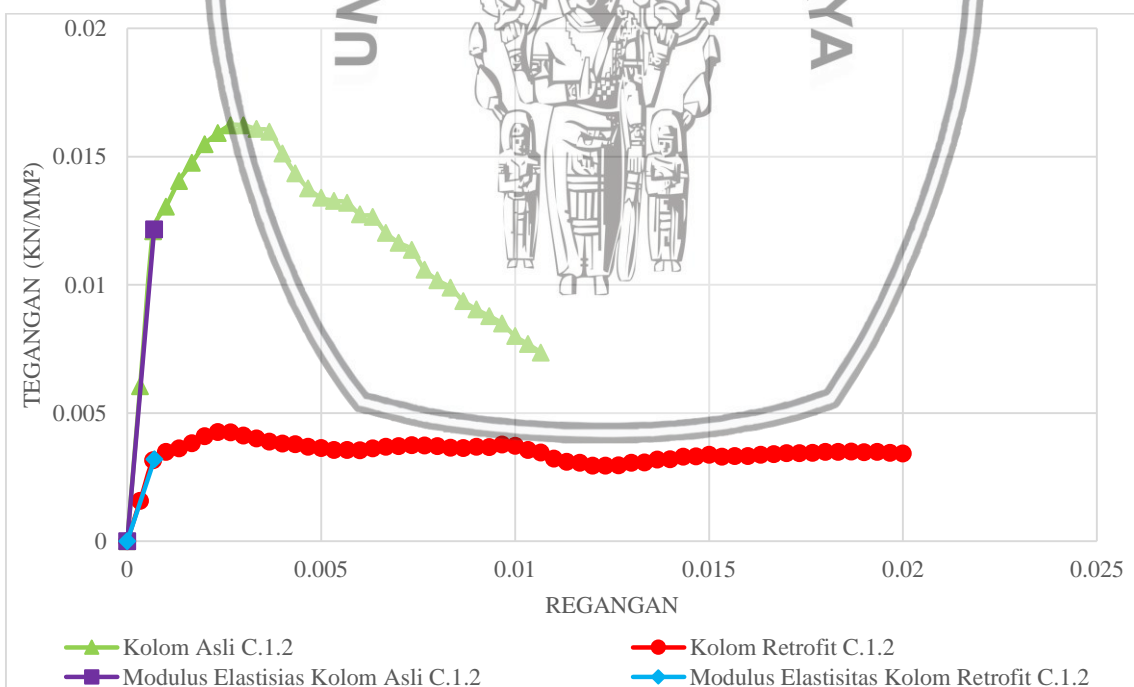
No	Regangan	C.1.1	C.1.2	C.1.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
16	0.0050	0.0077	0.0036	0.0042	0.0052
17	0.0053	0.0078	0.0036	0.0042	0.0052
18	0.0057	0.0078	0.0036	0.0041	0.0052
19	0.0060	0.0078	0.0035	0.0041	0.0052
20	0.0063	0.0076	0.0036	0.0039	0.0050
21	0.0067	0.0073	0.0037	0.0039	0.0049
22	0.0070	0.0062	0.0037	0.0039	0.0046
23	0.0073	0.0053	0.0037	0.0039	0.0043
24	0.0077	0.0053	0.0037	0.0040	0.0043
25	0.0080	0.0052	0.0037	0.0041	0.0044
26	0.0083	0.0049	0.0036	0.0042	0.0043
27	0.0087	0.0049	0.0036	0.0043	0.0043
28	0.0090	0.0048	0.0037	0.0044	0.0043
29	0.0093	0.0048	0.0037	0.0045	0.0043
30	0.0097	0.0048	0.0038	0.0046	0.0044
31	0.0100	0.0047	0.0037	0.0046	0.0044
32	0.0103	0.0047	0.0036	0.0047	0.0043
33	0.0107	0.0047	0.0035	0.0047	0.0043
34	0.0110	0.0047	0.0032	0.0048	0.0042
35	0.0113	0.0046	0.0031	0.0048	0.0042
36	0.0117	0.0047	0.0031	0.0048	0.0042
37	0.0120	0.0047	0.0030	0.0049	0.0042
38	0.0123	0.0047	0.0029	0.0049	0.0042
39	0.0127	0.0048	0.0030	0.0049	0.0042
40	0.0130	0.0048	0.0031	0.0050	0.0043
41	0.0133	0.0048	0.0031	0.0050	0.0043
42	0.0137	0.0048	0.0032	0.0048	0.0043
43	0.0140	0.0048	0.0032	0.0047	0.0042
44	0.0143	0.0049	0.0033	0.0044	0.0042
45	0.0147	0.0048	0.0033	0.0041	0.0041

No	Regangan	C.1.1	C.1.2	C.1.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
46	0.0150	0.0048	0.0034	0.0040	0.0041
47	0.0153	0.0048	0.0033	0.0039	0.0040
48	0.0157	0.0047	0.0033	0.0039	0.0040
49	0.0160	0.0047	0.0033	0.0039	0.0039
50	0.0163	0.0047	0.0034	0.0038	0.0040
51	0.0167	0.0047	0.0034	0.0038	0.0040
52	0.0170	0.0047	0.0034	0.0038	0.0040
53	0.0173	0.0046	0.0034	0.0038	0.0040
54	0.0177	0.0046	0.0034	0.0038	0.0039
55	0.0180	0.0044	0.0035	0.0037	0.0039
56	0.0183	0.0044	0.0035	0.0037	0.0039
57	0.0187	0.0043	0.0035	0.0037	0.0039
58	0.0190	0.0043	0.0035	0.0037	0.0038
59	0.0193	0.0043	0.0035	0.0037	0.0038
60	0.0197	0.0043	0.0034	0.0037	0.0038
61	0.0200	0.0041	0.0034	0.0037	0.0037



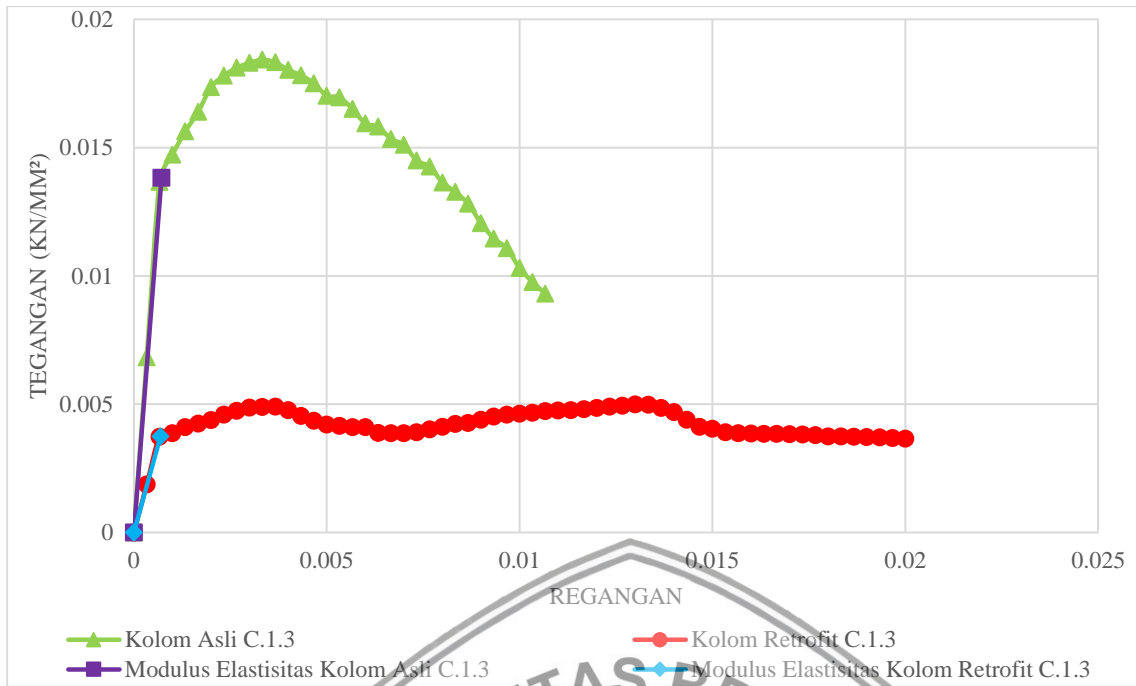


Gambar 4.23 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.1 dengan kolom retrofit C.1.1

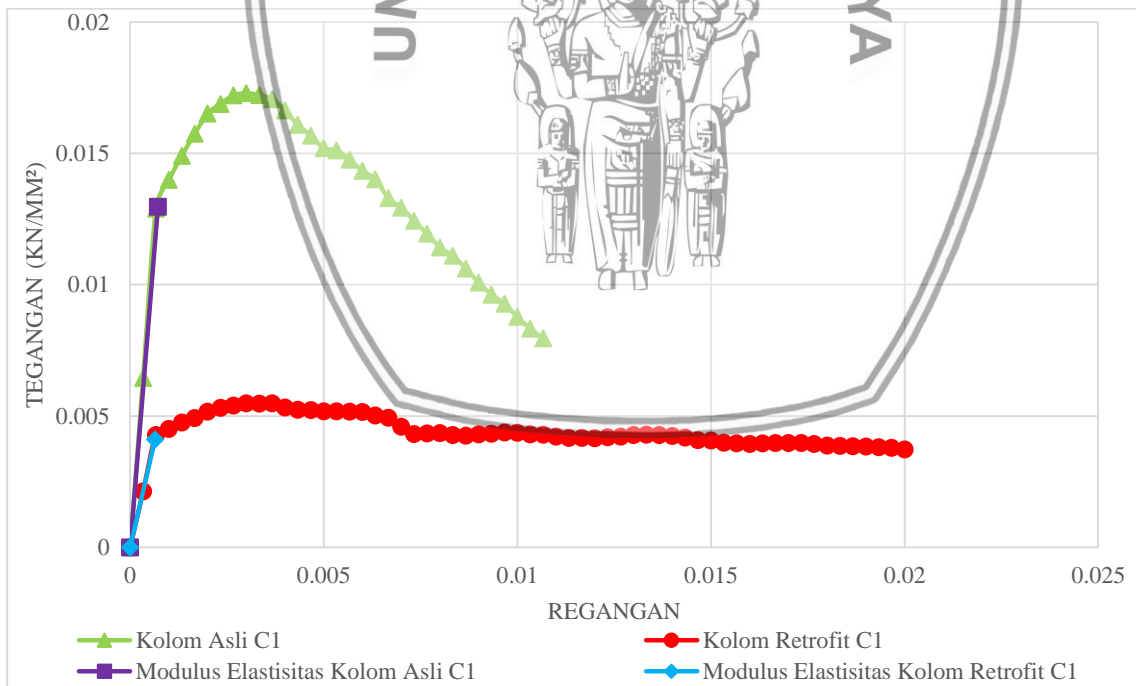


Gambar 4.24 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.2 dengan kolom retrofit C.1.2





Gambar 4.25 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.3 dengan kolom retrofit C.1.3



Gambar 4.26 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1

Nilai modulus elastisitas pada kolom asli C.1 dan kolom *retrofit* C.1 didapatkan dari rata – rata gabungan dari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom *retrofit* C.1.1, C.1.2 dan C.1.3. Nilai modulus elastisitas secant kolom asli C.1 sebesar 18.1 kN/mm², sedangkan nilai modulus elastisitas secant kolom *retrofit* C.1 sebesar 6.4 kN/mm². Apabila dipersentasikan maka terjadi penurunan modulus elastisitas secant pada kolom *retrofit* C.1 sebesar 97.39 % dari nilai modulus elastisitas secant kolom asli C.1.

4.6.2.2 Kolom Asli C.2 – Kolom *Retrofit* C.2

Tabel 4. 26 Tabel data tegangan dan regangan kolom asli C.2

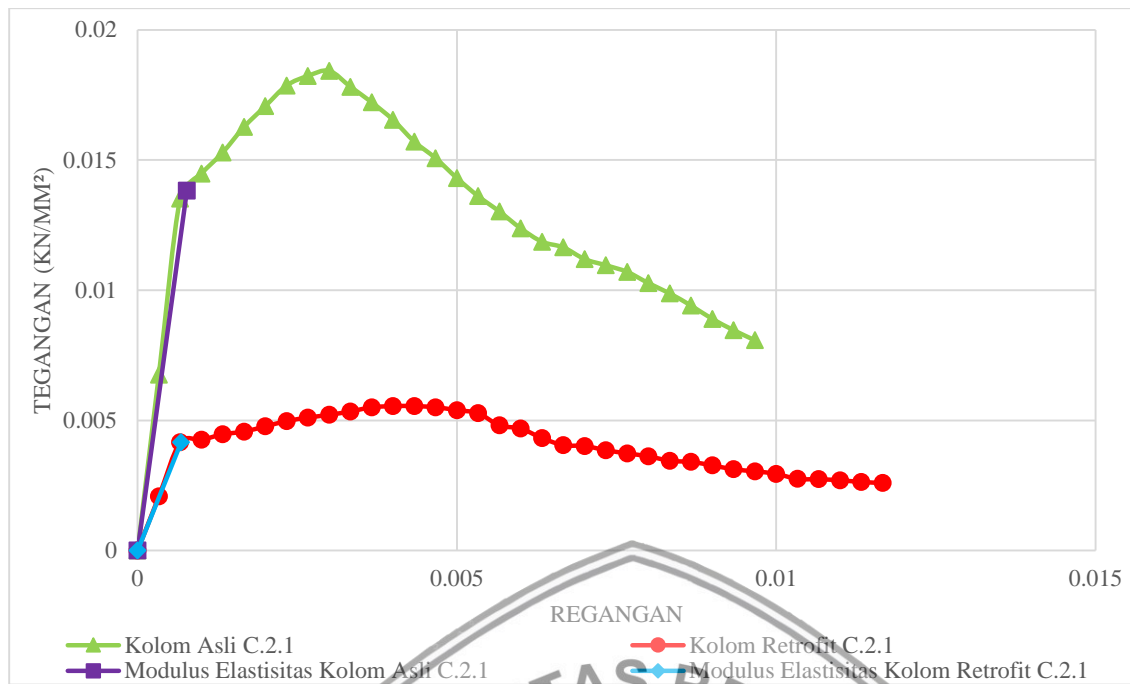
No	Regangan	C.2.1	C.2.2	C.2.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
1	0	0	0	0	0
2	0.0003	0.0068	0.0060	0.0063	0.0063
3	0.0007	0.0135	0.0119	0.0126	0.0127
4	0.0010	0.0145	0.0128	0.0141	0.0138
5	0.0013	0.0153	0.0134	0.0153	0.0147
6	0.0017	0.0163	0.0140	0.0161	0.0155
7	0.0020	0.0171	0.0146	0.0168	0.0162
8	0.0023	0.0179	0.0152	0.0169	0.0167
9	0.0027	0.0182	0.0155	0.0167	0.0168
10	0.0030	0.0184	0.0158	0.0159	0.0167
11	0.0033	0.0178	0.0161	0.0151	0.0164
12	0.0037	0.0172	0.0162	0.0145	0.0160
13	0.0040	0.0165	0.0160	0.0138	0.0155
14	0.0043	0.0157	0.0160	0.0131	0.0149
15	0.0047	0.0151	0.0157	0.0128	0.0145
16	0.0050	0.0143	0.0151	0.0122	0.0139
17	0.0053	0.0136	0.0148	0.0118	0.0134
18	0.0057	0.0130	0.0142	0.0113	0.0128
19	0.0060	0.0124	0.0138	0.0111	0.0124
20	0.0063	0.0119	0.0135	0.0108	0.0120
21	0.0067	0.0116	0.0132	0.0105	0.0118

No	Regangan	C.2.1	C.2.2	C.2.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
22	0.0070	0.0112	0.0130	0.0100	0.0114
23	0.0073	0.0110	0.0127	0.0097	0.0111
24	0.0077	0.0107	0.0123	0.0094	0.0108
25	0.0080	0.0103	0.0119	0.0090	0.0104
26	0.0083	0.0099	0.0116	0.0086	0.0100
27	0.0087	0.0094	0.0114	0.0084	0.0097
28	0.0090	0.0089	0.0109	0.0079	0.0092
29	0.0093	0.0085	0.0106	0.0076	0.0089
30	0.0097	0.0081	0.0101	0.0072	0.0085

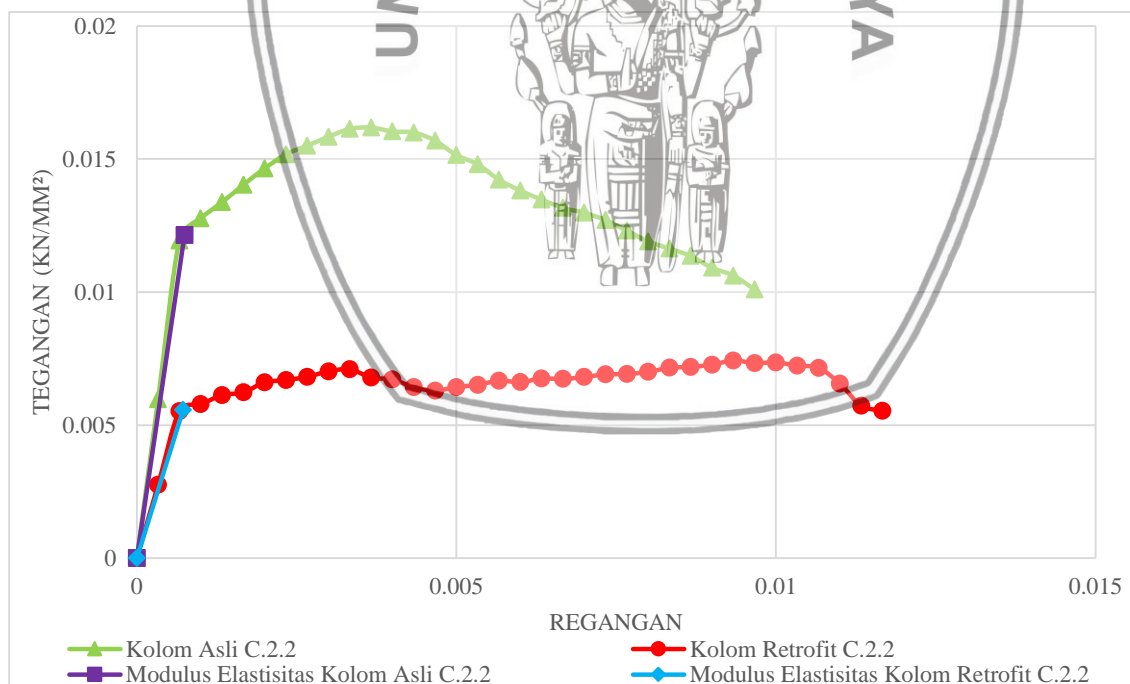
Tabel 4. 27 Tabel data tegangan dan regangan kolom *retrofit* C.2

No	Regangan	C.2.1	C.2.2	C.2.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
1	0	0	0	0	0
2	0.00033	0.00208	0.00276	0.00331	0.00272
3	0.00067	0.00416	0.00553	0.00663	0.00544
4	0.00100	0.00426	0.00578	0.00691	0.00565
5	0.00133	0.00447	0.00613	0.00719	0.00593
6	0.00167	0.00457	0.00623	0.00744	0.00608
7	0.00200	0.00477	0.00660	0.00742	0.00627
8	0.00233	0.00497	0.00669	0.00713	0.00626
9	0.00267	0.00511	0.00681	0.00715	0.00636
10	0.00300	0.00521	0.00702	0.00738	0.00654
11	0.00333	0.00535	0.00710	0.00751	0.00665
12	0.00367	0.00550	0.00679	0.00762	0.00664
13	0.00400	0.00555	0.00672	0.00774	0.00667
14	0.00433	0.00555	0.00642	0.00778	0.00658
15	0.00467	0.00551	0.00630	0.00793	0.00658

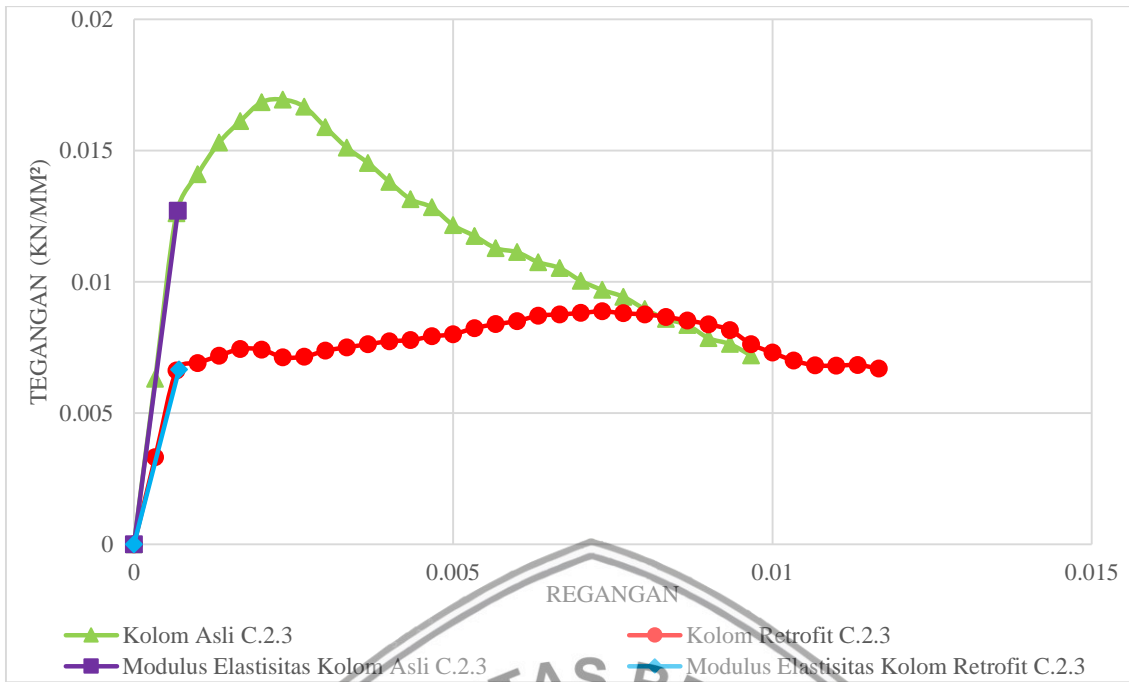
No	Regangan	C.2.1	C.2.2	C.2.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
16	0.00500	0.00539	0.00643	0.00801	0.00661
17	0.00533	0.00527	0.00651	0.00824	0.00668
18	0.00567	0.00481	0.00667	0.00839	0.00662
19	0.00600	0.00469	0.00661	0.00851	0.00660
20	0.00633	0.00432	0.00675	0.00871	0.00659
21	0.00667	0.00405	0.00673	0.00876	0.00652
22	0.00700	0.00402	0.00681	0.00881	0.00655
23	0.00733	0.00385	0.00690	0.00888	0.00655
24	0.00767	0.00373	0.00692	0.00880	0.00648
25	0.00800	0.00362	0.00700	0.00876	0.00646
26	0.00833	0.00345	0.00715	0.00867	0.00642
27	0.00867	0.00340	0.00719	0.00853	0.00637
28	0.00900	0.00327	0.00727	0.00839	0.00631
29	0.00933	0.00312	0.00743	0.00816	0.00624
30	0.00967	0.00304	0.00733	0.00763	0.00600
31	0.01000	0.00295	0.00735	0.00730	0.00587
32	0.01033	0.00275	0.00724	0.00700	0.00566
33	0.01067	0.00274	0.00715	0.00682	0.00557
34	0.01100	0.00270	0.00656	0.00681	0.00536
35	0.01133	0.00264	0.00573	0.00684	0.00507
36	0.01167	0.00260	0.00553	0.00670	0.00494



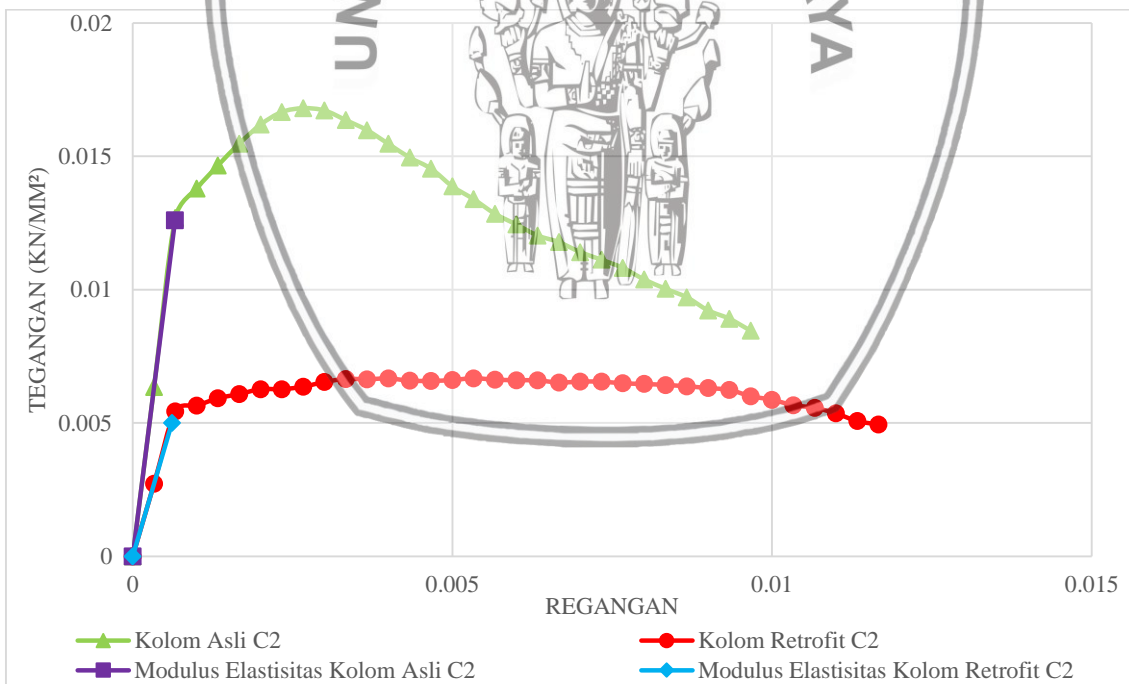
Gambar 4. 27 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.2.1 dengan kolom retrofit C.2.1



Gambar 4. 28 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.2.2 dengan kolom retrofit C.2.2



Gambar 4. 29 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.2.3 dengan kolom retrofit C.2.3



Gambar 4. 30 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.2 dengan kolom retrofit C.2



Nilai modulus elastisitas kolom asli C.2 dengan kolom *retrofit* C.2 didapatkan dari rata – rata gabungan dari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom *retrofit* C.2.1, C.2.2 dan C.2.3. Nilai modulus elastisitas secant kolom asli C.2 sebesar 19 kN/mm², sedangkan nilai modulus elastisitas secant kolom *retrofit* C.2 sebesar 8.2 kN/mm². Apabila dipersentasikan maka terjadi penurunan elastisitas secant pada kolom *retrofit* C.2 sebesar 97.84 % dari nilai elastisitas secant kolom asli C.2.

4.6.2.3 Kolom Asli D.1 – Kolom *Retrofit* D.1

Tabel 4. 28 Tabel data tegangan dan regangan kolom asli D.1

No	Regangan	D.1.1	D.1.2	D.1.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
1	0	0	0	0	0
2	0.0003	0.0066	0.0070	0.0060	0.0065
3	0.0007	0.0131	0.0140	0.0119	0.0130
4	0.0010	0.0142	0.0152	0.0126	0.0140
5	0.0013	0.0154	0.0161	0.0134	0.0150
6	0.0017	0.0161	0.0169	0.0139	0.0156
7	0.0020	0.0168	0.0176	0.0145	0.0163
8	0.0023	0.0174	0.0183	0.0149	0.0169
9	0.0027	0.0177	0.0186	0.0151	0.0171
10	0.0030	0.0178	0.0187	0.0156	0.0174
11	0.0033	0.0177	0.0186	0.0156	0.0173
12	0.0037	0.0175	0.0183	0.0158	0.0172
13	0.0040	0.0173	0.0178	0.0159	0.0170
14	0.0043	0.0170	0.0173	0.0157	0.0167
15	0.0047	0.0167	0.0166	0.0154	0.0163
16	0.0050	0.0164	0.0164	0.0151	0.0160
17	0.0053	0.0160	0.0162	0.0146	0.0156
18	0.0057	0.0156	0.0162	0.0139	0.0152
19	0.0060	0.0154	0.0160	0.0136	0.0150
20	0.0063	0.0148	0.0158	0.0130	0.0145
21	0.0067	0.0145	0.0155	0.0126	0.0142

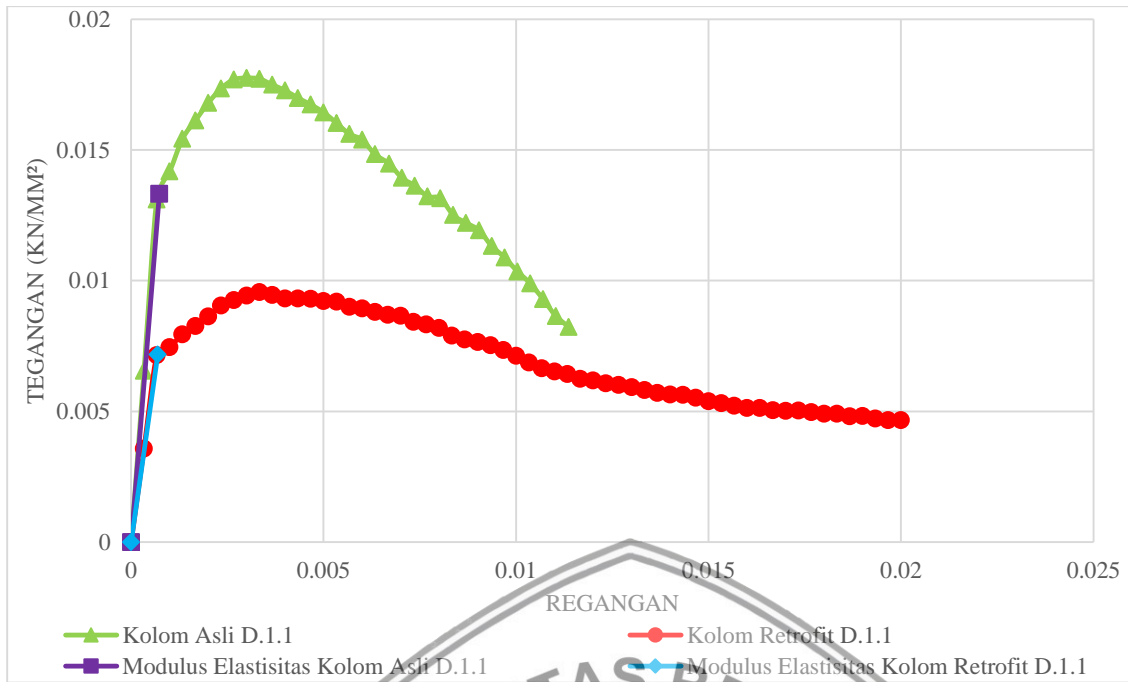
No	Regangan	D.1.1	D.1.2	D.1.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
22	0.0070	0.0139	0.0153	0.0121	0.0138
23	0.0073	0.0136	0.0147	0.0120	0.0134
24	0.0077	0.0132	0.0143	0.0117	0.0131
25	0.0080	0.0132	0.0140	0.0115	0.0129
26	0.0083	0.0125	0.0134	0.0111	0.0123
27	0.0087	0.0122	0.0130	0.0107	0.0120
28	0.0090	0.0119	0.0127	0.0105	0.0117
29	0.0093	0.0113	0.0123	0.0102	0.0113
30	0.0097	0.0109	0.0120	0.0095	0.0108
31	0.0100	0.0104	0.0117	0.0088	0.0103
32	0.0103	0.0099	0.0109	0.0082	0.0097
33	0.0107	0.0093	0.0105	0.0078	0.0092
34	0.0110	0.0086	0.0099	0.0074	0.0086
35	0.0113	0.0082	0.0093	0.0072	0.0082

Tabel 4. 29 Tabel data tegangan dan regangan kolom *retrofit* D.1

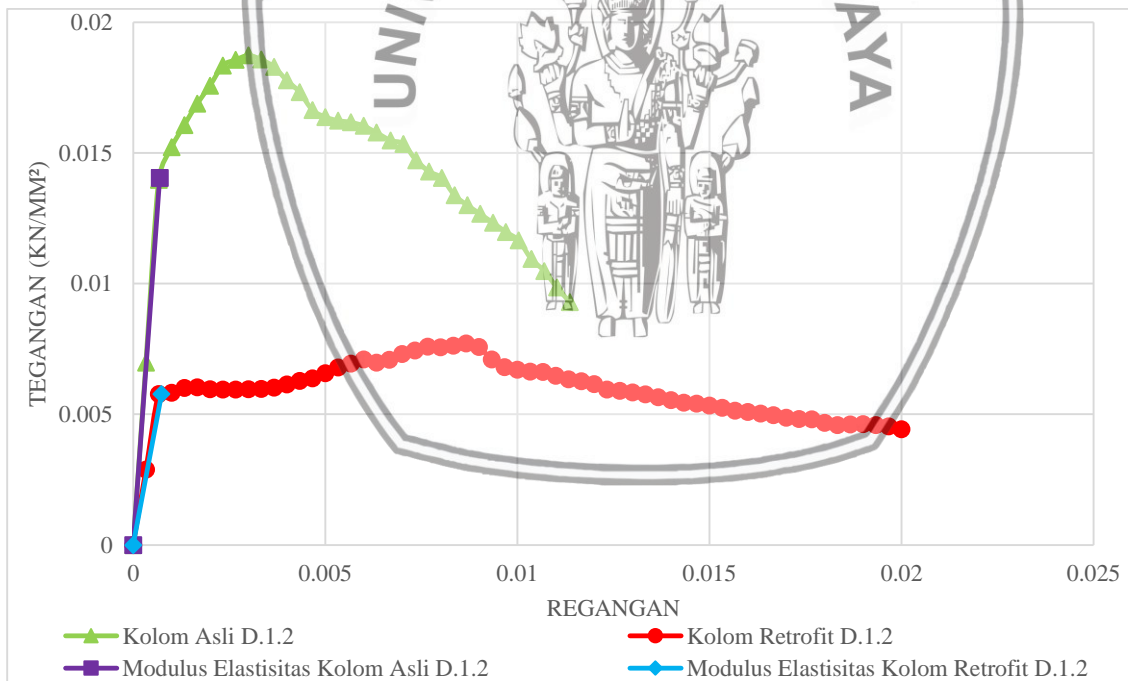
No	Regangan	D.1.1	D.1.2	D.1.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
1	0	0	0	0	0
2	0.0003	0.0036	0.0029	0.0025	0.0030
3	0.0007	0.0071	0.0058	0.0051	0.0060
4	0.0010	0.0075	0.0058	0.0053	0.0062
5	0.0013	0.0079	0.0060	0.0054	0.0064
6	0.0017	0.0083	0.0060	0.0056	0.0066
7	0.0020	0.0086	0.0060	0.0057	0.0068
8	0.0023	0.0090	0.0060	0.0057	0.0069
9	0.0027	0.0093	0.0060	0.0058	0.0070
10	0.0030	0.0094	0.0060	0.0059	0.0071

No	Regangan	D.1.1	D.1.2	D.1.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
11	0.0033	0.0096	0.0060	0.0062	0.0072
12	0.0037	0.0095	0.0060	0.0063	0.0072
13	0.0040	0.0093	0.0061	0.0064	0.0073
14	0.0043	0.0093	0.0063	0.0066	0.0074
15	0.0047	0.0093	0.0064	0.0068	0.0075
16	0.0050	0.0092	0.0066	0.0068	0.0075
17	0.0053	0.0092	0.0068	0.0067	0.0075
18	0.0057	0.0090	0.0069	0.0064	0.0074
19	0.0060	0.0089	0.0071	0.0060	0.0073
20	0.0063	0.0088	0.0070	0.0056	0.0071
21	0.0067	0.0087	0.0071	0.0055	0.0071
22	0.0070	0.0087	0.0073	0.0054	0.0071
23	0.0073	0.0084	0.0074	0.0054	0.0071
24	0.0077	0.0083	0.0076	0.0052	0.0070
25	0.0080	0.0082	0.0076	0.0050	0.0069
26	0.0083	0.0079	0.0076	0.0049	0.0068
27	0.0087	0.0077	0.0077	0.0047	0.0067
28	0.0090	0.0077	0.0076	0.0045	0.0066
29	0.0093	0.0075	0.0071	0.0044	0.0064
30	0.0097	0.0074	0.0068	0.0043	0.0062
31	0.0100	0.0071	0.0067	0.0042	0.0060
32	0.0103	0.0069	0.0066	0.0042	0.0059
33	0.0107	0.0067	0.0066	0.0041	0.0058
34	0.0110	0.0065	0.0065	0.0041	0.0057
35	0.0113	0.0064	0.0063	0.0039	0.0056
36	0.0117	0.0062	0.0063	0.0038	0.0054
37	0.0120	0.0062	0.0062	0.0038	0.0054
38	0.0123	0.0061	0.0060	0.0037	0.0053
39	0.0127	0.0060	0.0059	0.0037	0.0052
40	0.0130	0.0059	0.0058	0.0037	0.0051

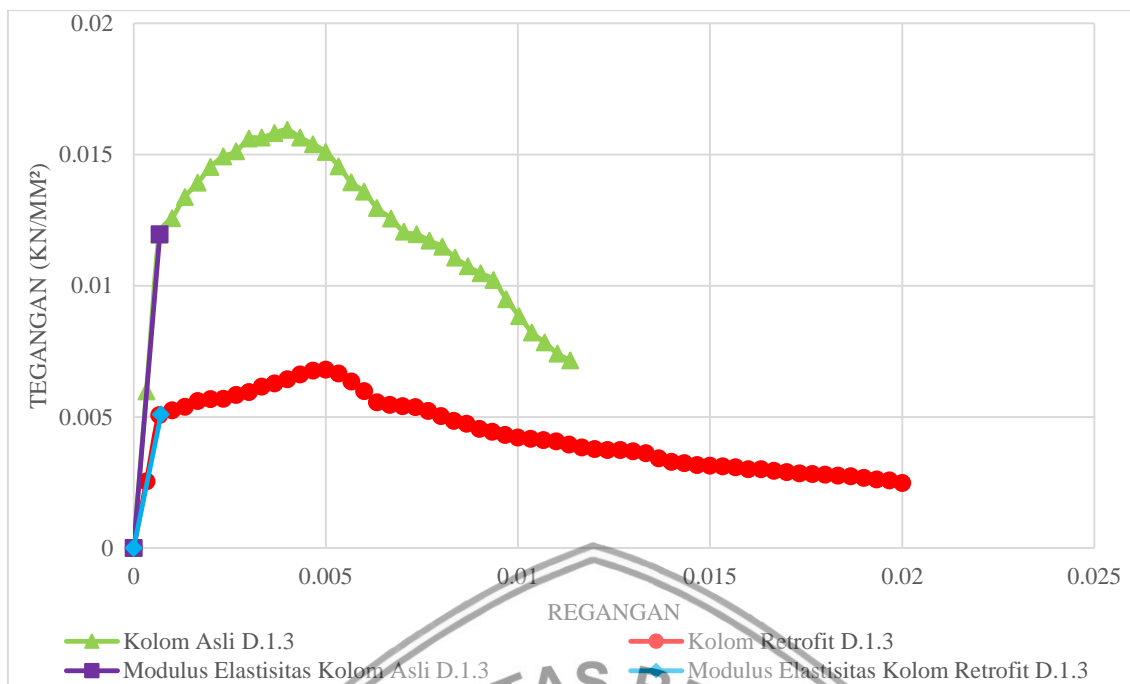
No	Regangan	D.1.1	D.1.2	D.1.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
41	0.0133	0.0058	0.0058	0.0036	0.0051
42	0.0137	0.0057	0.0057	0.0034	0.0049
43	0.0140	0.0056	0.0055	0.0033	0.0048
44	0.0143	0.0056	0.0054	0.0032	0.0048
45	0.0147	0.0055	0.0054	0.0032	0.0047
46	0.0150	0.0054	0.0053	0.0031	0.0046
47	0.0153	0.0053	0.0053	0.0031	0.0046
48	0.0157	0.0052	0.0051	0.0031	0.0045
49	0.0160	0.0051	0.0051	0.0030	0.0044
50	0.0163	0.0051	0.0050	0.0030	0.0044
51	0.0167	0.0050	0.0050	0.0030	0.0043
52	0.0170	0.0050	0.0049	0.0029	0.0043
53	0.0173	0.0050	0.0048	0.0028	0.0042
54	0.0177	0.0050	0.0048	0.0028	0.0042
55	0.0180	0.0049	0.0047	0.0028	0.0041
56	0.0183	0.0049	0.0046	0.0028	0.0041
57	0.0187	0.0048	0.0046	0.0027	0.0041
58	0.0190	0.0048	0.0046	0.0027	0.0040
59	0.0193	0.0047	0.0046	0.0026	0.0040
60	0.0197	0.0047	0.0045	0.0026	0.0039
61	0.0200	0.0047	0.0044	0.0025	0.0039



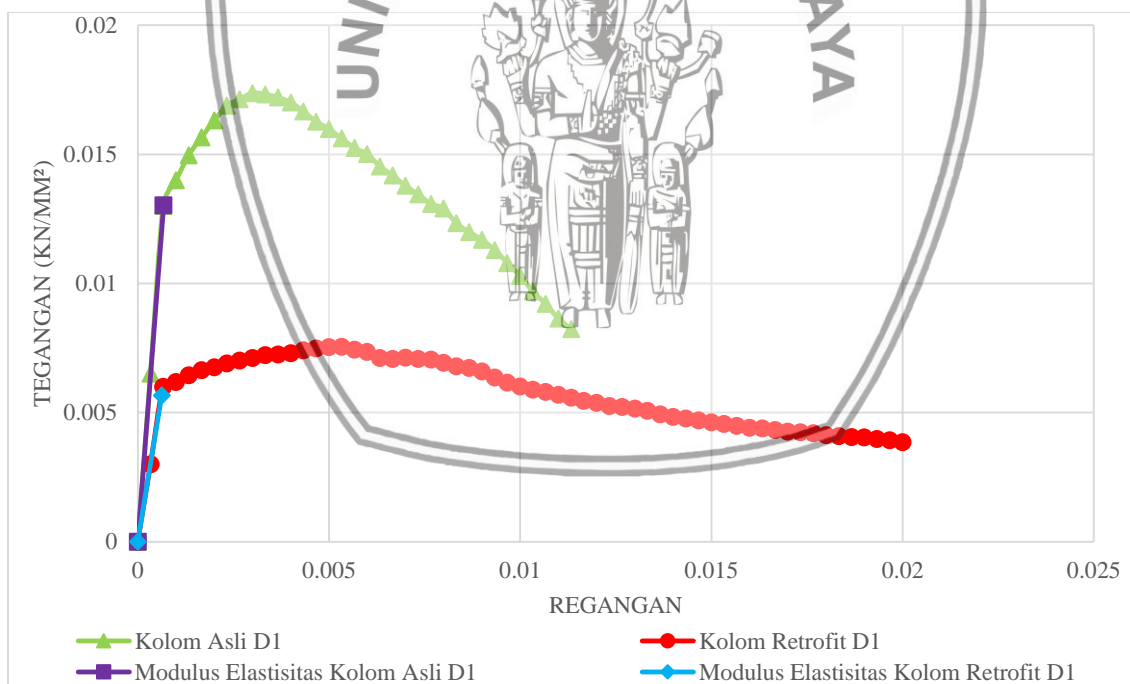
Gambar 4. 31 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.1 dengan kolom retrofit D.1.1



Gambar 4. 32 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.2 dengan kolom retrofit D.1.2



Gambar 4. 33 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.3 dengan kolom retrofit D.1.3



Gambar 4. 34 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1 dengan kolom retrofit D.1

Nilai modulus elastisitas kolom asli D.1 dengan kolom *retrofit* D.1 didapatkan dari rata – rata gabungan dari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom *retrofit* D.1.1, D.1.2 dan D.1.3. Nilai modulus elastisitas secant kolom asli D.1 sebesar 19.3 kN/mm², sedangkan nilai modulus elastisitas secant kolom *retrofit* D.1 sebesar 9 kN/mm². Apabila dipersentasikan maka terjadi penurunan elastisitas secant pada kolom *retrofit* D.1 sebesar 98.01 % dari nilai elastisitas secant kolom asli D.1.

4.6.2.4 Kolom Asli D.2 – Kolom *Retrofit* D.2

Tabel 4. 30 Tabel data tegangan dan regangan kolom asli D.2

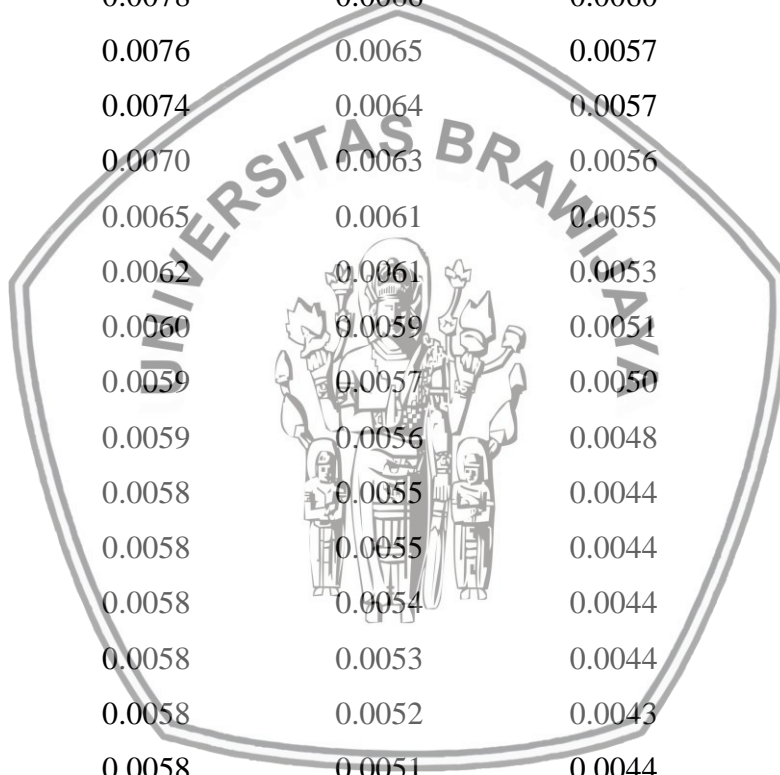
No	Regangan	D.2.1	D.2.2	D.2.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
1	0	0	0	0	0
2	0.0003	0.0058	0.0055	0.0062	0.0058
3	0.0007	0.0115	0.0110	0.0124	0.0116
4	0.0010	0.0124	0.0118	0.0138	0.0126
5	0.0013	0.0136	0.0128	0.0150	0.0138
6	0.0017	0.0143	0.0136	0.0160	0.0146
7	0.0020	0.0151	0.0141	0.0166	0.0152
8	0.0023	0.0154	0.0146	0.0152	0.0151
9	0.0027	0.0156	0.0145	0.0139	0.0147
10	0.0030	0.0153	0.0145	0.0134	0.0144
11	0.0033	0.0152	0.0145	0.0128	0.0142
12	0.0037	0.0149	0.0134	0.0125	0.0136
13	0.0040	0.0142	0.0093	0.0122	0.0119
14	0.0043	0.0135	0.0090	0.0118	0.0115
15	0.0047	0.0130	0.0091	0.0114	0.0112
16	0.0050	0.0123	0.0091	0.0110	0.0108
17	0.0053	0.0115	0.0088	0.0108	0.0104
18	0.0057	0.0111	0.0087	0.0107	0.0102
19	0.0060	0.0109	0.0087	0.0103	0.0100
20	0.0063	0.0103	0.0085	0.0102	0.0097
21	0.0067	0.0100	0.0082	0.0097	0.0093
22	0.0070	0.0097	0.0080	0.0094	0.0090

No	Regangan	D.2.1	D.2.2	D.2.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
23	0.0073	0.0093	0.0080	0.0088	0.0087
24	0.0077	0.0091	0.0079	0.0086	0.0085
25	0.0080	0.0089	0.0076	0.0080	0.0082
26	0.0083	0.0086	0.0074	0.0075	0.0078
27	0.0087	0.0084	0.0072	0.0073	0.0076
28	0.0090	0.0081	0.0070	0.0069	0.0074

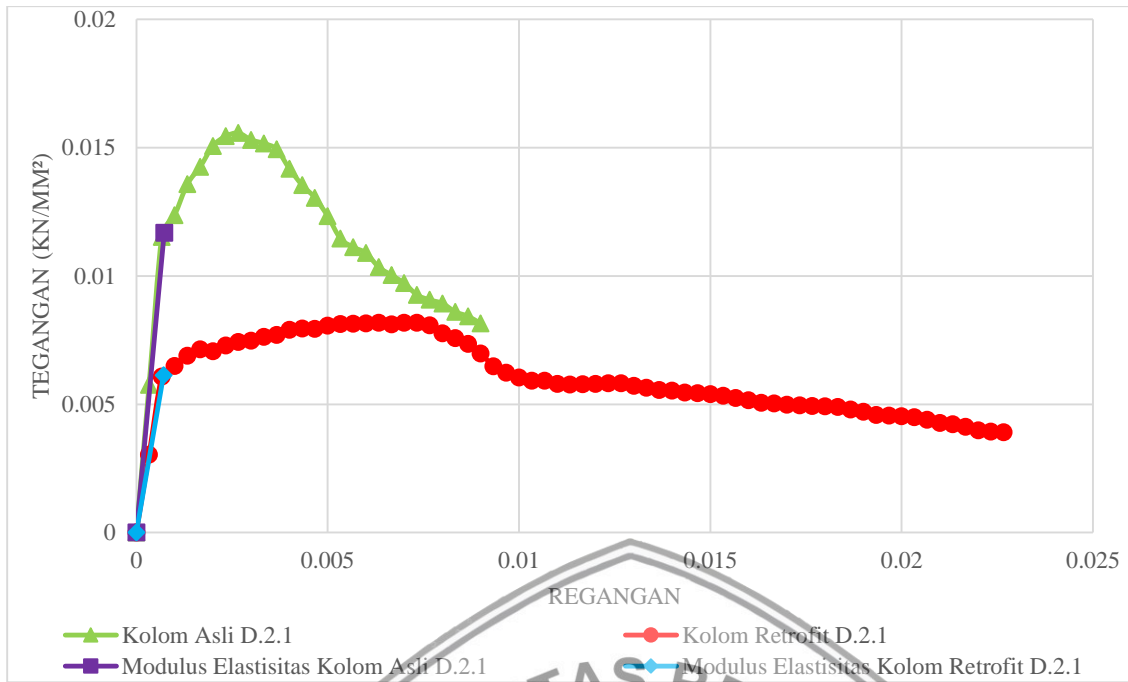
Tabel 4. 31 Tabel data tegangan dan regangan kolom *retrofit* D.2

No	Regangan	D.2.1	D.2.2	D.2.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
1	0	0	0	0	0
2	0.0003	0.0030	0.0032	0.0024	0.0029
3	0.0007	0.0061	0.0064	0.0048	0.0058
4	0.0010	0.0065	0.0067	0.0049	0.0060
5	0.0013	0.0069	0.0069	0.0050	0.0062
6	0.0017	0.0071	0.0070	0.0052	0.0064
7	0.0020	0.0071	0.0071	0.0054	0.0065
8	0.0023	0.0073	0.0072	0.0056	0.0067
9	0.0027	0.0074	0.0074	0.0058	0.0069
10	0.0030	0.0075	0.0076	0.0059	0.0070
11	0.0033	0.0076	0.0079	0.0061	0.0072
12	0.0037	0.0077	0.0081	0.0062	0.0073
13	0.0040	0.0079	0.0082	0.0063	0.0075
14	0.0043	0.0079	0.0085	0.0064	0.0076
15	0.0047	0.0079	0.0086	0.0064	0.0076
16	0.0050	0.0081	0.0085	0.0063	0.0076
17	0.0053	0.0081	0.0085	0.0062	0.0076
18	0.0057	0.0081	0.0085	0.0063	0.0077

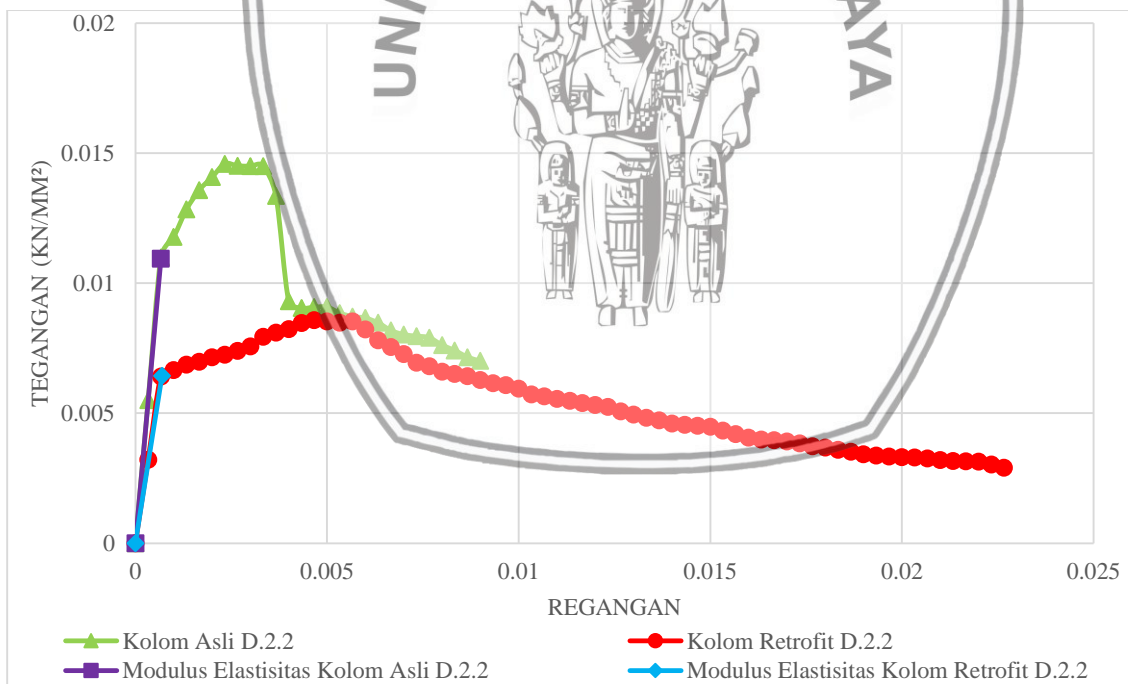
No	Regangan	D.2.1	D.2.2	D.2.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
19	0.0060	0.0082	0.0082	0.0064	0.0076
20	0.0063	0.0082	0.0078	0.0062	0.0074
21	0.0067	0.0081	0.0075	0.0061	0.0073
22	0.0070	0.0082	0.0073	0.0061	0.0072
23	0.0073	0.0082	0.0069	0.0060	0.0070
24	0.0077	0.0081	0.0068	0.0061	0.0070
25	0.0080	0.0078	0.0066	0.0060	0.0068
26	0.0083	0.0076	0.0065	0.0057	0.0066
27	0.0087	0.0074	0.0064	0.0057	0.0065
28	0.0090	0.0070	0.0063	0.0056	0.0063
29	0.0093	0.0065	0.0061	0.0055	0.0061
30	0.0097	0.0062	0.0061	0.0053	0.0059
31	0.0100	0.0060	0.0059	0.0051	0.0057
32	0.0103	0.0059	0.0057	0.0050	0.0056
33	0.0107	0.0059	0.0056	0.0048	0.0055
34	0.0110	0.0058	0.0055	0.0044	0.0053
35	0.0113	0.0058	0.0055	0.0044	0.0052
36	0.0117	0.0058	0.0054	0.0044	0.0052
37	0.0120	0.0058	0.0053	0.0044	0.0052
38	0.0123	0.0058	0.0052	0.0043	0.0051
39	0.0127	0.0058	0.0051	0.0044	0.0051
40	0.0130	0.0057	0.0049	0.0044	0.0050
41	0.0133	0.0056	0.0048	0.0044	0.0049
42	0.0137	0.0056	0.0047	0.0044	0.0049
43	0.0140	0.0055	0.0046	0.0044	0.0048
44	0.0143	0.0055	0.0046	0.0043	0.0048
45	0.0147	0.0054	0.0045	0.0042	0.0047
46	0.0150	0.0054	0.0045	0.0042	0.0047
47	0.0153	0.0053	0.0043	0.0042	0.0046
48	0.0157	0.0052	0.0042	0.0042	0.0046



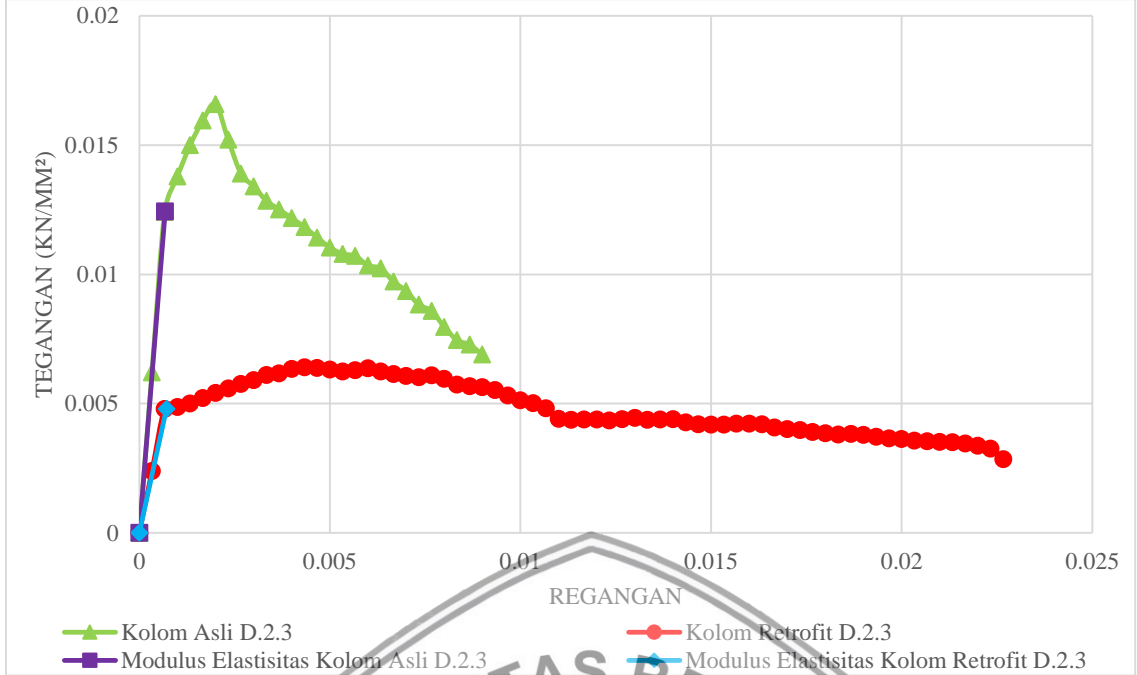
No	Regangan	D.2.1	D.2.2	D.2.3	Rata-rata
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
49	0.0160	0.0052	0.0041	0.0042	0.0045
50	0.0163	0.0051	0.0040	0.0042	0.0044
51	0.0167	0.0050	0.0040	0.0041	0.0044
52	0.0170	0.0050	0.0039	0.0040	0.0043
53	0.0173	0.0050	0.0038	0.0040	0.0043
54	0.0177	0.0049	0.0037	0.0039	0.0042
55	0.0180	0.0049	0.0037	0.0039	0.0041
56	0.0183	0.0049	0.0036	0.0038	0.0041
57	0.0187	0.0048	0.0035	0.0038	0.0040
58	0.0190	0.0047	0.0034	0.0038	0.0040
59	0.0193	0.0046	0.0034	0.0037	0.0039
60	0.0197	0.0046	0.0033	0.0037	0.0038
61	0.0200	0.0045	0.0033	0.0036	0.0038
62	0.0203	0.0045	0.0033	0.0036	0.0038
63	0.0207	0.0044	0.0033	0.0035	0.0037
64	0.0210	0.0043	0.0032	0.0035	0.0037
65	0.0213	0.0042	0.0032	0.0035	0.0036
66	0.0217	0.0041	0.0032	0.0035	0.0036
67	0.0220	0.0040	0.0031	0.0034	0.0035
68	0.0223	0.0039	0.0030	0.0033	0.0034
69	0.0227	0.0039	0.0029	0.0029	0.0032



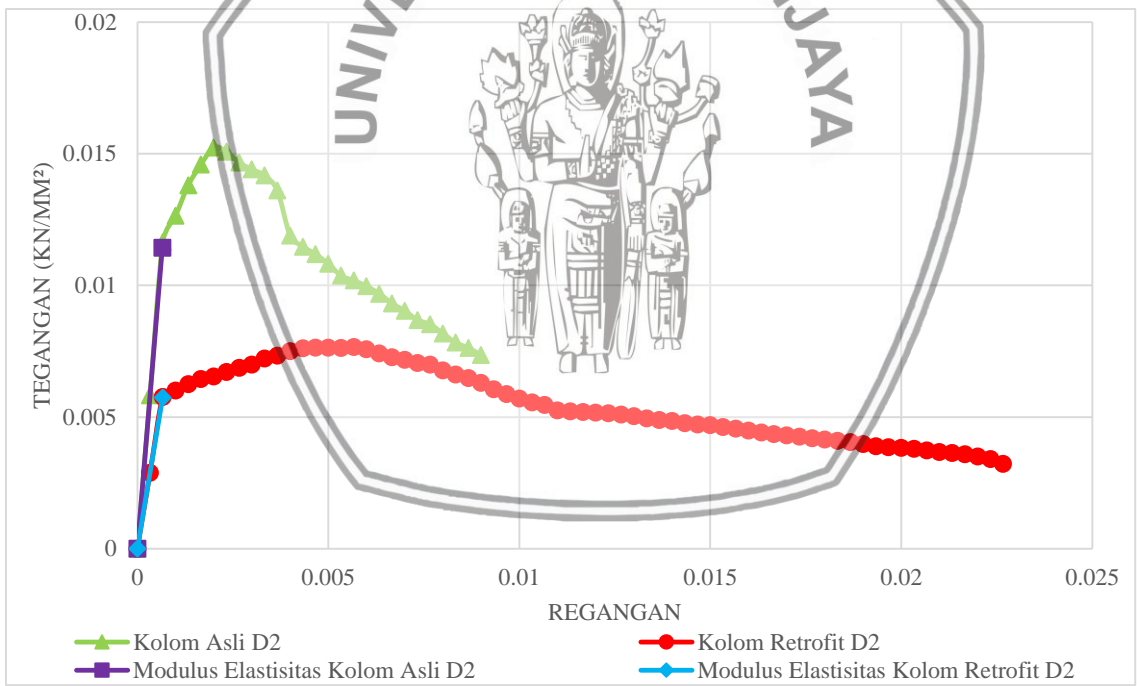
Gambar 4. 35 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.2.1 dengan kolom retrofit D.2.1



Gambar 4. 36 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.2.2 dengan kolom retrofit D.2.2



Gambar 4. 37 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.2.3 dengan kolom retrofit D.2.3



Gambar 4. 38 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.2 dengan kolom retrofit D.2

Nilai modulus elastisitas kolom asli D.2 dengan kolom retrofit D.2 didapatkan dari rata – rata gabungan dari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit D.2.1, D.2.2 dan D.2.3. Nilai modulus elastisitas secant kolom asli D.2 sebesar 17.5 kN/mm², sedangkan nilai modulus elastisitas secant kolom retrofit D.2 sebesar 8.6 kN/mm². Apabila dipersentasikan



maka terjadi penurunan elastisitas secant pada kolom *retrofit* D.2 sebesar 98.13 % dari nilai elastisitas secant kolom asli D.2.

4.6.3 Pembahasan Mengenai Daktilitas Kolom Asli dengan Kolom *Retrofit*

Pembahasan mengenai daktilitas antara kolom asli dengan kolom *retrofit* bertujuan untuk mengetahui nilai daktilitas pada kolom, daktilitas diperlukan pada batang atau bagian yang mungkin mengalami beban yang besar secara tiba-tiba, karena perubahan bentuk yang berlebihan akan memberikan tanda-tanda ancaman kerusakan

Nilai daktilitas didapatkan dari rumus :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

Dimana :

μ_{Δ} = Nilai daktilitas

Δu = Deformasi *ultimate* (mm)

Δy = Deformasi leleh (mm)

Nilai deformasi *ultimate* pada kolom asli dan kolom *retrofit* tidak bisa diperoleh karena kapasitas alat pengujian kolom yang terdapat di laboratorium terbatas, sehingga alat pengujian tidak mampu membebani benda uji kolom sampai beban runtuh. Oleh karena itu, untuk analisis selanjutnya penentuan nilai deformasi *ultimate* didapatkan dari penurunan kapasitas beban aksial maksimum yang sama antara kolom asli dan kolom *retrofit*. Pada penelitian ini, penurunan kapasitas beban aksial maksimum yang sama dihitung menggunakan persen keruntuhan yang sama, digunakan persen keruntuhan terbesar untuk memperoleh nilai beban runtuh pada kolom asli dan kolom *retrofit*.

Contoh perhitungan beban runtuh pada kolom asli dan kolom *retrofit* C.1.1 :

persen beban keruntuhan kolom asli C.1.1 = 41.6 %

persen beban keruntuhan kolom *retrofit* C.1.1 = 52.5 %

digunakan persen beban keruntuhan terbesar, yaitu 52.5 %

beban runtuh kolom asli C.1.1 = 52.5 % x Gaya tekan maksimum
 = 52.5 % x 249.6 kN
 = 131.1 kN

beban runtuh kolom *retrofit* C.1.1 = 52.5 % x Gaya tekan maksimum
 = 52.5 % x 254.2 kN
 = 133.5 kN

Tabel 4. 32 Tabel pengolahan data daktilitas pada kolom asli dan kolom retrofit

Kolom	Gaya Tekan Max	Δy	Beban Runtuh	% Beban Keruntuhan	Beban Runtuh	Δu	Daktilitas	
								kN
C.1.1	Asli	249.6	0.20	103.8	41.6	131.1	2.71	13.3
	Retrofit	254.2	0.20	133.5	52.5	133.5	6.00	30.2
C.1.2	Asli	233.5	0.22	106.0	45.4	110.8	3.10	13.8
	Retrofit	138.1	0.21	110.8	80.2	110.8	6.00	28.5
C.1.3	Asli	265.4	0.22	134.1	50.5	194.3	2.44	11.3
	Retrofit	161.6	0.21	118.3	73.2	118.3	6.00	29.0
C.2.1	Asli	265.3	0.23	116.3	43.8	124.1	2.76	11.9
	Retrofit	179.8	0.20	84.1	46.8	84.1	3.50	17.1
C.2.2	Asli	233.0	0.22	145.4	62.4	173.6	2.36	10.6
	Retrofit	240.7	0.22	179.3	74.5	179.3	3.50	16.1
C.2.3	Asli	244.0	0.21	103.6	42.5	184.0	1.41	6.8
	Retrofit	287.8	0.21	217.0	75.4	217.0	3.50	16.5
D.1.1	Asli	255.8	0.22	118.5	46.3	124.8	3.31	15.0
	Retrofit	309.8	0.21	151.1	48.8	151.1	6.00	28.9
D.1.2	Asli	269.7	0.21	133.9	49.6	154.8	3.15	15.3
	Retrofit	249.8	0.22	143.4	57.4	143.4	6.00	27.2
D.1.3	Asli	229.6	0.20	103.0	44.9	103.0	3.41	16.8
	Retrofit	220.2	0.21	80.4	36.5	98.8	4.74	22.3
D.2.1	Asli	224.2	0.22	117.3	52.3	117.3	2.70	12.4
	Retrofit	264.9	0.21	126.8	47.9	138.6	6.30	29.5
D.2.2	Asli	210.1	0.20	100.9	48.0	100.9	2.70	13.6
	Retrofit	277.9	0.21	94.0	33.8	133.5	4.76	22.9
D.2.3	Asli	238.8	0.20	99.4	41.6	106.5	2.53	12.5
	Retrofit	207.4	0.21	92.5	44.6	92.5	6.80	31.7

Tabel 4. 33 Tabel data rata-rata daktilitas pada kolom asli dan kolom *retrofit*

Kolom	Gaya Tekan Max	Δy	Beban Akhir	% Beban Keruntuhan	Beban Runtuh	Δu	Daktilitas					
								kN	mm	kN	kN	mm
								C1 Asli	248.9	0.2	114.6	68
<i>Retrofit</i>	177.7	0.2	120.9	120.9	6.0	31.18						
C2 Asli	241.9	0.2	121.8	74	179.1	1.8	9.06					
<i>Retrofit</i>	216.3	0.2	160.1		160.1	3.5	19.01					
D1 Asli	250.1	0.2	118.5	51	127.8	3.26	16.12					
<i>Retrofit</i>	244.6	0.2	125.0		125.0	6	31.78					
D2 Asli	219.5	0.2	105.9	48	105.9	2.70	13.74					
<i>Retrofit</i>	248.0	0.2	104.4		119.6	6.26	31.40					

Contoh perhitungan daktilitas (Kolom asli C.1) :

Dik :

$$\Delta u = 2.3 \text{ mm}$$

$$\Delta y = 0.2 \text{ mm}$$

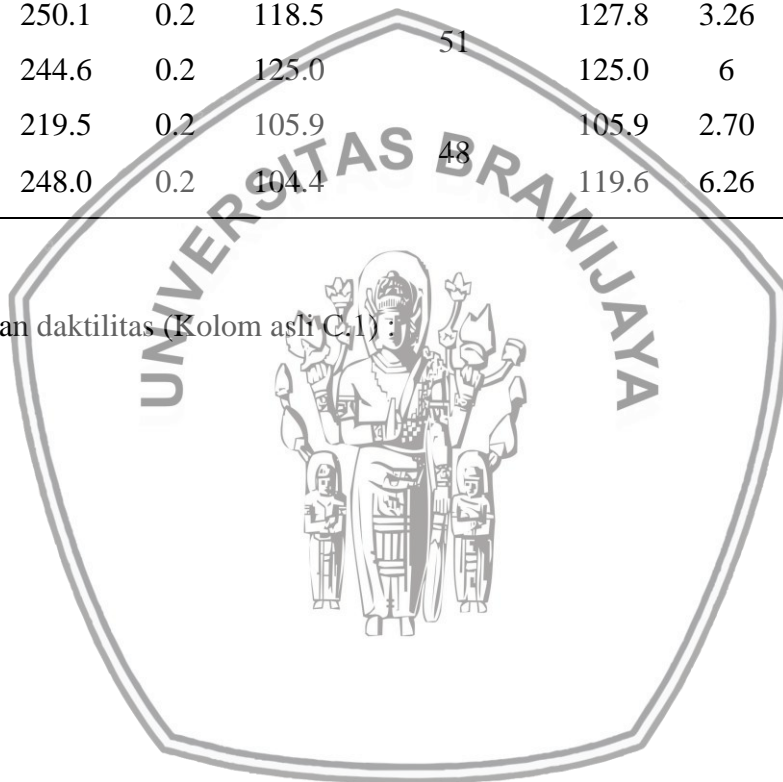
Dit : μ_{Δ} ?

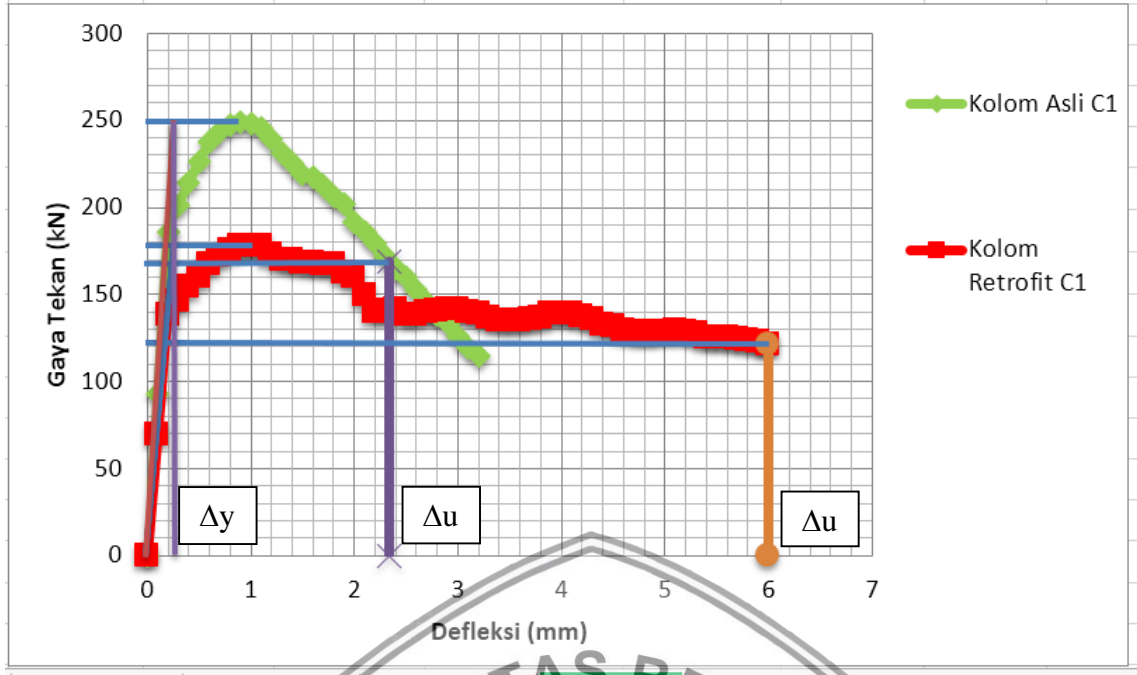
Jawab :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

$$\mu_{\Delta} = \frac{2.3}{0.2}$$

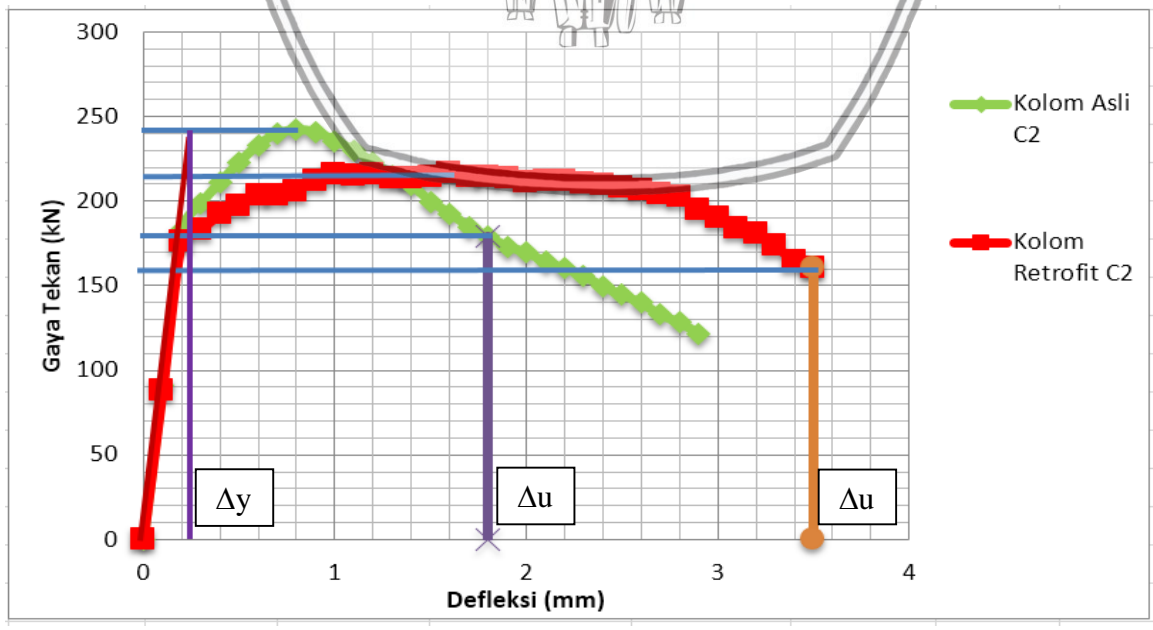
$$\mu_{\Delta} = 10.86$$





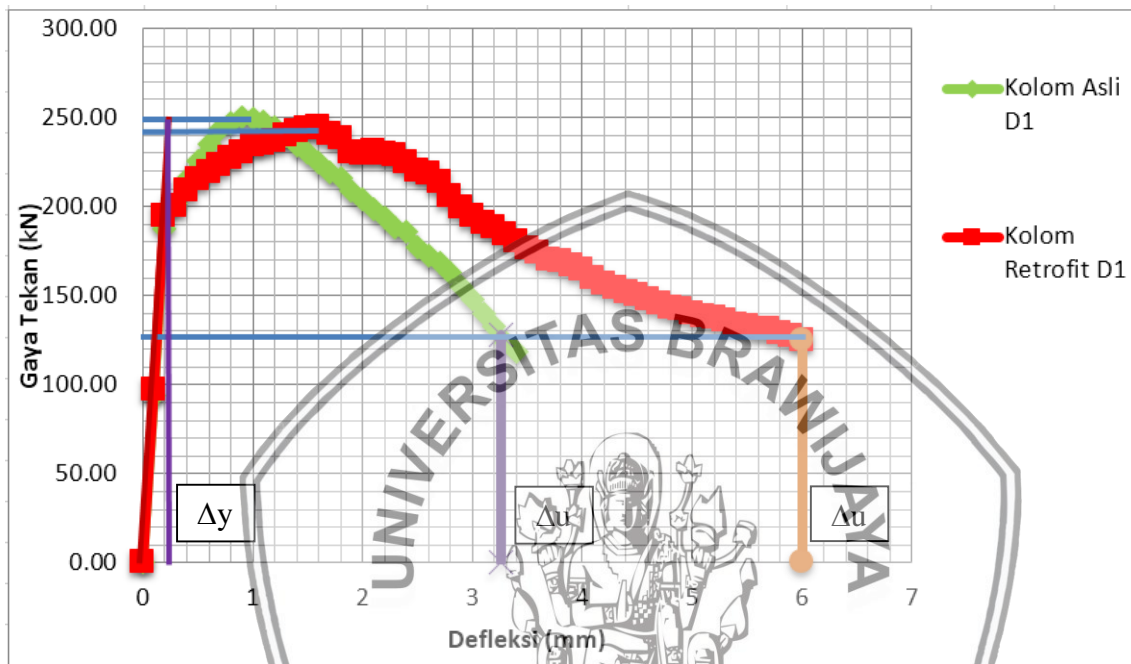
Gambar 4. 39 Grafik perbandingan daktilitas kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1

Untuk hasil analisis daktilitas pada kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1 penentuan deformasi leleh sebesar 75% beban puncak dan deformasi ultimate sebesar 68 % beban puncak turun. Sehingga didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli C.1 sebesar 10.86 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit C.1 sebesar 31.18, apabila di persentasikan maka terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit C.1 sebesar 187.2 % dari daktilitas kolom asli C.1.



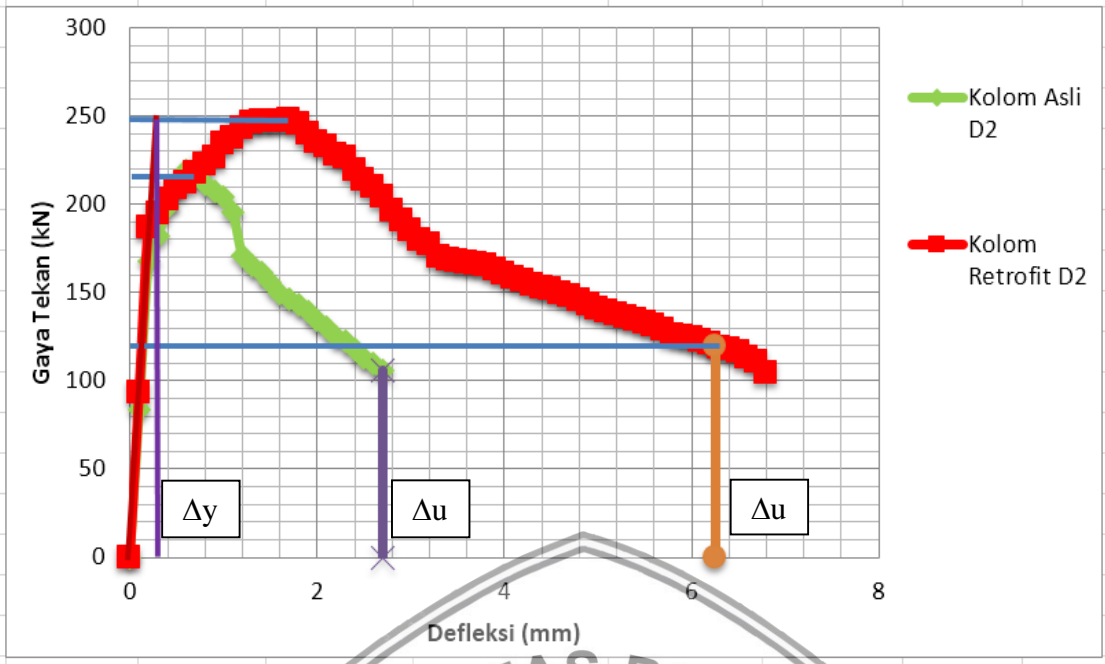
Gambar 4. 40 Grafik perbandingan daktilitas kolom asli C.2 dengan kolom retrofit C.2

Untuk hasil analisis daktilitas pada kolom asli C.2 dengan kolom *retrofit* C.2 penentuan deformasi leleh sebesar 75% beban puncak dan deformasi *ultimate* sebesar 74 % beban puncak turun. Sehingga didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli C.2 sebesar 9.06 sedangkan nilai daktilitas pada kolom *retrofit* C.2 sebesar 19.01, apabila di persentasikan maka terjadi peningkatan daktilitas pada kolom *retrofit* C.2 sebesar 109.71 % dari daktilitas kolom asli C.2.



Gambar 4. 41 Grafik perbandingan daktilitas kolom asli D.1 dengan kolom *retrofit* D.1

Untuk hasil analisis daktilitas pada kolom asli D.1 dengan kolom *retrofit* D.1 penentuan deformasi leleh sebesar 75% beban puncak dan deformasi *ultimate* sebesar 51 % beban puncak turun. Sehingga didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli D.1 sebesar 16.12 sedangkan nilai daktilitas pada kolom *retrofit* D.1 sebesar 31.78, apabila di persentasikan maka terjadi peningkatan daktilitas pada kolom *retrofit* D.1 sebesar 97.19 % dari daktilitas kolom asli D.1.



Gambar 4. 42 Grafik perbandingan daktilitas kolom asli D.2 dengan kolom retrofit D.2

Untuk hasil analisis daktilitas pada kolom asli D.2 dengan kolom retrofit D.2 penentuan deformasi leleh sebesar 75% beban puncak dan deformasi ultimate sebesar 48 % beban puncak turun. Sehingga didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli D.2 sebesar 13.74 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit D.2 sebesar 31.4, apabila di persentasikan maka terjadi penurunan daktilitas pada kolom retrofit D.2 sebesar 128.45 % dari daktilitas kolom asli D.2.

4.7 Analisis Efektifitas Kolom Retrofit

Setelah dilakukan pengujian kuat tekan dan defleksi serta perhitungan kekakuan, modulus elastisitas dan daktilitas, sehingga didapatkan data – data untuk mengukur efektifitas kolom retrofit dengan variasi yang berbeda beda. Berikut adalah persentase perubahan gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas kolom asli dan kolom retrofit:



Tabel 4. 34 Tabel data hasil gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas kolom asli dan kolom *retrofit*.

Kode Benda Uji Kolom		Gaya Tekan Maksimum (kN)	Kekakuan (kN/mm)	Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	Daktilitas	
C.1	C.1.1	Asli	249.6	918.0	19.1	13.3
		<i>Retrofit</i>	254.2	961.0	8.9	30.2
	C.1.2	Asli	233.5	841.6	17.5	13.8
		<i>Retrofit</i>	138.1	492.7	4.6	28.5
	C.1.3	Asli	265.4	924.7	19.3	11.3
		<i>Retrofit</i>	161.6	586.5	5.4	29.0
C.2	C.2.1	Asli	265.3	859.6	17.9	11.9
		<i>Retrofit</i>	179.8	658.8	6.1	17.1
	C.2.2	Asli	233.0	781.0	16.3	10.6
		<i>Retrofit</i>	240.7	831.3	7.7	16.1
	C.2.3	Asli	244.0	886.1	18.5	6.8
		<i>Retrofit</i>	287.8	1019.8	9.4	16.5
D.1	D.1.1	Asli	255.8	872.8	18.2	15.0
		<i>Retrofit</i>	309.8	1119.4	10.4	28.9
	D.1.2	Asli	269.7	979.4	20.4	15.3
		<i>Retrofit</i>	249.8	849.3	7.9	27.2
	D.1.3	Asli	229.6	847.2	17.6	16.8
		<i>Retrofit</i>	220.2	775.6	7.2	22.3
D.2	D.2.1	Asli	224.2	770.3	16.0	12.4
		<i>Retrofit</i>	264.9	931.2	8.6	29.5
	D.2.2	Asli	210.1	791.0	16.5	13.6
		<i>Retrofit</i>	277.9	1001.5	9.3	22.9
	D.2.3	Asli	238.8	884.3	18.4	12.5
		<i>Retrofit</i>	207.4	724.9	6.7	31.7

Tabel 4. 35 Tabel data hasil gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas rata – rata kolom asli dan kolom *retrofit*.

Kode Benda Uji	Gaya Tekan	Kekakuan	Modulus	Daktilitas	
Kolom	Maksimum (kN)	(kN/mm)	Elastisitas (kN/mm ²)		
C.1	Asli	248.9	867.6	18.1	10.9
	<i>Retrofit</i>	177.7	692.7	6.4	31.2
C.2	Asli	241.9	913.5	19.0	9.1
	<i>Retrofit</i>	216.3	881.0	8.2	19.0
D.1	Asli	250.1	927.8	19.3	16.1
	<i>Retrofit</i>	244.6	9.0	9.0	31.8
D.2	Asli	219.5	837.8	17.5	13.7
	<i>Retrofit</i>	248.0	933.2	8.6	31.4

Tabel 4. 36 Tabel data persentase perubahan gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas kolom asli dan kolom *retrofit*.

Kode Benda Uji Kolom	Perubahan Gaya Tekan Maksimum (%)	Perubahan Kekakuan (%)	Perubahan Modulus Elastisitas (%)	Perubahan Daktilitas (%)	
C1	C.1.1	1.84	4.68	-53.48	127.64
	C.1.2	-40.86	-41.46	-73.98	106.14
	C.1.3	-39.11	-36.58	-71.81	155.94
C2	C.2.1	-32.23	-23.36	-65.94	43.17
	C.2.2	3.30	6.44	-52.70	52.63
	C.2.3	17.95	15.08	-48.85	142.28
D1	D.1.1	21.11	28.25	-43.00	92.11
	D.1.2	-7.38	-13.28	-61.46	78.22
	D.1.3	-4.09	-8.45	-59.31	32.71
D2	D.2.1	18.15	20.89	-46.27	138.66
	D.2.2	32.27	26.61	-43.73	68.60
	D.2.3	-13.15	-18.03	-63.57	153.23

Tabel 4. 37 Tabel data persentase perubahan gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas rata – rata kolom asli dan kolom *retrofit*.

Kode Benda Uji Kolom	Perubahan Gaya Tekan Maksimum (%)	Perubahan Kekakuan (%)	Perubahan	
			Modulus Elastisitas (%)	Perubahan Daktilitas (%)
C1	-28.59	-20.17	-64.52	187.20
C2	-10.60	-3.56	-57.14	109.71
D1	-2.20	4.73	-53.45	97.19
D2	13.00	11.38	-50.50	128.45

4.7.1 Analisis Efektifitas Kolom *Retrofit* C1 dengan Kolom *Retrofit* C2

Setelah dilakukan pengujian dan mendapatkan data dari penelitian perbaikan pada kolom asli C.1 dan kolom asli C.2 dengan metode *concrete jacketing*, didapatkan hasil bahwa kolom *retrofit* C.2 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 20 mm dengan jarak sengkang 14 cm lebih efektif dibandingkan dengan kolom *retrofit* C.1 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 20 mm dengan jarak sengkang 9.3 cm. Meskipun perubahan daktilitas kolom *retrofit* C.2 lebih kecil dari kolom *retrofit* C.1, namun perubahan gaya tekan, kekakuan, dan modulus elastisitas kolom *retrofit* C.2 lebih besar dibandingkan dengan perubahan gaya tekan, kekakuan, dan modulus elastisitas kolom *retrofit* C.1. Pada perbaikan kolom asli C, kolom *retrofit* C.1 mengalami peningkatan daktilitas sebesar 187.2 % dibanding dengan kolom *retrofit* C.2 yang mengalami peningkatan daktilitas sebesar 109.71 %. Perubahan kekakuan dan modulus elastisitas kolom *retrofit* C2 lebih baik dari pada kolom *retrofit* C1, pada kolo *retrofit* C2 memiliki perubahan kekakuan sebesar -3.56 % sedangkan kolom *retrofit* C1 memiliki perubahan kekakuan sebesar -20.17 %. Untuk perubahan modulus elastisitas pada kedua kolom *retrofit* tersebut mengalami penurunan dari kolom aslinya, namun pada kolom *retrofit* C2 memiliki perubahan modulus elastisitas sebesar -57.14 % lebih kecil dari pada kolom *retrofit* C1 yang mempunyai perubahan modulus elastisitas sebesar -64.52 %. Hasil analisis perbandingan kolom *retrofit* C.1 dengan kolom *retrofit* C.2 dapat dilihat pada tabel 4.31, gambar 4.43 , dan gambar 4.44

Tabel 4. 38 Tabel perbandingan hasil penelitian kolom *retrofit* C.1 dengan kolom *retrofit* C.2

Kode Benda Uji Kolom	Perubahan Gaya Tekan Maksimum (%)	Perubahan Kekakuan (%)	Perubahan	
			Modulus Elastisitas (%)	Perubahan Daktilitas (%)
C1	-28.59	-20.17	-64.52	187.20
C2	-10.60	-3.56	-57.14	109.71

Dari data – data yang telah diperoleh dan di analisa, maka dapat disimpulkan kolom *retrofit* C.2 (jarak sengkang 14 cm) lebih efektif dibanding dengan kolom *retrofit* C.1 (jarak sengkang 9 cm). Secara teori, kolom *retrofit* dengan jarak sengkang yang lebih rapat akan memberikan pengekangan yang lebih efektif dibandingkan kolom *retrofit* dengan jarak sengkang yang lebih renggang, namun pada kolom *retrofit* C1 dan C2 tidak demikian. Hal ini kemungkinan disebabkan karena tulangan transversal pada kolom C1 dan C2 yang berfungsi sebagai pengekang mengalami patah saat pemasangan bambu sebagai tulangan transversal, sehingga jaket beton bertulang bambu pada kolom *retrofit* C1 dan C2 tidak memberikan pengekangan yang maksimal pada saat pengujian tekan.

4.7.2 Analisis Efektifitas Kolom *Retrofit* D.1 dengan Kolom *Retrofit* D.2

Setelah dilakukan pengujian dan mendapatkan data dari penelitian perbaikan pada kolom asli D1 dan kolom asli D2 dengan metode *concrete jacketing*, didapatkan hasil bahwa kolom *retrofit* D2 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 10 mm dengan jarak sengkang 14 cm lebih efektif dibandingkan dengan kolom *retrofit* D1 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 10 mm dengan jarak sengkang 9.3 cm. Hal ini dikarenakan pada kolom *retrofit* D2 mempunyai pengaruh yang sangat besar pada perbaikan kolom asli D. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa kolom *retrofit* D2 memiliki perubahan gaya tekan maksimum 13 % dari gaya tekan maksimum kolom asli D2, sedangkan kolom *retrofit* D1 memiliki perubahan gaya tekan sebesar -2.2 % dari kolom asli D1. Kekakuan pada kolom *retrofit* D2 mengalami peningkatan sebesar 11.38 %, sedangkan kolom *retrofit* D1 mengalami peningkatan 4.73 %. Modulus elastisitas kedua kolom *retrofit* tersebut juga mengalami penurunan, tetapi seperti yang terlihat pada tabel 4.34 perubahan modulus elastisitas kolom *retrofit* D2 lebih kecil dibanding dengan kolom *retrofit* D1. Kolom *retrofit* D2 juga mengalami peningkatan daktilitas sebesar 128.45 % dibanding dengan kolom *retrofit* D1 yang hanya mengalami peningkatan daktilitas sebesar 97.19 %

Tabel 4. 39 Tabel perbandingan hasil penelitian kolom *retrofit* D.1 dengan kolom *retrofit* D.2

Kode Benda Uji Kolom	Perubahan Gaya Tekan Maksimum (%)	Perubahan Kekakuan (%)	Perubahan Modulus Elastisitas (%)	Perubahan Daktilitas (%)
D1	-2.20	4.73	-53.45	97.19
D2	13.00	11.38	-50.50	128.45

Dari data – data yang telah diperoleh dan di analisa, maka dapat disimpulkan kolom *retrofit* D.2 (jarak sengkang 14 cm) lebih efektif dibanding dengan kolom *retrofit* D.1 (jarak sengkang 9.3). Secara teori, kolom *retrofit* dengan jarak sengkang yang lebih rapat akan memberikan pengekangan yang lebih efektif dibandingkan kolom *retrofit* dengan jarak sengkang yang lebih renggang, namun pada kolom *retrofit* D1 dan D2 tidak demikian. Hal ini kemungkinan disebabkan karena tulangan transversal pada kolom D1 yang berfungsi sebagai pengekang mengalami patah saat pemasangan bambu sebagai tulangan transversal, sehingga jaket beton bertulang bambu pada kolom D1 tidak memberikan pengekangan yang maksimal pada saat pengujian tekan.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan membandingkan kedua kolom *retrofit* dengan rasio tulangan yang sama, didapatkan hasil kolom *retrofit* dengan jarak sengkang 14 cm (C2 dan D2) mempunyai persentase peningkatan gaya tekan yang lebih besar dari pada kolom *retrofit* dengan jarak sengkang 9.3 cm (C1 dan D1). Kolom *retrofit* C2 mengalami penurunan gaya tekan sebesar 10.60 %, sedangkan kolom *retrofit* C1 mengalami penurunan gaya tekan sebesar 28.59 %. Kolom *retrofit* D2 mengalami peningkatan gaya tekan *retrofit* sebesar 13 %, sedangkan kolom *retrofit* D1 mengalami penurunan gaya tekan *retrofit* sebesar 2.2 %.
2. Dengan membandingkan kedua kolom *retrofit* dengan rasio tulangan yang sama, didapatkan hasil kolom *retrofit* dengan jarak sengkang 14 cm (C2 dan D2) mempunyai peningkatan kekakuan yang lebih besar dan penurunan modulus elastisitas yang lebih kecil dari pada kolom *retrofit* dengan jarak sengkang 9.3 cm (C1 dan D1). Pada kolom *retrofit* C, kolom *retrofit* C1 memiliki peningkatan daktilitas yang lebih besar dari pada kolom *retrofit* C2, sedangkan pada kolom *retrofit* D, kolom *retrofit* D2 memiliki peningkatan daktilitas yang lebih besar dari pada kolom *retrofit* D1.
3. Dari data – data penelitian yang telah didapatkan, dengan membandingkan kolom *retrofit* dengan rasio tulangan yang sama variasi jarak sengkang yang paling efektif adalah kolom *retrofit* dengan jarak sengkang 14 cm (C2 dan D2). Secara teori, seharusnya kolom *retrofit* dengan jarak sengkang yang lebih rapat akan memberikan pengekangan yang lebih efektif dibandingkan kolom *retrofit* dengan jarak sengkang yang lebih renggang. Hal ini kemungkinan disebabkan karena tulangan transversal pada kolom *retrofit* yang berfungsi sebagai pengekang mengalami patah saat pemasangan bambu sebagai tulangan transversal, sehingga jaket beton bertulang bambu pada kolom *retrofit* tidak memberikan pengekangan yang maksimal pada saat pengujian tekan

5.2 Saran

Saran yang bisa diberikan peneliti untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Perlu memakai mortar dan menggunakan metode shotcrete agar proses pengecoran seragam sehingga masuknya agregat lebih mudah.
2. Sebelum pengecoran kolom *retrofit*, pastikan terlebih dahulu ikatan sengkang sudah cukup kuat.
3. Sebelum pengujian dilakukan, pastikan terlebih dahulu perlengkapan yang digunakan sudah lengkap dan sesuai. Pada penelitian ini, pembacaan dial gauge pada kolom *retrofit* tidak terbaca secara maksimum karena penampang plat yang berfungsi sebagai alat bantu dalam pembacaan dial memiliki ukuran yang hampir sama dengan dimensi kolom *retrofit*, sehingga pada saat pembacaan dial terjadi kontak antara serpihan kolom dengan dial yang menyebabkan dial keluar dari plat tersebut dan pembacaan defleksi tidak sampai batas runtuh yang direncanakan.



DAFTAR PUSTAKA

- Budi, A.S. 2010. *Kapasitas Lentur Balok Bambu Wulung dengan Bahan Pengisi Mortar*. Jurnal Media Teknik Sipil. Vol. IX, halaman 93-99.
- Budi, A.S. & Sugiyarto 2013. *Kuat Lekat Tulangan Bambu Wulung dan Petung Takikan Pada Beton Normal*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7). Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Dipohusodo, I. 1999. *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Handayani, S. 2007. *Pengujian Sifat Mekanik Bambu (Metode Pengawetan dengan Boraks)*. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan. Vol. 9 (1), halaman 43-53.
- Hongmei, Z, dkk. 2014. *Seismic and Power Generation Performance of U-Shaped Steel Connected PV-Shear Wall under Lateral Cyclic Loading*. International Journal of Photoenergy. Vol. 2014.
- McCormac, J.C. 2004. *Desain Beton Bertulang*. Jilid ke-1. Sumargo, penerjemah : Sinamarta L, editor. Jakarta: Penerbit Erlangga. Terjemahan dari : Design of Reinforced Concrete Fifth Edition.
- Morisco. 1999. *Rekayasa Bambu*. Nafiri Offset. Yogyakarta.
- Mulyati. & A ,Arman. 2016. *Tinjauan Kuat Lekat Tulangan Bambu Dengan Beton*. Padang : Jurnal Momentum Vol. 18 (2), halaman 1-5.
- Mustafa, S. 2010. *Karakteristik Sifat Fisika dan Mekanika Bambu Petung pada Bambu Muda, Dewasa, dan Tua*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- Navratilova, R., Wibowo, A. & Nainggolan, C.R. 2018. *Pengaruh Rasio Tulangan Longitudinal dari Metode Jacket Beton Bertulangan Bambu dengan Senggang Baja pada Kolom Beton Bertulang*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil. Vol. 1 (1), 2018.
- Nawy, E.G. 1985. *Beton Bertulang – Suatu Pendekatan Dasar*. Suryoatmono B, penerjemah. Bandung : PT. Refika Aditama. Terjemahan dari : Reinforced Concrete – A Fundamental Approach.
- Nurlina, S. 2008. *Struktur Beton*. Bargie Media. Malang.
- Park, R.. 1988. *Ductility Evaluation from Laboratory and Analytical Testing*. New Zealand : Departement of Civil Engineering, University of Canterbury.

- Park, R. & Paulay, T. 1974. *Reinforced Concrete Structures*. New Zealand : Departement of Civil Engineering, University of Canterbury.
- Perdana, R.A., Nainggolan, C.R. & Wibowo, A. 2018. *Pengaruh Jarak Sengkang dari Metode Jacket Beton Bertulang Bambu pada Kolom Bertulang Ringan*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil. Vol. 1 (1), 2018.
- Razvi, S. & Saatcioglu, M. 1999. *Confinement Model for High-Strength Concrete*. Journal of Structural Engineering.
- Rudiyanto, R.P., Nainggolan, C.R. & Wibowo, A. 2018. *Pengaruh Jarak Sengkang Baja dari Metode Jacket Beton Bertulangan Bambu pada Kolom Bertulangan Ringan*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil. Vol. 1 (1), 2018.
- SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Wibowo, A. Hidayat., M.T. & Roehim, A. 2009. *Variasi Volume Tulangan Transversal dengan Inti Beton Terhadap Daktilitas Aksial Kolom Beton Bertulang*. Jurnal Rekayasa Sipil. Vol. 3 (3), halaman 181-191.
- Wibowo, A. 2016. *Analisa Hubungan Tegangan-Regangan Pada Kolom Beton Bertulang Mutu Tinggi*. Jurnal Rekayasa Sipil. Vol. 10 (1), halaman 71-81.
- Wibowo, A., Wijatmiko, I. & Nainggolan, C.R. 2017. *Structural Behavior of Lightweight Bamboo Reinforced Concrete Slab with EPS Infill Pan*. AIP Conference Proceedings, 2017.
- Wijatmiko, I., Wibowo, A. & Remayanti, C. 2017. *The Effect of Polymer Coated Pumice to The Stiffness and Flexural Strength of Reinforce Concrete Beam*. MATEC Web of Conferences 101, 2017.
- Wonlele, T., Dewi, S.M. & Nurlina, S. 2013. *Penerapan Bambu Sebagai Tulangan Dalam Struktur Batang Beton Bertulang*. Jurnal Rekayasa Sipil. Vol.7 (1), halaman 1-12