

**PENGARUH RASIO TULANGAN LONGITUDINAL DARI METODE BETON
BERTULANGAN BAMBU DENGAN SENGKANG BAJA PADA KOLOM
BETON BERTULANG**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**RUTH NAVRATILOVA SIAHAAN
NIM. 145060101111064**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2018

**PENGARUH RASIO TULANGAN LONGITUDINAL DARI METODE BETON
BERTULANGAN BAMBU DENGAN SENKANG BAJA PADA KOLOM
BETON BERTULANG**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**RUTH NAVRATILOVA S
NIM. 145060101111064**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH RASIO TULANGAN LONGITUDINAL DARI METODE BETON
BERTULANGAN BAMBU DENGAN SENGGANG BAJA PADA KOLOM
BETON BERTULANG**

SKRIPSI
TEKNIK SIPIL KONSENTRASI STRUKTUR

Diajukan untuk memenuhi sebagian
persyaratan memperoleh gelar Serjana Teknik



Disusun oleh:

RUTH NAVRATILOVA S
145060101111064

Skripsi ini telah dinyatakan lulus dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 15 Januari 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ari Wibowo, ST, MT., Ph.D
NIP.197406192000121002

Christin Remayanti N., ST, MT
NIP. 198403252015042001

Mengetahui
Ketua Program Studi S1

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

HALAMAN IDENTITAS PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi :

Pengaruh Rasio Tulangan Longitudinal dari Metode Beton Bertulangan Bambu dengan Sengkang Baja pada Kolom Beton Bertulang

Nama Mahasiswa : Ruth Navratilova S

NIM : 145060101111064

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Indradi W., ST., M.Eng (Prac)

Dosen Penguji 2 : Ari Wibowo, ST, MT., Ph.D

Dosen Penguji 3 : Christin Remayanti N., ST., MT.

Tanggal Ujian : 12 Januari 2018

SK Penguji : 83/UN10.F07/SK/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 hasil 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, 16 Januari 2017

Mahasiswa,

Ruth Navratilova S

NIM. 145060101111064

RIWAYAT HIDUP

Ruth Navratilova S, lahir di Aek Nabara, 27 Januari 1996, anak pertama dari Bapak Raja Parlutuhutan Siahaan dan Ibu Dewi Murni Sitorus. Menjalani pendidikan sekolah dasar di SD Methodist 1 Aek Nabara, lalu melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Katolik Santo Thomas 4 Medan, dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Katolik Santo Thomas 1 Medan dan lulus pada tahun 2014. Kemudian dilanjutkan dengan mengambil pendidikan sarjana di Universitas Brawijaya Jurusan Teknik Sipil dan lulus pada tahun 2018.

Selama kuliah aktif mengikuti beberapa kepanitiaan dan kepengurusan baik dibidang akamedis maupun di bidang kerohanian. Menjadi asisten praktikum laboratorium mekanika tanah dan geologi jurusan teknik sipil universitas brawijaya pada tahun 2017.

Malang, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
BAB 1 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	3
1.6 Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton.....	5
2.2 Baja.....	6
2.3 Bambu	7
2.3.1 Kuat Tekan Bambu.....	8
2.3.2 Kuat Tarik Bambu	9
2.3.3 Perlakuan pada Bambu sebagai Tulangan.....	12
2.3 Bambu sebagai tulangan bambu.....	11
2.3.1 Fungsi Tulangan Longitudinal	12
2.4 Bambu sebagai Tulangan Beton.....	13
2.4.1 Tulangan Longitudinal	14
2.4.2 Fungsi Tulangan Longitudinal	16
2.4.3 Pengaruh RasioTulangan Longitudinal	16
2.5 Tulangan Transversal	20
2.5.1 Fungsi Tulangan Transversal	21

2.6 Beton Bertulang	21
2.6.1 Tegangan Regangan Beton Bertulang	23
2.6.2 Hubungan Tegangan Regangan pada Beton Bertulang.....	24
2.7 Kolom.....	24
2.8 Jenis Kolom	25
2.9 Kolom Pendek dengan Beban Aksial	27
2.10 Jenis-Jenis Keruntuhan Kolom	28
2.10.1 Keruntuhan Tarik.....	28
2.6.2 Keruntuhan Tekan	28
2.6.2 Keruntuhan Balanced	28
2.11 Modulus Elastisitas.....	28
2.12 Kekakuan	29
2.13 Perkuatan Kolom dengan <i>Concrete Jacketing</i>	29
2.14 Penelitian Mengenai Metode <i>Concrete Jacketing</i> Sebagai Perkuatan (<i>Retrofit</i>)	32
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	35
3.2 Bahan Penelitian	35
3.2.1 Pozzolan Portland Cement	35
3.2.2 Tulangan Baja.....	35
3.2.3 Tulangan Bambu	35
3.2.4 Agregat	35
3.2.5 Air	36
3.2.6 Bahan Perikat Beton	36
3.3 Peralatan Penelitian	36
3.3.1 Saringan.....	36
3.3.2 Timbangan.....	36

3.3.3 Mesin Pengaduk Beton.....	36
3.3.4 Cetakan Benda Uji	36
3.3.5 Alat Uji Tekan.....	37
3.3.5 Alat Uji Tarik	37
3.3.6 <i>Dial Gauge Digital</i>	37
3.3.7 Alat Bantu Lainnya	37
3.4 Tahapan Penelitian	38
3.5 Rancangan Penelitian	39
3.6 Variable Penelitian	46
3.7 Prosedur Penelitian.....	46
3.7.1 Pengujian Bahan Dasar	46
3.7.2 Pembuatan Benda Uji.....	46
3.7.3 Perawatan Benda Uji.....	47
3.7.4 Pengujian Kuat Tekan	47
3.7.4 Pengujian Kuat Tarik	49
3.8 Metode Analisis.....	50
3.8.1 Pengumpulan Data	50
3.8.2 Pengolahan Data.....	52
3.9 Hipotesis Penelitian.....	61
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	63
4.1 Analisis Bahan.....	63
4.1.1 Agregat Kasar.....	63
4.1.2 Agregat Halus.....	63
4.1.3 Air	63
4.1.4 Baja Tulangan	63
4.1.5 Campuran Beton.....	64

4.2 Pengujian Beton Segar.....	64
4.3 Pembuatan Benda Uji Silinder	66
4.4 Pengujian Gaya Tekan Kolom.....	71
4.5 Perawatan (<i>Curing</i>).....	83
4.6 Pembahasan	84
4.6.1 Grafik Perbandingan Gaya Tekan dan Defleksi.....	84
4.6.1.1 Kolom Asli A.3 – Kolom Retrofit A.3	87
4.6.1.2 Kolom Asli B.3 – Kolom Retrofit B.3	92
4.6.1.3 Kolom Asli C.3 – Kolom Retrofit C.3	98
4.6.1.4 Kolom Asli D.3 – Kolom Retrofit D.3	104
4.6.2 Grafik Hubungan Hubungan Tegangan Regangan Kolom Asli dan Kolom Retrofit.....	108
4.6.2.1 Kolom Asli A.3 – Kolom Retrofit A.3	111
4.6.2.2 Kolom Asli B.3 – Kolom Retrofit B.3	119
4.6.2.3 Kolom Asli C.3 – Kolom Retrofit C.3	123
4.6.2.4 Kolom Asli D.3 – Kolom Retrofit D.3	129
4.7 Daktilitas Kolom Asli dan Kolom Retrofit.....	133
4.7.1 Analisi Efisiensi Kolom Retrofit	136
4.7.2.1 Analisis Efisiensi Rasio Tulangan Longitudinal Kolom Retrofit A.3 dengan Kolom Retrofit C.3	136
4.7.2.1 Analisis Efisiensi Rasio Tulangan Longitudinal Kolom Retrofit B.3 dengan Kolom Retrofit D.3	139
BAB 5 PENUTUP	141
5.1 Kesimpulan.....	141
5.2 Saran.....	142
DAFTAR PUSTAKA	143

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kuat tekan rata-rata bambu petung kering oven	9
Tabel 2.2	Tegangan tarik bambu kering oven	10
Tabel 2.3	Tegangan tarik bambu kering oven tanpa nodia	10
Tabel 2.4	Kuat batas dan tegangan ijin bambu.....	11
Tabel 2.5	Frekuensi Gelombang Mekanik Longitudinal.....	11
Tabel 3.1	Penelitian kolom retrofit dengan variasi tulangan bambu dan jarak sengkang yang berbeda	39
Tabel 3.2	Jumlah benda uji.....	40
Tabel 3.3	Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan kolom asli dan kolom retrofit	51
Tabel 3.4	Form pengumpulan data dari hasil pengujian kuat tekan beton silinder sampel kolom asli dan kolom retrofit	51
Tabel 3.5	Form pengumpulan data dari hasil pengujian kuat tekan kolom asli dan kolom retrofit.....	51
Tabel 3.6	Form pengumpulan data dari pengujian kuat tarik tulangan baja Ø6 mm dan Ø8 mm.....	51
Tabel 3.7	Form pengolahan data dari pengujian kuat tekan kolom asli dan kolom retrofit.....	52
Tabel 3.8	Form perbandingan kuat beban aksial nominal kolom secara teoritis dengan kuat tekan beban aksial ultimate secara aktual kolom asli.....	53
Tabel 3.9	Form perbandingan kuat beban aksial nominal kolom secara teoritis dengan kuat tekan beban aksial ultimate secara aktual kolom retrofit.....	53

Tabel 3.10 Form pengolahan data hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit.....	53
Tabel 3.11 Form pengolahan data rata-rata dari hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit.....	54
Tabel 3.12 Form hasil pengolahan data kekakuan dan modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit.....	54
Tabel 4.1 Uji Tulangan Baja.....	64
Tabel 4.2 Hasil Uji Slump Beton Kolom Asli.....	64
Tabel 4.3 Hasil Uji Slump Beton Silinder kolom retrofit.....	64
Tabel 4.4 Hasil uji gaya tekan beton benda uji silinder kolom asli.....	67
Tabel 4.5 Hasil uji gaya tekan beton benda uji silinder kolom retrofit.....	67
Tabel 4.6 Hasil uji rata-rata uji kuat beban aksial ultimate aktual kolom asli.....	73
Tabel 4.7 Hasil perbandingan kuat beban aksial nominal teoritis dan ultimate aktual kolom asli.....	74
Tabel 4.8 Hasil uji rata-rata uji kuat beban aksial ultimate aktual kolom retrofit.....	76
Tabel 4.9 Hasil perbandingan kuat beban aksial nominal teoritis dan ultimate aktual kolom asli.....	77
Tabel 4.10 Hasil data kekakuan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit.....	85
Tabel 4.11 Hasil rata –rata kekakuan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit.....	85
Tabel 4.12 Data rata –rata hasil uji tekan kolom asli A.3.....	87
Tabel 4.13 Data rata –rata hasil uji tekan kolom retrofit A.3.....	88
Tabel 4.14 Data rata –rata hasil uji tekan kolom asli B.3.....	92

Tabel 4.15 Data rata –rata hasil uji tekan kolom retrofit B.3.....	93
Tabel 4.16 Data rata –rata hasil uji tekan kolom asli C.3.....	98
Tabel 4.17 Data rata –rata hasil uji tekan kolom retrofit C.3.....	99
Tabel 4.18 Data rata –rata hasil uji tekan kolom asli D.3.....	104
Tabel 4.19 Data rata –rata hasil uji tekan kolom retrofit D.3.....	105
Tabel 4.20 Data modulus elastisitas hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit.....	109
Tabel 4.21 Data rata –rata modulus elastisitas hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit.....	109
Tabel 4.21 Data rata –rata hasil tegangan regangan kolom asli A.3.....	111
Tabel 4.22 Data rata –rata hasil tegangan regangan kolom retrofit A.3.....	112
Tabel 4.23 Data rata –rata hasil tegangan regangan kolom asli B.3.....	117
Tabel 4.24 Data rata –rata hasil tegangan regangan kolom retrofit B.3.....	118
Tabel 4.25 Data rata –rata hasil tegangan regangan kolom asli C.3.....	123
Tabel 4.26 Data rata –rata hasil tegangan regangan kolom retrofit C.3.....	124
Tabel 4.27 Data rata –rata hasil tegangan regangan kolom asli D.3.....	129
Tabel 4.28 Data rata –rata hasil tegangan regangan kolom retrofit D.3.....	130
Tabel 4.29 Daktilitas pada kolom asli dan kolom retrofit.....	134
Tabel 4.30 Perbandingan hasil penelitian kolom retrofit A.3 dengan C.3.....	137
Tabel 4.31 Perbandingan hasil penelitian kolom retrofit B.3 dengan D.3.....	13

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubungan tegangan regangan beton	6
Gambar 2.2	Tegangan regangan dari baja	7
Gambar 2.3	Diagram tegangan regangan Bambu dan Baja.....	12
Gambar 2.4	Perilaku Bambu yang tidak dilapisi kedap air.	13
Gambar 2.5	Pengekangan dengan tulangan sengkang dan tulangan longitudinal	16
Gambar 2.6	Variasi tegangan pengekang akibat jumlah dan susunan tulangan (longitudinal dan transversal)	17
Gambar 2.7	Efektifitas pengekangan.....	18
Gambar 2.8	Jarak antar Tulangan Longitudinal mempengaruhi efektifitas pengekangan	18
Gambar 2.9	Efek konfigurasi dan jarak sengkang	19
Gambar 2.10	Distribusi tegangan kekangan dalam arah lateral an longitudinal	19
Gambar 2.11	Arching action pada beton terkekang.	20
Gambar 2.12	Kurva tegangan-regangan dari tulangan baja untuk berbagai mutu	22
Gambar 2.13	Kurva tegangan-regangan dari tulangan beton dan baja pada suatu elemen beton bertulang yang dibebani.....	22
Gambar 2.14	Kurva tegangan-regangan pada beton bertulang.....	24
Gambar 2.15	Berbagai jenis kolom	26
Gambar 2.16	Grafik gaya tekan dan deformasi material yang dibebani aksial	29
Gambar 2.18	Beberapa alternatif pengambilan lendutan pada titik leleh.....	30
Gambar 3.1	Diagram alir tahapan penelitian	38
Gambar 3.2	Benda uji kolom asli	41
Gambar 3.3	Benda uji kolom retrofit kode A3	42

Gambar 3.4	Benda uji kolom retrofit kode B3	43
Gambar 3.5	Benda uji kolom retrofit kode C3	44
Gambar 3.6	Benda uji kolom retrofit kode D3	45
Gambar 3.7	Pengujian Kuat Tekan Kolom Asli.....	48
Gambar 3.8	Pengujian Kuat Tekan Kolom Retrofit	48
Gambar 3.9	Pengujian Kuat Tarik Tulangan Baja	49
Gambar 3.10	Grafik Perbandingan Uji Kuat Tekan Beton Silinder kolom asli dengan kolom retrofit.....	55
Gambar 3.11	Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum kolom asli secara teoritis dengan aktual.....	55
Gambar 3.12	Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum kolom retrofit secara teoritis dengan aktual... ..	56
Gambar 3.13	Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum kolom asli dengan retrofit.....	56
Gambar 3.14	Grafik hubungan gaya tekan dan defleksi kolom asli	57
Gambar 3.15	Grafik hubungan tegangan dan regangan kolom asli	57
Gambar 3.16	Grafik hubungan gaya tekan dan defleksi kolom retrofit	58
Gambar 3.17	Grafik hubungan tegangan dan regangan kolom retrofit.....	58
Gambar 3.18	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom retrofit.....	61
Gambar 3.19	Grafik perbandingan hasil tegangan dan regangan kolom asli dengan kolom retrofit.....	61
Gambar 4.1	Uji Slump.....	65
Gambar 4.2	Uji Tekan Beton.....	66
Gambar 4.3	Grafik perbandingan hasil uji tekan beton silinder kolom asli A dengan kolom retrofit A.....	69

Gambar 4.4	Grafik perbandingan hasil uji tekan beton silinder kolom asli A dengan kolom retrofit B.....	69
Gambar 4.5	Grafik perbandingan hasil uji tekan beton silinder kolom asli A dengan kolom retrofit C.....	70
Gambar 4.6	Grafik perbandingan hasil uji tekan beton silinder kolom asli A dengan kolom retrofit D.....	70
Gambar 4.7	Pengujian Gaya Tekan.....	73
Gambar 4.8	Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum teoritis dan aktual kolom asli A3.....	79
Gambar 4.8	Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum teoritis dan aktual kolom asli B3.....	79
Gambar 4.9	Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum teoritis dan aktual kolom asli C3.....	80
Gambar 4.10	Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum teoritis dan aktual kolom asli D3.....	80
Gambar 4.11	Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum teoritis dan aktual kolom Retrofit A3.....	81
Gambar 4.12	Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum teoritis dan aktual kolom Retrofit B3.....	81
Gambar 4.13	Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum teoritis dan aktual kolom Retrofit C3.....	82
Gambar 4.14	Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum teoritis dan aktual kolom Retrofit D3.....	82
Gambar 4.14	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.3.1 dengan kolom retrofit A.3.1.....	89
Gambar 4.15	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.3.2 dengan kolom retrofit A.3.2.....	89

Gambar 4.16 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.3.3 dengan kolom retrofit A.3.3.....	90
Gambar 4.17 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.3 dengan kolom retrofit A.3.....	90
Gambar 4.18 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.3.1 dengan kolom retrofit B.3.1.....	95
Gambar 4.19 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.3.2 dengan kolom retrofit B.3.2.....	95
Gambar 4.20 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.3.3 dengan kolom retrofit B.3.3.....	96
Gambar 4.21 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.3 dengan kolom retrofit B.3.....	96
Gambar 4.22 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.3.1 dengan kolom retrofit C.3.1.....	101
Gambar 4.23 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.3.2 dengan kolom retrofit C.3.2.....	101
Gambar 4.24 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.3.3 dengan kolom retrofit C.3.3.....	102
Gambar 4.25 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.3 dengan kolom retrofit C.3.....	102
Gambar 4.26 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.3.1 dengan kolom retrofit D.3.1.....	106
Gambar 4.27 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.3.2 dengan kolom retrofit D.3.2.....	106
Gambar 4.28 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.3.3 dengan kolom retrofit D.3.3.....	107

Gambar 4.29 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.3 dengan kolom retrofit D.3.....	107
Gambar 4.30 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli A.3.1 dengan kolom retrofit A.3.1.....	114
Gambar 4.31 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli A.3.2 dengan kolom retrofit A.3.2.....	114
Gambar 4.32 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli A.3.3 dengan kolom retrofit A.3.3.....	115
Gambar 4.33 Grafik perbandingan hubungan tegangan regangan kolom asli A.3 dengan kolom retrofit A.3.....	115
Gambar 4.34 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli B.3.1 dengan kolom retrofit B.3.1.....	120
Gambar 4.35 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli B.3.2 dengan kolom retrofit B.3.2.....	120
Gambar 4.36 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli B.3.3 dengan kolom retrofit B.3.3.....	121
Gambar 4.37 Grafik perbandingan hubungan tegangan regangan kolom asli B.3 dengan kolom retrofit B.3.....	121
Gambar 4.38 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli C.3.1 dengan kolom retrofit C.3.1.....	126
Gambar 4.39 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli C.3.2 dengan kolom retrofit C.3.2.....	126
Gambar 4.40 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli C.3.3 dengan kolom retrofit C.3.3.....	127
Gambar 4.41 Grafik perbandingan hubungan tegangan regangan kolom asli C.3 dengan kolom retrofit C.3.....	127

Gambar 4.42 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli D.3.1 dengan kolom retrofit D.3.1.....	131
Gambar 4.43 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli D.3.2 dengan kolom retrofit D.3.2.....	131
Gambar 4.44 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli D.3.3 dengan kolom retrofit D.3.3.....	132
Gambar 4.45 Grafik perbandingan hubungan tegangan regangan kolom asli D.3 dengan kolom retrofit D.3.....	132
Gambar 4.46 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom retrofit A.3-C.3.....	137
Gambar 4.47 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli dengan kolom retrofit A.3-C3.....	138
Gambar 4.48 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom retrofit B.3-D.3.....	140
Gambar 4.49 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli dengan kolom retrofit B.3-D3.....	141

RINGKASAN

Ruth Navratilova Siahaan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2018, *Pengaruh Rasio Tulangan Longitudinal dari Metode Beton Bertulangan Bambu dengan Sengkang Baja pada Kolom Beton Bertulang*, Dosen Pembimbing : Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D. dan Christin Remayanti N., ST., MT.

Pada bangunan, struktur yang paling sering mengalami keruntuhan adalah kolom. Dimana kolom memiliki fungsi sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Sehingga kolom memiliki peranan penting dalam struktur bangunan. Oleh sebab itu, ada beberapa metode perkuatan kolom yang dapat dilakukan untuk mengatasi keruntuhan kolom tersebut. Pada penelitian ini akan dibahas perkuatan kolom dengan metode *concrete jacketing*. Metode *concrete jacketing* adalah metode perkuatan (*retrofit*) beton dengan cara menyelimuti beton yang telah ada dengan beton tambahan yang terdiri dari beton dan tulangan, sehingga dimensi kolom akan semakin besar dari sebelumnya.

Pada penelitian ini digunakan material bambu sebagai tulangan longitudinal dan material baja sebagai tulangan transversal. Terdapat 4 jenis pemodelan kolom retrofit yang diteliti pada penelitian ini, kolom retrofit kode A.3 menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 4 buah ukuran 10 x 10 mm dengan jarak antar tulangan transversal 9.3 cm, kolom retrofit kode B.3 menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 8 buah berukuran 10 x 5 mm dengan jarak antar tulangan transversal 9.3 cm, kolom retrofit kode C.3 menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 4 buah berukuran 20 x 10 mm dengan jarak antar tulangan transversal 9.3 cm, dan kolom retrofit kode D.3 menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 8 buah berukuran 10 x 10 dengan jarak tulangan transversal 9.3 cm. Yang dibandingkan antara A.3 dengan C.3 dan B.3 dengan D.3 adalah rasio tulangan longitudinal, dimana A.3 sebesar 1.23% dengan C.3 sebesar 2.47% dan B.3 sebesar 1.23% dengan D.3 sebesar 2.47 %.

Dari hasil penelitian ini didapatkan, kolom retrofit A.3 lebih efisien dibandingkan dengan C.3. Hal ini dikarenakan dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kolom retrofit A.3 memiliki nilai daktilitas lebih besar daripada kolom retrofit C.3. Nilai peningkatan daktilitas kolom retrofit A.3 sebesar 74% dan kolom retrofit C.3 yaitu sebesar 51%. Walaupun, kolom retrofit C.3 memiliki beban tekan aksial ultimate 16.08% lebih besar dibanding dengan beban tekan aksial kolom retrofit A.3. Dan kolom retrofit C.3 memiliki kekakuan dan modulus elastisitas lebih besar 43.3% dari kolom retrofit A.3. Ini

membuktikan bahwa yang lebih utama diperhatikan dalam penelitian ini adalah nilai daktilitas dari kolom.

Dari hasil penelitian ini didapatkan, kolom retrofit D.3 lebih efisien dibandingkan dengan B.3. Hal ini dikarenakan dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai daktilitas kolom retrofit D.3 lebih besar dari kolom retrofit B.3. Nilai peningkatan daktilitas B.3 sebesar 16% sedangkan kolom retrofit B.3 mengalami penurunan daktilitas sebesar 77%. Namun, kolom retrofit D.3 memiliki beban tekan aksial ultimate 20% lebih kecil dibanding dengan beban tekan aksial kolom retrofit B.3. Dan Kolom retrofit D.3 memiliki kekakuan dan modulus elastisitas lebih rendah 13% dari kolom retrofit B.3. Walaupun begitu, kolom retrofit D.3 tetap lebih efisien dari kolom retrofit B.3 dikarenakan hal yang lebih utama diperhatikan adalah nilai daktilitas dari kolom

Kata Kunci : *concrete jacketing*, efektivitas, gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, daktilitas.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	vi
BAB 1 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	3
1.6 Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton.....	5
2.2 Baja.....	6
2.3 Bambu	7
2.3.1 Kuat Tekan Bambu	8
2.3.2 Kuat Tarik Bambu	9
2.3.3 Perlakuan pada Bambu sebagai Tulangan	12
2.3 Bambu sebagai tulangan bambu	11
2.3.1 Fungsi Tulangan Longitudinal.....	12
2.4 Bambu sebagai Tulangan Beton	13
2.4.1 Tulangan Longitudinal	14
2.4.2 Fungsi Tulangan Longitudinal.....	16
2.4.3 Pengaruh RasioTulangan Longitudinal	16
2.5 Tulangan Transversal.....	20
2.5.1 Fungsi Tulangan Transversal.....	21

2.6 Beton Bertulang.....	21
2.6.1 Tegangan Regangan Beton Bertulang.....	23
2.6.2 Hubungan Tegangan Regangan pada Beton Bertulang.....	24
2.7 Kolom.....	24
2.8 Jenis Kolom.....	25
2.9 Kolom Pendek dengan Beban Aksial.....	27
2.10 Jenis-Jenis Keruntuhan Kolom	28
2.10.1 Keruntuhan Tarik	28
2.6.2 Keruntuhan Tekan	28
2.6.2 Keruntuhan Balanced	28
2.11 Modulus Elastisitas	28
2.12 Kekakuan.....	29
2.13 Perkuatan Kolom dengan <i>Concrete Jacketing</i>	29
2.14 Penelitian Mengenai Metode <i>Concrete Jacketing</i> Sebagai Perkuatan (<i>Retrofit</i>)	32
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	35
3.2 Bahan Penelitian.....	35
3.2.1 Pozzolan Portland Cement	35
3.2.2 Tulangan Baja	35
3.2.3 Tulangan Bambu	35
3.2.4 Agregat.....	35
3.2.5 Air	36
3.2.6 Bahan Perikat Beton	36
3.3 Peralatan Penelitian	36
3.3.1 Saringan.....	36
3.3.2 Timbangan.....	36

3.3.3 Mesin Pengaduk Beton	36
3.3.4 Cetakan Benda Uji	36
3.3.5 Alat Uji Tekan	37
3.3.5 Alat Uji Tarik.....	37
3.3.6 <i>Dial Gauge Digital</i>	37
3.3.7 Alat Bantu Lainnya.....	37
3.4 Tahapan Penelitian.....	38
3.5 Rancangan Penelitian.....	39
3.6 Variable Penelitian.....	46
3.7 Prosedur Penelitian	46
3.7.1 Pengujian Bahan Dasar.....	46
3.7.2 Pembuatan Benda Uji	46
3.7.3 Perawatan Benda Uji	47
3.7.4 Pengujian Kuat Tekan	47
3.7.4 Pengujian Kuat Tarik.....	49
3.8 Metode Analisis	50
3.8.1 Pengumpulan Data.....	50
3.8.2 Pengolahan Data	52
3.9 Hipotesis Penelitian	61
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	63
4.1 Analisis Bahan	63
4.1.1 Agregat Kasar	63
4.1.2 Agregat Halus	63
4.1.3 Air	63
4.1.4 Baja Tulangan.....	63
4.1.5 Campuran Beton	64
4.2 Pengujian Beton Segar.....	64

4.3 Pembuatan Benda Uji Silinder	66
4.4 Pengujian Gaya Tekan Kolom	71
4.5 Perawatan (<i>Curing</i>)	83
4.6 Pembahasan.....	84
4.6.1 Grafik Perbandingan Gaya Tekan dan Defleksi.....	84
4.6.1.1 Kolom Asli A.3 – Kolom Retrofit A.3.....	87
4.6.1.2 Kolom Asli B.3 – Kolom Retrofit B.3	92
4.6.1.3 Kolom Asli C.3 – Kolom Retrofit C.3	98
4.6.1.4 Kolom Asli D.3 – Kolom Retrofit D.3.....	104
4.6.2 Grafik Hubungan Hubungan Tegangan Regangan Kolom Asli dan Kolom Retrofit.....	108
4.6.2.1 Kolom Asli A.3 – Kolom Retrofit A.3.....	111
4.6.2.2 Kolom Asli B.3 – Kolom Retrofit B.3	119
4.6.2.3 Kolom Asli C.3 – Kolom Retrofit C.3	123
4.6.2.4 Kolom Asli D.3 – Kolom Retrofit D.3.....	129
4.7 Daktilitas Kolom Asli dan Kolom Retrofit	133
4.7.1 Analisi Efisiensi Kolom Retrofit.....	136
4.7.2.1 Analisis Efisiensi Rasio Tulangan Longitudinal Kolom Retrofit A.3 dengan Kolom Retrofit C.3.....	136
4.7.2.1 Analisis Efisiensi Rasio Tulangan Longitudinal Kolom Retrofit B.3 dengan Kolom Retrofit D.3	139
BAB 5 PENUTUP.....	141
5.1 Kesimpulan.....	141
5.2 Saran.....	142
DAFTAR PUSTAKA	143

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton adalah material konstruksi yang sekarang ini sudah sangat umum digunakan. Bahan penyusun beton yang sering digunakan antara lain semen, pasir, kerikil (batu pecah), dan air, sering kali beton tersebut ditambah dengan bahan additive. Beton yang bermutu baik mempunyai beberapa kelebihan diantaranya, tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh kondisi lingkungan, tahan aus, dan tahan terhadap cuaca (panas, dingin, sinar matahari, hujan). Beton juga memiliki beberapa kelemahan, yaitu lemah terhadap kuat tarik, mengembang dan menyusut bila terjadi perubahan suhu, sulit kedap air secara sempurna, dan bersifat getas (Tjokrodinuljo, 1996). Struktur bangunan yang terbuat dari beton akan mengalami kegagalan yang diakibatkan oleh bencana alam, kebakaran, kesalahan dalam perencanaan, pembebanan berlebih (*overloading*), dan lain-lain. Struktur bangunan yang paling sering dijumpai mengalami keruntuhan adalah kolom. Dimana kolom berfungsi sebagai penopang dan menyalurkan beban ke pondasi. Sehingga kolom dalam struktur bangunan merupakan suatu elemen terpenting didalam suatu konstruksi maka perlu diperhatikan ketika kolom mengalami suatu kegagalan.

Dengan semakin berkembangnya pembangunan konstruksi di Indonesia, saat ini berkembang pula inovasi - inovasi dalam perkuatan ataupun perbaikan struktur konstruksi. Metode yang digunakan untuk perkuatan ataupun perbaikan struktur konstruksi antara lain. Perkuatan atau biasa disebut (*retrofitting*) pada struktur bangunan bisa dilakukan dengan berbagai metode, diantaranya adalah penambahan pelat baja, melakukan eksternal prestressing, pemberian FRP (*Fiber Reinforced Polymer*), perbesaran dimensi konstruksi beton (*concrete jacketing*), dan lain-lain.

Pada penelitian ini metode yang dipilih dalam perkuatan (*retrofitting*) kolom adalah metode *concrete jacketing* karena. Pemilihan metode *concrete jacketing* dalam perbaikan kolom dikarenakan metode *concrete jacketing* sangat mudah dilaksanakan serta lebih efisien dari segi waktu dan biaya dikarenakan tidak harus membongkar kembali kolom yang sudah rusak. Metode *concrete jacketing* adalah metode dimana beton diberi

penambahan atau penebalan dimensi. Tulangan yang biasanya dipakai pada *concrete jacketing* ini menggunakan tulangan baja. Karena sifat material baja yang tidak dapat diperbaharui dan suatu saat dapat habis. Maka peneliti menggunakan bambu sebagai pengganti material tulangan baja. Bambu juga memiliki kuat tarik yang lebih tinggi dari kuat tarik baja sehingga bambu dapat melebihi kekuatan baja. Bambu digunakannya sebagai pengganti tulangan baja adalah karena ingin menerapkan *green building* dan *sustainable building*. Bambu merupakan material yang dapat diperbaharui dan penanamannya mudah sehingga dapat disebut sebagai bangunan yang ramah lingkungan (*green building*). Bambu yang mudah ditemui didesa-desa dan relative murah membuat pembangunan ini dapat dilakukan secara berkelanjutan (*sustainable building*).

Didalam kehancuran struktur kolom, tulangan longitudinal mempunyai peranan yang sangat penting dikarenakan tulangan longitudinal sebagai tempat komponen tulangan transversal mengekang dan mengikat. Jarak antar tulangan longitudinal sangat berpengaruh terhadap tingkat kekuatan kolom, karena semakin rapat jarak antar tulangan longitudinal maka kolom akan semakin kuat. Namun, jika semakin renggang jarak antar tulangan longitudinal maka akan semakin banyak volume beton yang tidak ditahan dan kemungkinan terjadi runtuh pada kolom. Jarak antar tulangan longitudinal itu dipengaruhi oleh jumlah tulangan dan dimensi tulangan longitudinal yang digunakan. Dimana jumlah tulangan dan dimensi tulangan longitudinal itu akan mempengaruhi besarnya rasio tulangan longitudinal tersebut.

Pada penelitian ini, akan diamati pengaruh variasi rasio tulangan longitudinal terhadap keruntuhan kolom setelah diperkuat dengan metode *concrete jacketing* dengan menggunakan bahan bambu petung sebagai tulangan longitudinal dan baja sebagai tulangan transversal.

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan tegangan regangan dan kapasitas beban aksial yang lebih efektif dari kolom retrofit dengan menggunakan metode *concrete jacketing*. Parameter yang digunakan untuk mengetahui hal tersebut pada penelitian ini adalah variasi rasio tulangan longitudinal bambu pada kolom retrofit.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan diatas maka dapat dirumuskan masalah yang akan dibahas sebagai berikut:

1. Bagaimanakah hasil kekakuan, daktilitas dan modulus elastisitas kolom retrofit dengan variasi rasio tulangan longitudinal bambu yang berbeda?
2. Bagaimanakah kapasitas kuat beban aksial kolom retrofit dengan variasi rasio tulangan longitudinal bambu yang berberda?
3. Berapakah besar variasi rasio tulangan longitudinal yang paling efektif pada kolom retrofit?

1.4 Batasan Masalah

Untuk memperjelas ruang lingkup pada penelitian kolom retrofit ini, maka pembatasan masalah diberikan sebagai berikut:

1. Mutu beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah 17,5 Mpa
2. Kolom yang digunakan asli mempunyai dimensi 12 cm x 12 cm x 30 cm.
3. Kolom yang digunakan retrofit mempunyai dimensi 18 cm x 18 cm x 30 cm.
4. Material yang digunakan pada tulangan longitudinal dan transversal pada kolom asli adalah tulangan baja.
5. Material yang digunakan pada kolom retrofit yaitu, tulangan longitudinal adalah tulangan bambu dan tulangan transversal adalah tulangan baja.
6. Jenis bambu yang digunakan sebagai tulangan longitudinal pada kolom retrofit adalah jenis bambu petung.
7. Kolom asli dipasang 4 buah tulangan longitudinal \varnothing 8 mm dan tulangan transversal \varnothing 6 mm dengan pemasangan jarak antar tulangan transversal 14 cm.
8. Kolom retrofit yang menggunakan tulangan longitudinal bambu 1 cm x 1 cm dengan rasio tulangan longitudinal (ρ) sebesar 1,23 yang dipasang sebanyak 4 buah.
9. Kolom retrofit yang menggunakan tulangan longitudinal bambu 1 cm x 0,5 cm dengan rasio tulangan longitudinal (ρ) sebesar 1,23 yang dipasang sebanyak 8 buah.
10. Kolom retrofit yang menggunakan tulangan longitudinal bambu 1 cm x 1 cm dengan rasio tulangan longitudinal (ρ) sebesar 2,47 yang dipasang sebanyak 8 buah.
11. Kolom retrofit yang menggunakan tulangan longitudinal bambu 1 cm x 2 cm dengan rasio tulangan longitudinal (ρ) sebesar 2,47 yang dipasang sebanyak 4 buah.
12. Jarak tulangan transversal baja pada kolom retrofit 9.3 cm.

13. Variasi yang akan dibandingkan dalam penelitian ini adalah variasi rasio tulangan longitudinal (ρ).
14. Karakteristik pengujian kekuatan kolom retrofit yang akan diamati dalam penelitian ini adalah pengujian kuat tekan kolom dan tegangan – regangan.

1.5 Tujuan Penelitian

Kajian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis hasil kekakuan, modulus elastisitas dan daktilitas kolom retrofit dengan variasi rasio tulangan longitudinal bambu yang berbeda.
2. Menganalisis hasil kapasitas beban aksial kolom retrofit dengan variasi rasio tulangan longitudinal bambu yang berbeda.
3. Menganalisis nilai variasi rasio tulangan longitudinal bambu yang paling efektif pada kolom retrofit.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

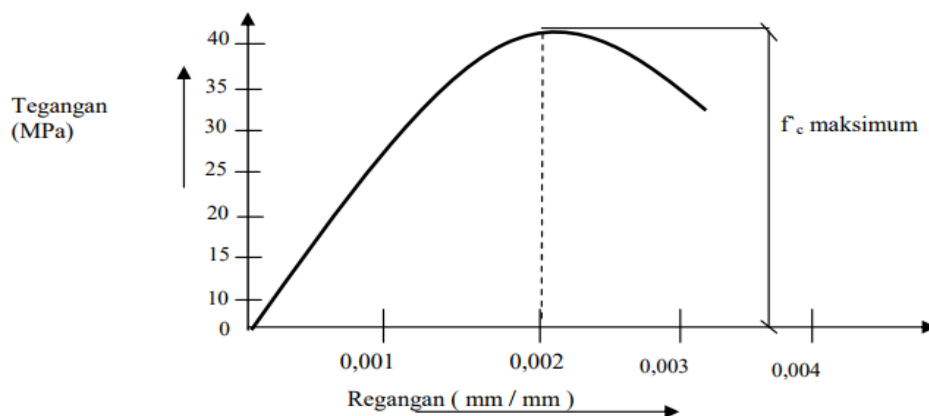
1. Bagi penulis:
 - Mengetahui hasil kekakuan, modulus elastisitas dan daktilitas pada kolom retrofit dengan variasi rasio tulangan longitudinal bambu yang berbeda.
 - Mengetahui kapasitas kuat beban aksial kolom retrofit dengan rasio tulangan longitudinal bambu yang berbeda.
 - variasi rasio tulangan longitudinal bambu yang paling efektif pada kolom retrofit.
2. Bagi pembaca:
 - Dapat menjadi referensi untuk menentukan variasi rasio tulangan longitudinal yang paling efektif pada kolom retrofit dengan menggunakan metode *concrete jacketing*

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Beton

Beton merupakan suatu material yang terbuat dari campuran semen, air, agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir) dan dengan atau bahan tambah (*admixture*) apabila diperlukan. Semen dan air mempunyai fungsi sebagai bahan pengikat, agregat kasar dan halus berfungsi sebagai bahan pengisi dan penguat. Kekuatan beton juga dipengaruhi oleh variasi ukuran agregat. Pemilihan bahan akan mempengaruhi konstruksi dari segi kemudahan pengerjaan (*workability*). Dalam penelitian ini bahan untuk agregat kasar yang digunakan berukuran maksimal 1 cm. Salah satu alasan beton digunakan dalam konstruksi adalah mempunyai kuat tekan tinggi, relatif tanpa perawatan, usia layan yang panjang, mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan, memiliki ketahanan yang tinggi terhadap api serta cuaca. Tetapi beton juga memiliki kelemahan seperti mempunyai tahanan yang kurang baik terhadap beban tarik. Nilai kuat tekan dan kuat tarik beton dapat digunakan untuk menggambarkan grafik hubungan tegangan regangan beton. Berikut Gambar 2.1. yang menyatakan nilai tegangan yang bersesuaian dengan nilai regangan betonnya.



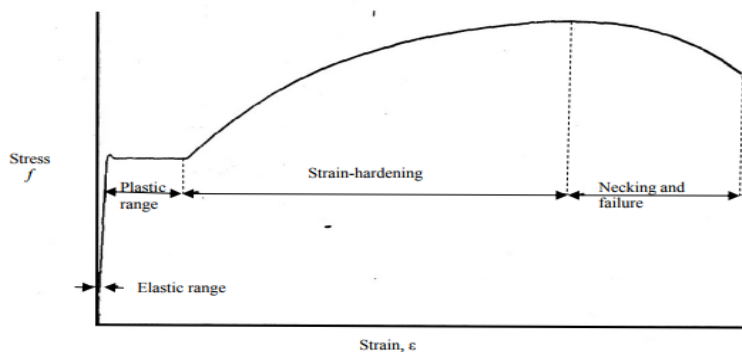
Gambar 2. 1 Hubungan Tegangan-Regangan beton

(Sumber : Dipohusodo, 1996)

2.2 Baja

Penggunaan baja dalam konstruksi mempunyai alasan tersendiri, yaitu baja memiliki kelebihan seperti: kuat terhadap beban tekan maupun tarik, bahannya yang seragam dan tidak memerlukan waktu yang terlalu panjang dalam pemasangan atau lebih praktis. Selain kelebihan baja juga memiliki kelemahan yaitu: dalam temperatur yang tinggi kekuatan dari baja akan mengalami penurunan, bahan mudah mengalami korosi dan harganya yang mahal.

Ada dua buah karakteristik yang dapat menggambarkan perilaku sebuah material untuk struktur yaitu kekuatan dan daktilitas. Gambar 2.2 menunjukkan sebuah grafik perilaku karakteristik pada baja.



Gambar 2. 2 Tegangan-Regangan Baja (Tall, 1974)

(Sumber : Tall, 1974)

Pada gambar tersebut ditunjukkan beberapa daerah perilaku dari baja yang berbeda yaitu: daerah elastis (*the elastic range*), daerah plastis (*the plastic range*), daerah pengerasan regangan (*the strainhardening range*) dan daerah luluh (*the necking and failure range*) (Tall, 1974).

2.3 Bambu

Jenis bambu yang digunakan dalam penelitian ini adalah bambu petung. Bambu petung dikenal sebagai jenis bambu berukuran besar dengan diameter batang bawah dapat mencapai 26 cm dan tinggi 25 m.

Selain faktor alam (tanah, iklim), faktor sosial ekonomi dan budaya juga berpengaruh terhadap keberadaan suatu jenis tanaman. Sebagai hasil hutan bukan kayu, batang-batang bambu petung tergolong keras dan kuat sehingga sering digunakan sebagai

bahan konstruksi bangunan rumah-rumah sederhana di pedesaan atau jembatan. Bambu dikenal oleh masyarakat memiliki sifat-sifat yang baik untuk dimanfaatkan, antara lain batangnya kuat, ulet, lurus, rata, keras, mudah dibelah, mudah dibentuk dan mudah dikerjakan serta ringan sehingga mudah diangkut. Selain itu tanaman bambu mempunyai ketahanan yang luar biasa.

Bambu sebagai bahan bangunan berdasarkan pada harga bambu yang relatif murah, pertumbuhan bambu yang cepat, mudah ditanam, mudah dikerjakan. Bambu memiliki kelemahan, yaitu: sifat kembang susutnya cukup besar yang mengakibatkan kuat lekat dengan beton berkurang. Dalam aplikasi beton bertulang, kinerja tulangan bambu perlu dikaji terutama dalam hal kuat lekat dengan beton.

2.3.1 Kuat Tekan Bambu

Menurut (ISO 3132-1975), Kekuatan tekan merupakan kekuatan bambu untuk menahan gaya dari luar yang datang pada arah sejajar serat yang cenderung memperpendek atau menekan bagian bambu secara bersama-sama. Menurut penelitian Morisco(1999) menyebutkan bahwa kekuatan tekan bambu juga dipengaruhi oleh posisinya yaitu di bagian pangkal, tengah, dan ujung. Berikut adalah tabel hasil uji kekuatan tekan dari beberapa jenis bambu.

Tabel 2.1

kuat tekan rata-rata bambu kering oven

Jenis bambu	Bagian	Kuat tekan (kg/cm ²)
Petung	Pangkal	2,769
	Tengah	4,089
	Ujung	5,479

(Sumber : Morisco,1999)

Kekuatan tekan merupakan kekuatan bambu untuk menahan gaya dari luar yang datang pada arah sejajar serat yang cenderung memperpendek atau menekan bagian-bagian bambu secara bersama-sama (Pathurahman, 1998) .

Berikut rumusan di dalam menghitung kuat tekan pada bambu :

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A} \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana :

σ_{max} = kekuatan/tegangan tarik pada batas maksimum (kg/cm²)

P_{max} = beban tekan maksimum (kg)

A = luas penampang (cm²)

2.3.2 Kuat Tarik Bambu

Morisco (1999) mengemukakan bahwa pemilihan bambu sebagai bahan bangunan didasarkan pada harga yang relatif rendah, pertumbuhan cepat, mudah ditanam, mudah dikerjakan, serta keunggulan spesifik yaitu memiliki kekuatan tarik yang yang tinggi. Pengujian kuat tarik dilakukan pada bambu Ori, bambu Petung, bambu Wulung dan bambu Tutul.

Menurut Jansen (1980) faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan bambu adalah sebagai berikut :

1. Kandungan air, kuat tarik bambu akan menurun dengan meningkatnya kandungan air didalamnya.
2. Ada tidaknya ruas pada bambu. Oleh karena itu batang-batang yang memiliki ruas mempunyai kekuatan yang lebih rendah daripada batang-batang yang tidak beruas.

Hasil pengujian tegangan tarik dilihat pada Tabel 2.2. Tabel 2.3 dan Tabel 2.4. berikut :

Tabel 2.2

Tegangan tarik bambu kering oven

Jenis bambu	Tegangan tarik (MPa)	
	Tanpa nodia	Dengan nodia
Ori	291	128
Petung	190	116
Wulung	166	147
Tutul	216	74

Tabel 2.3

Tegangan Tarik tanpa nodia kering oven

Jenis bambu	Tegangan tarik (MPa)	
	Bagian dalam	Bagian luar
Ori	164	417
Petung	97	285
Wulung	96	237
Tutul	146	286

(Sumber: Morisco dan Marjono ,1996)

Berikut rumusan di dalam menghitung kuat tarik pada bambu:

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana :

σ_{max} = kekuatan/tegangan tarik pada batas maksimum (kg/cm²)

P_{max} = beban tarik maksimum (kg)

A = luas penampang (cm²)

Kekuatan 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 2.4 berikut:

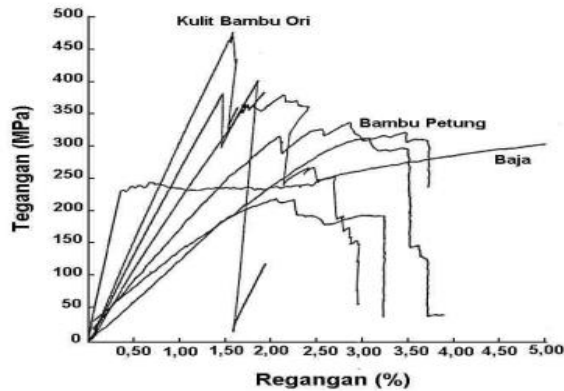
Tabel 2.4

Kuat Batas dan Tegangan Ijin Bambu

Macam Tegangan	Kuat Batas (kg/cm ²)	Tegangan Ijin (kg/cm ²)
Tarik	981 – 3920	294,2
Tekan	245 – 981	78,45
E Tarik	98070 - 294200	196,1 x 10 ³

(Sumber: Morisco, 1999)

Dari Gambar 2.3 tegangan-regangan bambu dan baja, dapat dilihat bahwa bambu petung lebih besar dari tegangan leleh baja. Bambu memiliki kuat tarik yang cukup tinggi sehingga cocok jika dikombinasikan dengan beton yang memiliki kuat tekan tinggi namun kuat tariknya rendah.



Gambar 2. 3 Diagram Tegangan-Regangan Bambu dan Baja

(Sumber: Morisco,1996)

2.3.3 Tulangan Longitudinal

Bahan yang biasanya dipakai sebagai tulangan longitudinal adalah baja. Baja merupakan material yang saat ini cepat habis dan tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu banyak sekali penelitian yang membuktikan bahwa tulangan bambu dapat menggantikan baja. Perbedaan mengenai perbedaan tulangan bambu dan baja adalah :

- Tulangan baja

Penggunaan baja sebagai tulangan adalah hal yang sering dilakukan oleh banyak orang. Hal ini di karenakan tulangan ini mudah di produksi dalam jumlah banyak, tidak mudah terbakar, tidak menyerap air, dan banyak lagi kelebihan lainnya. Tulangan longitudinal yang digunakan pada penelitian untuk kolom asli adalah baja polos berukuran Ø8. Tulangan transversal untuk kolom asli adalah baja polos berukuran Ø6. Tulangan transversal untuk kolom retrofit adalah baja polos berukuran Ø8.

- Tulangan bambu

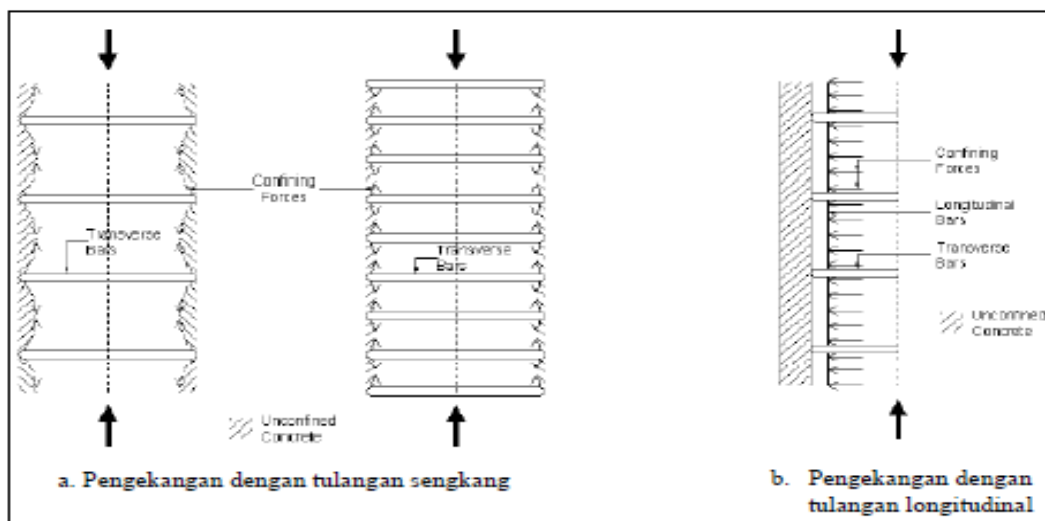
Bambu mempunyai kekuatan tarik yang cukup tinggi, antara 100-400 Mpa, hampir menyamai kekuatan tarik besi tulangan setara dengan $\frac{1}{2}$ sampai $\frac{1}{4}$ dari tegangan ultimit besi (Widjaja, 2001) serta (Surjokusumo dan Nugroho, 1993) menunjukkan hasil yang sama dan menurut Morisco, 1996 bahwa kuat tarik bambu dapat mencapai 1280 kg/cm². Menurut Jansen (1980), kekuatan tarik bambu sejajar serat antara 200-300 Mpa beberapa jenis bambu melampaui kuat tarik baja mutu sedang. Pada penelitian ini tulangan longitudinal yang digunakan pada kolom retrofit adalah bambu petung. Bambu petung (*Dendrocalamus sp*) berbagai daerah di Indonesia.

2.3.4 Fungsi Tulangan Longitudinal

Fungsi utama baja tulangan pada struktur beton bertulang yaitu untuk menahan gaya tarik. Oleh karena itu pada struktur balok, pelat, fondasi, ataupun struktur lainnya dari bahan beton bertulang, selalu diupayakan agar tulangan longitudinal (tulangan memanjang) dipasang pada serat-serat beton yang mengalami tegangan tarik. 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. Tulangan longitudinal ini dipasang searah sumbu batang.

2.3.5 Pengaruh Rasio Tulangan Longitudinal

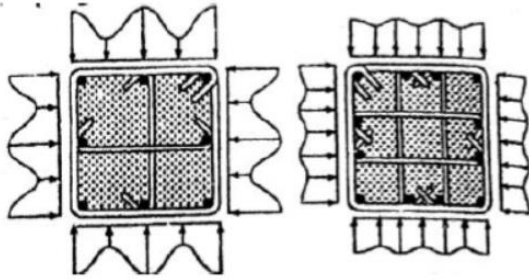
Rasio tulangan longitudinal adalah perbandingan antara luas tulangan dengan luas beton. Rasio tulangan longitudinal berpengaruh pada kelendutan suatu kolom ke arah aksial dan lateral. Dimana besarnya nilai rasio tulangan longitudinal ini dipengaruhi oleh besarnya dimensi tulangan longitudinal dan jarak antar tulangan longitudinal. Semakin besar dimensi dan semakin rapatnya jarak antar tulangan longitudinal, maka akan semakin besar rasio tulangan longitudinal tersebut. Dengan semakin besarnya rasio tulangan longitudinal maka akan mengurangi besarnya lendutan yang terjadi ke arah aksial dan lateral dan akan mampu memberikan peningkatan kekuatan pada kolom. Hal ini juga tidak terlepas dari adanya hubungan dengan pengekanan dari tulangan transversal (sengkang).



Gambar 2.5. Pengekangan dengan tulangan sengkang dan tulangan longitudinal

Ada banyak variabel yang mempengaruhi kapasitas aksial dan bentuk kurva tegangan-regangan suatu kolom beton bertulang. Beberapa variabel yang dominan tersebut antara lain:

- a. Rasio volumetrik tulangan longitudinal dan beton merupakan perbandingan antara volume tulangan longitudinal dengan volume inti beton yang terkekang dihitung dari as ke as tulangan longitudinal. Semakin kecil rasio volumetrik tulangan longitudinal maka efek pengekangan akan semakin besar. Untuk memperoleh rasio volumetrik yang semakin kecil dapat dilakukan dengan tiga cara. Yaitu: dengan memperbanyak volume tulangan longitudinal, maka dapat menambah nilai tegangan pengekang dalam arah longitudinal.



Gambar 2. 4. Variasi tegangan pengekang akibat jumlah dan susunan tulangan (longitudinal dan transversal)

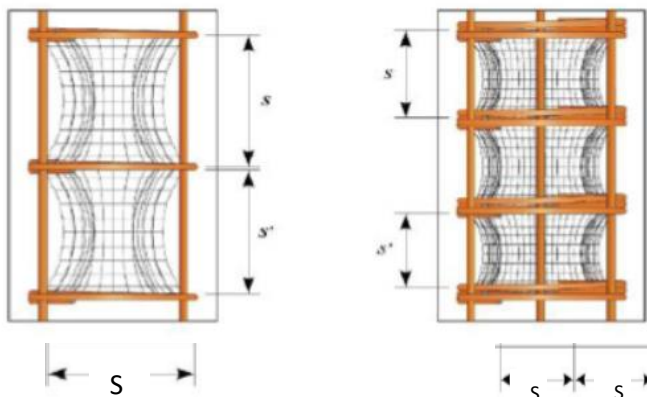
Sumber : Tavio (2011)

- b. Memperbesar diameter tulangan longitudinal, perbandingan antara diameter tulangan longitudinal terhadap panjang tulangan longitudinal, karena diameter yang lebih besar menghasilkan pengekangan yang lebih efektif. Dari Gambar 2.7 di bawah dapat dilihat bahwa daerah yang diarsir merupakan daerah yang tidak efektif terkekang. Bila diameter tulangan longitudinal kecil, maka sengkang hanya akan berperilaku sebagai pengikat antar sudut dikarenakan kekakuan lenturnya kecil. Karena kekakuannya kecil, maka bagian tengahnya (daerah antara dua sudut) akan melendut sehingga keefektifan pengekang bagian tengah tulangan longitudinal menjadi lebih kecil. Dengan diameter tulangan longitudinal yang lebih besar, luas area yang terkekang efektif bisa bertambah karena kekakuan lenturnya besar.



Gambar 2. 5. Efektifitas pengekangan. (a) sengkang persegi; (b) spiral

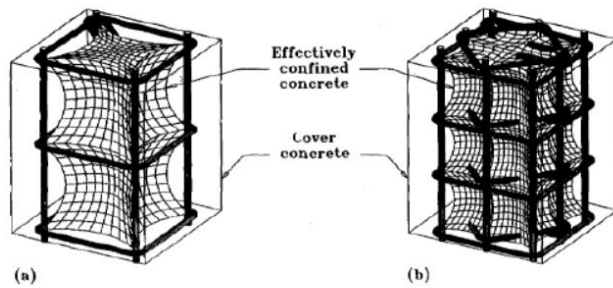
- c. Memperkecil jarak antar tulangan longitudinal, memperkecil perbandingan jarak/spasi antar tulangan longitudinal terhadap dimensi penampang inti, karena semakin rapat jarak antar tulangan longitudinal maka akan menambah keefektifan pengekangan, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6 dibawah. Semakin renggang jarak antar tulangan longitudinal maka akan semakin banyak volume beton yang tidak terkekang.



Gambar 2. 6. Jarak antar tulangan longitudinal mempengaruhi efektifitas pengekangan

Sumber : Cusson dan Paultre (1995)

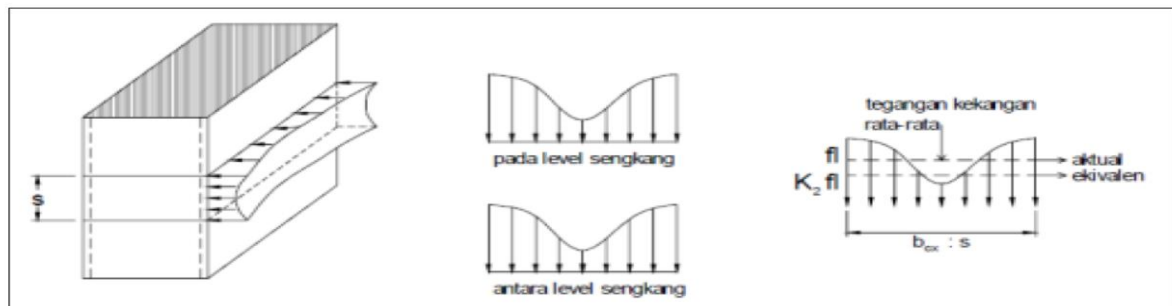
- d. Kuat leleh baja tulangan longitudinal (f_y), karena variabel ini menentukan kuat batas ultimate dari tegangan pengekang lateral.
- e. Jumlah dan ukuran tulangan longitudinal, karena tulangan ini juga mengekang betonnya. Tulangan longitudinal harus ditempatkan agak rapat disepanjang sengkang karena sengkanglah yang memberikan reaksi pengekangan pada tulangan longitudinal (tulangan lentur) dengan tulangan transversal (sengkang) akan meningkatkan efisiensi pengekangan.
- f. Kuat tekan beton (mutu beton), karena beton dengan kuat tekan rendah (*low strength concrete*) agak lebih daktail daripada beton mutu tinggi (*high strength concrete*).



Gambar 2. 7. Efek konfigurasi dan jarak sengkang : (a) Konfigurasi sengkang yang kurang baik dengan jarak yang lebar ; (b) konfigurasi yang baik dengan jarak yang rapat

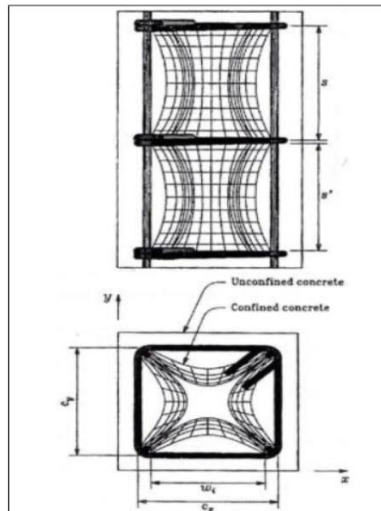
Sumber : Cusson (1995)

Pada arah longitudinal kolom, distribusi tegangan kekangan yang timbul pada kolom yang diberi sengkang persegi dapat dimodelkan sebagai tegangan yang tidak merata. Gaya yang timbul lebih besar daripada gaya kekangan yang timbul pada daerah yang letaknya jauh dari tulangan sengkang seperti terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8. Distribusi tegangan kekangan dalam arah lateral dan longitudinal.

Sheikh dan Uzumeri (1982) mengasumsikan adanya daerah *arching action* yang tidak terkekang berbentuk parabola dengan sudut kemiringan awal sebesar 45° yang terjadi secara vertikal antara sengkang dan secara horizontal antara tulangan longitudinal seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9. Arching action pada beton terkekang.

Sumber : Sheikh dan Uzumeri (1982)

Pengekangan ini juga dipengaruhi oleh besarnya rasio tulangan longitudinal yang digunakan. Besarnya rasio tulangan longitudinal tersebut dipengaruhi oleh jarak antar tulangan longitudinal dan jumlah tulangan longitudinal. Dimana jika semakin rapatnya jarak antar tulangan longitudinal maka pengembangan yang terjadi kearah aksial kolom akan semakin kecil. Dan jarak antar tulangan longitudinal itu dipengaruhi juga oleh banyaknya tulangan longitudinal yang digunakan. Semakin banyak tulangan longitudinal yang digunakan, maka akan semakin rapat jarak antar tulangan longitudinal tersebut sehingga akan mengurangi pengembangan kearah aksial.

2.4 Tulangan Transversal

Sewaktu beban vertikal dan momen lentur pada kolom ditahan oleh tulangan longitudinal, gaya gempa lateral ditahan oleh tulangan transversal yang dipasang secara rapat. Tulangan transversal sebaiknya didesain untuk menahan pengembangan retak geser diagonal. Tulangan longitudinal diikat bersama tulangan transversal dan mencegahnya dari tekuk yang berlebihan, dan mengekang beton di dalam kolom. Tulangan transversal biasa disebut tulangan sengkang. Tulangan sengkang membantu mencegah hancurnya beton pada penampang inti kolom sehingga kolom dapat menahan beban vertikal yang lebih besar.

2.4.1 Fungsi Tulangan Transversal

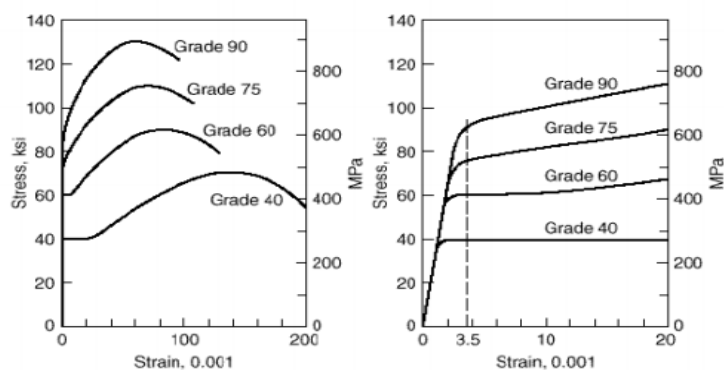
Fungsi tulangan transversal adalah tulangan transversal sebagai penahan gaya geser. Pada kolom, gaya geser terjadi akibat momen ujung saja. Tulangan transversal

sebagai “*Confinement*”. *Confinement* dapat disebut juga “pengekang”. Pemasangan tulangan transversal (sengkang) pada beton bertulang agar apabila kolom diberi gaya aksial beton tetap menyatu dan tidak pecah. Tulangan transversal sebagai penahan *buckling*, pada saat beton mengelupas/*spalling* maka tulangan berkemungkinan lepas dengan betonnya. Pada kondisi tersebut tulangan transversal akan berfungsi sebagai batang tekan yang rawan terhadap bahaya tekuk/*buckling*..

2.5 Beton bertulang

Beton Bertulang Beton bertulang digunakan untuk meningkatkan kinerja beton yang lemah terhadap gaya tarik. Kemampuan menahan beban serta deformasi yang terjadi pada beton bertulang sebagai material komposit sangat dipengaruhi oleh perilaku elemen-elemennya, yaitu beton dan tulangan baja, juga perilaku dan interaksi antara beton dan baja. Kinerja beton bertulang antara lain juga ditentukan oleh 6 lekatan antara tulangan baja dan beton yang akan menghasilkan material komposit yang daktail sehingga mampu mnyalurkan gaya tarik.

Seperti halnya pada beton, kurva tegangan-regangan baja sangat menentukan kinerja tulangan baja. Dalam kurva tegangan-regangan baja, dua parameter yang menjadi tolak ukur adalah titik leleh (*yield point*) yang umumnya identik dalam tekan maupun tarik, serta modulus elastisitas, (E_s). Deskripsi tentang kurva tegangan-regangan baja dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10. kurva tegangan-regangan dari tulangan baja untuk berbagai mutu

(Sumber: Nilson, et. al.,2004)

2.6 Kolom

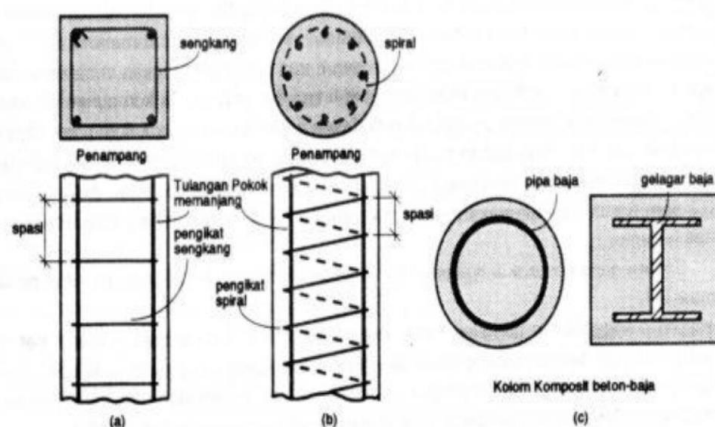
Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang memikul beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih

bawah hingga akhirnya sampai ke 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, 1990).

2.7 Jenis Kolom

Jenis kolom dapat dibagi menjadi 3 yaitu, kolom pengikat sengkang lateral, kolom menggunakan pengikat spiral, dan kolom komposit. Kolom yang digunakan pada penelitian ini adalah kolom menggunakan pengikat lateral. Kolom ini merupakan kolom beton yang ditulangi dengan batang tulangan longitudinal memanjang, yang pada jarak spasi tertentu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral. Tulangan ini berfungsi untuk memegang tulangan pokok memanjang agar tetap kokoh pada tempatnya.

Keruntuhan kolom struktural merupakan hal yang penting diperhatikan. Karena hal itu akan dapat memberikan dampak yang buruk bagi manusia dan membuat kerugian secara materi. Oleh karena itu harus sangat diperhatikan pada saat merencanakan kolom, dengan memberikan kekuatan kolom lebih tinggi dibandingkan balok dan elemen struktur lainnya, dalam desain struktur tahan atau yang biasa disebut dengan istilah *strong column weak beam*. Untuk mendapatkan kondisi kolom kuat balok lemah maka harus dibuat perencanaan sedemikian rupa sehingga pada saat beban gempa terjadi maka balok direncanakan untuk mendisipasi energi gempa melalui pembentukan sendi plastis (pada kedua ujungnya) sementara itu kolom harus sanggup bertahan selama terjadi disipasi energi pada balok.



Gambar 2. 11. Berbagai jenis kolom, (a) Kolom Persegi, (b) Kolom Bulat, (c) Kolom Komposit

2.8 Kolom Pendek dengan beban aksial

Kolom Pendek adalah kolom yang hanya menahan gaya tekan aksial dan tidak berpengaruh terhadap tekuk. Tegangan & regangan yang terjadi pada kolom dianggap terdistribusi merata ke seluruh penampang kolom, akibat beban aksial yang bekerja. Sehingga regangan yang terjadi pada beton dianggap sama dengan regangan yang terjadi pada baja ($\varepsilon_c = \varepsilon_s$). Beton mencapai kekuatan maksimum, saat regangan yang terjadi mencapai sekitar 0,002 in./in. – 0,003 in./in. Sehingga kapasitas beban aksial maksimum yang dapat dipikul oleh kolom pendek beton bertulang merupakan penjumlahan dari kekuatan beton dan kekuatan baja. Kontribusi beton yaitu $\sigma_c A_c$ atau $0,85 f'_c A_g$. Apabila digunakan luas penampang beton dihitung menggunakan luas penampang bersih beton, maka kontribusi kekuatan beton menjadi $0,85 f'_c (A_g - A_{st})$. Sedangkan kontribusi kekuatan baja adalah $\sigma_s A_s$ atau $f_s A_s$.

Untuk analisis kuat tekan kolom asli dengan tulangan pengikat (termasuk kolom bersengkang), adalah sebagai berikut:

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \dots\dots\dots(2-5)$$

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

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}}) \dots\dots\dots(2-6)$$

Untuk analisis kuat tekan kolom retrofit bertulang bambu dengan hasil uji tekan 50 % kolom asli bertulang baja, maka dapat diperoleh persamaan :

$$P_{n(max)} = 50\%[0.85 f'_c (A_{gkolom\ asli} - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] + [0.85 f'_c (A_{gkolom\ retrofit} - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}})] \dots\dots\dots(2-7)$$

Dimana :

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 saat menganalisis kuat tekan kolom retrofit bertulangan bambu diambil 50% kuat tekan kolom asli, angka 50% disini bukan merupakan nilai mutlak yang memang harus sebesar itu, melainkan angka itu kondisional tergantung penelitian, dimana 50% pada penelitian ini didapatkan dari hasil pengujian kuat tekan yang diberhentikan saat beban turun 50% dari beban puncak.

2.9 Modulus Elastisitas

Modulus elastis adalah perbandingan antara tegangan dengan regangan yang dialami oleh suatu benda. Modulus elastisitas digunakan untuk mengetahui beton bertulang tersebut lebih elastis atau tidak. Semakin rendah nilai modulus elastisitas suatu beton bertulang, maka akan semakin elastis beton bertulang tersebut dan akan lebih mudah mengalami perpendekan atau perpanjangan. Dan sebaliknya, semakin tinggi nilai modulus elastisitas suatu beton bertulang, maka benda menjadi lebih kaku sehingga untuk mengalami perpendekan atau perpanjangan akan lebih sulit. Rumus modulus elastisitas adalah:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(2-8)$$

dimana :

E = Modulus elastisitas (N/)

σ = Regangan (N/)

ε = Tegangan

2.10 Kekakuan

Kekakuan adalah gaya yang dibutuhkan suatu elemen untuk menghasilkan suatu lendutan (Genre & Timoshenko, 1996)

Rumus kekakuan :

$$k = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots(2-9)$$

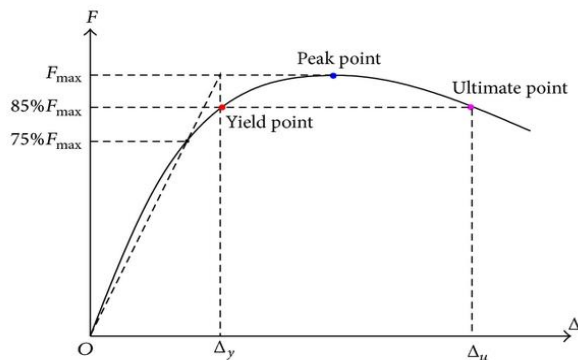
Dimana :

k = Kekakuan struktur (kN/mm)

P = Gaya Tekan (kN)

Δ = Defleksi (mm)

Kekakuan memiliki nilai yang berbeda pada setiap tingkat bebannya. Sesuai dengan bentuk diagram gaya tekan dan perpindahan suatu bahan, ada beberapa kondisi yang memiliki nilai kekakuan berbeda seperti berikut :

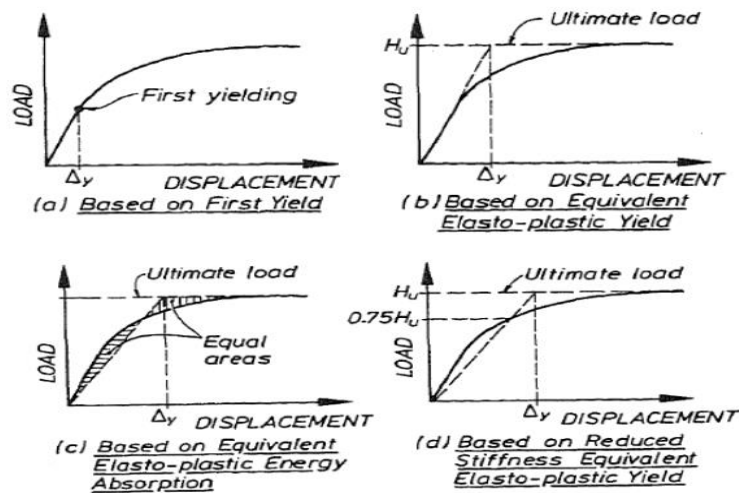


Gambar 2. 12. Grafik gaya tekan dan deformasi material yang dibebani aksial

Sumber : Hongmei Zhang et al. (2014)

Dari grafik tersebut, ada beberapa nilai kekakuan yaitu kekakuan pada kondisi elastis, leleh, *ultimate*, dan runtuh. Kekakuan elastis merupakan kemampuan suatu struktur untuk kembali ke bentuk awal setelah dibebani (Anonim, 2009). Sedangkan pada grafik hubungan gaya tekan dan deformasi seperti diatas, nilai kekakuan elastis didapat dari tangen arah kurva yang berbentuk linier. Setelah struktur tersebut mengalami fase elastis, fase plastis akan muncul bila beban terus ditambah. Di fase plastis inilah mulai terbentuk sendi plastis dan kemampuan elastis struktur mulai hilang yang berarti struktur tidak dapat kembali ke bentuk semula setelah dibebani. Fase plastis ditandai dengan mulai keluarnya retak awal. Jika beban terus ditingkatkan, maka struktur akan mencapai batas *ultimate* nya, yaitu ketika struktur sudah tidak mampu menahan beban lagi (Wiratman, 2002). Fase terakhir dari kekakuan adalah kekakuan runtuh yang terjadi setelah beban *ultimate* tercapai.

Menurut Park (1988) lendutan pada titik leleh dapat diambil dari titik potong beban yang mana beban diambil 75% dari beban *ultimate*.



Gambar 2. 13. Beberapa Alternatif Pengambilan Lendutan pada Titik Leleh

Sumber : Park (1988)

2.11. Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan material atau elemen struktru untuk berdeformasi pada masa inelastis. Dimana nilai daktilitas diperlukan mengetahui jangka waktu yang diperlukan suatu struktur mengalami kehancuran. Agar pada saat mengalami kehancuran ada waktu untuk menyelamatkan diri. Semakin tinggi nilai daktilitas maka akan semakin lama eaktu yang diperlukan struktur untuk mengalami kehancuran.

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)

Pada analisis data untuk mencari nilai daktilitas kolom asli dan kolom retrofit, penentuan nilai deformasi ultimate didapatkan dari nilai daktilitas dengan penurunan kapasitas aksial maksimum yang sama antara kolom asli dan kolom retrofit.

2.12 Perkuatan Kolom dengan Concrete Jacketing

Perkuatan adalah suatu tindakan modifikasi struktur, dengan tujuan untuk menaikkan kekuatan, kekakuan serta daktilitas struktur. Perkuatan dilatarbelakangi oleh beberapa hal yaitu kesalahan dalam implementasinya di lapangan, kerusakan elemen

struktur yang terjadi akibat bencana (gempa bumi) serta perubahan fungsi struktur yang mengakibatkan perbedaan antara beban rencana dengan beban desain.

Retrofitting merupakan salah satu upaya dalam meningkatkan kekuatan dan daktilitas sebuah struktur yang telah rusak. Ada dua jenis *Retrofitting* yang dapat dilakukan yaitu :

- *Repairing* adalah upaya dalam mengembalikan kekuatan dan daktilitas struktur yang telah rusak kembali seperti kondisi awal.
- *Strengthening* adalah upaya memberikan penambahan kekuatan atau perkuatan dari struktur yang telah ada dengan menambahkan material baru.

Pemilihan metode perkuatan dipengaruhi oleh beberapa pertimbangan, antara lain: pertimbangan efektivitas perkuatan, kemudahan dalam pelaksanaan atau pemasangannya, serta biaya yang diperlukan. Beberapa metode perkuatan antara lain adalah: memberi penyelubung beton pada struktur (*Concrete Jacketing*), penyelubung baja pada struktur (*Steel Jacketing*), dan sebagainya. Pada penelitian ini difokuskan menggunakan metode *concrete jacketing*. Sistem *concrete jacketing* adalah suatu sistem perbaikan atau perkuatan beton dengan cara memperbesar penampang dengan memberikan tambahan selimut beton yang sudah ada sebelumnya. Keuntungan utama dari sistem ini adalah memberikan peningkatan kekuatan dan daktilitas beton.

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

- a) Kelebihan:
 - Dapat meningkatkan daktilitas dan kekuatan struktur dilihat dari kapasitas aksial
 - Menambah kekakuan struktur.
 - Meningkatkan stabilitas struktur.
 - Biaya lebih ekonomis.
- b. Kekurangan:
 - Ukuran kolom setelah dipasang perkuatan akan menjadi lebih besar sehingga akan mengurangi ruang kosong yang ada.
 - Jika penempatan *concrete jacketing* ini tidak diperhatikan dengan baik maka dapat menyebabkan kekakuan yang tidak merata.
 - Kemampuan kapasitas dari *concrete jacketing* lebih rendah dibandingkan perkuatan dengan *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

Tulangan bermaterialkan jenis baja yang digunakan pada penelitian ini berukuran Ø8 mm untuk tulangan longitudinal dan ukuran Ø6 mm untuk tulangan transversal. Tulangan longitudinal dan tulangan transversal yang bermaterialkan baja ini digunakan pada kolom asli.

3.2.3 Tulangan Bambu

Tulangan bermaterialkan jenis bambu yang digunakan pada penelitian ini adalah untuk tulangan longitudinal menggunakan bambu jenis petung dengan 2 jenis dimensi yaitu: 1x1 cm dan 1x0.5 cm. Untuk tulangan transversal menggunakan bambu jenis apus dengan dimensi 0.5x0.5 cm. Tulangan longitudinal dan tulangan transversal yang bermaterialkan bambu ini digunakan pada kolom retrofit.

3.2.4 Agregat

Agregat yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir). Untuk ukuran spesifikasi agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah berukuran maksimum 1 cm pada kolom asli dan ukuran maksimum

0,5 cm pada kolom retrofit. 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 Perkat Beton

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

3.3 Peralatan Penelitian

Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat untuk mempersiapkan material hingga proses pengujian benda uji pada akhirnya. Peralatan yang digunakan berada di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

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 kolom. 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 dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta cetakan untuk benda uji kolom dengan ukuran 12 x

12 x 30 cm dan 18 cm x 18 cm x 30 cm. Cetakan benda uji silinder terbuat dari baja dan cetakan benda uji kolom terbuat dari kayu yang dapat dibongkar pasang.

3.3.5 Alat Uji Tekan

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

3.3.6 Alat Uji Tarik

Alat uji tarik digunakan untuk mengetahui kuat tarik dari tulangan baja Ø6 mm dan Ø8 mm sesungguhnya. Alat uji dalam penelitian ini adalah *Hydraulic Universal Testing Machine*.

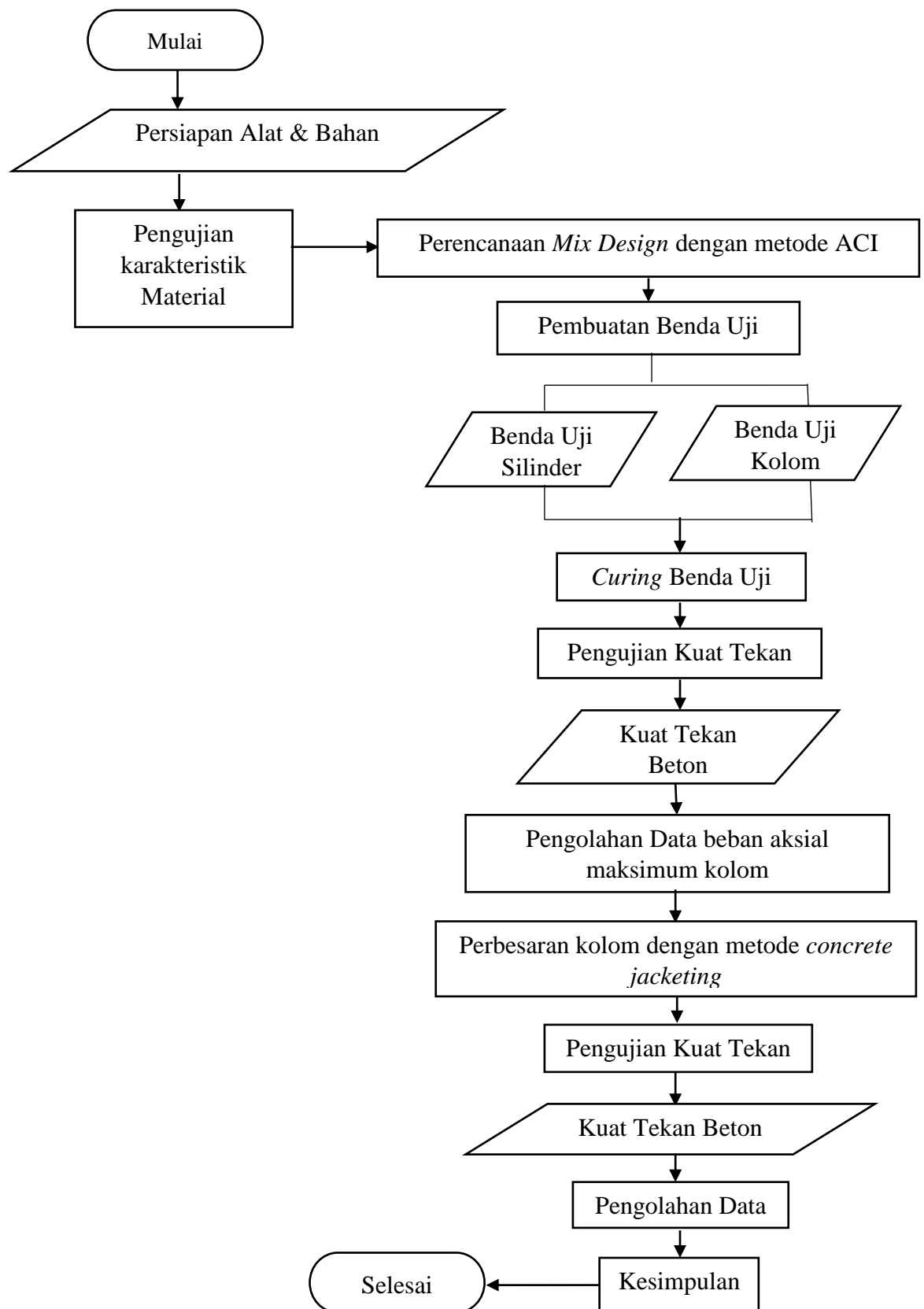
3.3.6 Dial Gauge Digital

Penelitian ini menggunakan alat tambahan *dial gauge digital* yang akan dipasang pada benda uji pada saat uji tekan. Dial ini berfungsi untuk mengetahui perubahan panjang dari benda uji pada saat diuji tekan sehingga mendapatkan data defleksi dari benda uji kolom.

3.3.7 Alat Bantu Lainnya

Alat bantu lainnya antara lain plat, kardus, ember, alat pengaduk, 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 yaitu benda uji silinder untuk sampel kolom asli dan kolom retrofit dan benda uji kolom. Benda uji silinder memiliki diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sedangkan benda uji kolom asli berukuran 12 x 12 x 30 dan benda uji kolom retrofit berukuran 18 x 18 x 30 cm. Masing masing benda uji kolom retrofit diberikan variasi tulangan rasio tulangan longitudinal yang berbeda. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1

Penelitian kolom retrofit dengan variasi tulangan bambu dan jarak sengkang yang berbeda

Kode Kolom	Tulangan Bambu	rho	Sengkang bambu
			3
			Jarak 9,3 cm
A	4 bh 10 x 10	1,23	3 buah
B	8 bh 10 x 5	1,23	3 buah
C	4 bh 10 x 20	2,47	3 buah
D	8 bh 10 x 10	2,47	3 buah

Pada penelitian ini dikhususkan menggunakan kolom retrofit bersengkang bambu dengan kode kolom A3 – C3 dan B3 – D3. Yaitu, kolom retrofit kode A3 dengan menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dan dengan jarak antar tulangan transversal baja 9.3 cm dan kolom retrofit kode C3 dengan menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 20 mm dan dengan jarak antar tulangan transversal baja 9,3 cm, sedangkan kolom retrofit kode B3 dengan menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 5 mm dan dengan jarak antar tulangan transversal baja 9.3 cm dan kolom retrofit kode D3 dengan menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dan dengan jarak antar tulangan transversal baja 9,3 cm. Sehingga nanti pada hasil penelitian akan didapatkan efisiensi rasio tulangan longitudinal kolom retrofit yakni kolom A3 dibandingkan dengan kolom C3 dan kolom B3 dibandingkan dengan kolom D3.

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

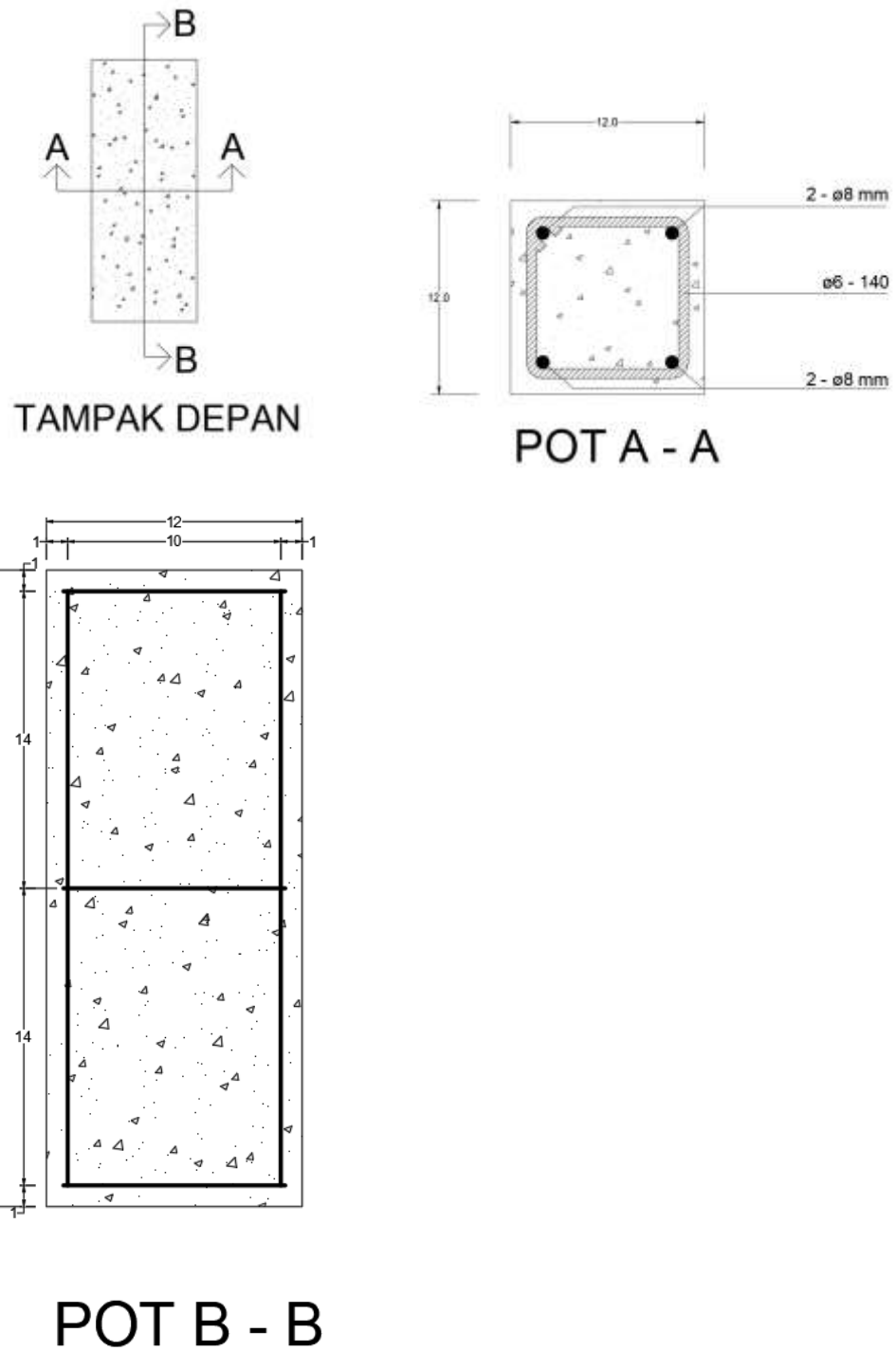
Tabel 3.2

Jumlah benda uji

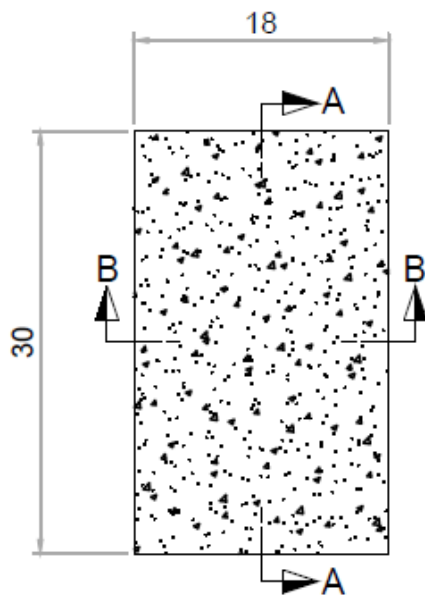
Varian	Jumlah
Benda uji silinder sampel kolom asli	4 buah
Benda uji kolom asli	12 buah
Benda uji silinder sampel kolom retrofit	4 buah
Benda uji kolom retrofit kode A3	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode B3	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode C3	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode D3	3 buah

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

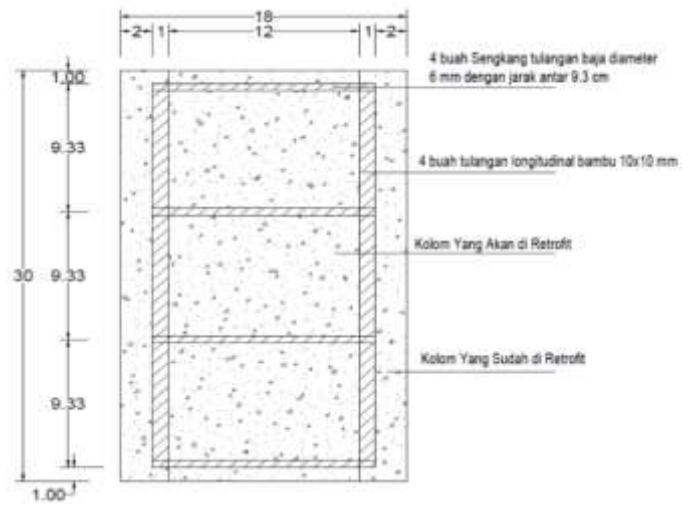
Pemodelan benda uji pada penelitian ini adalah seperti gambar berikut:



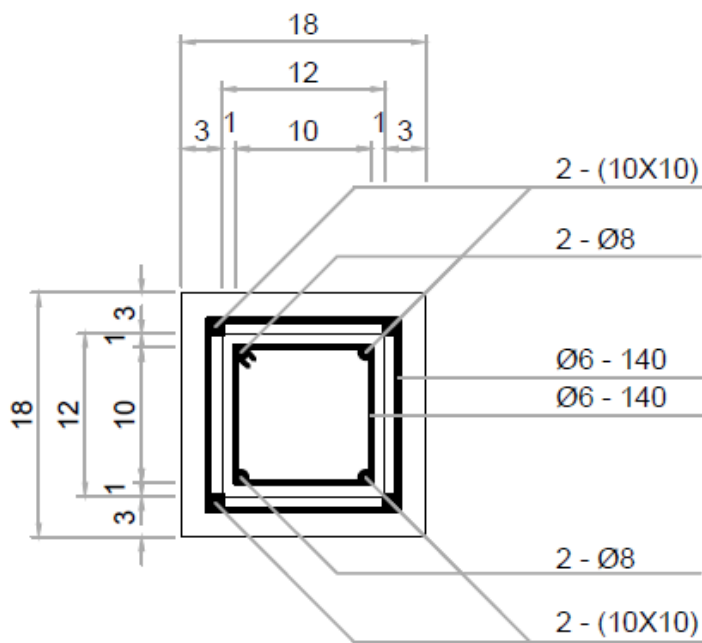
Gambar 3.2. Benda uji kolom asli



TAMPAK DEPAN

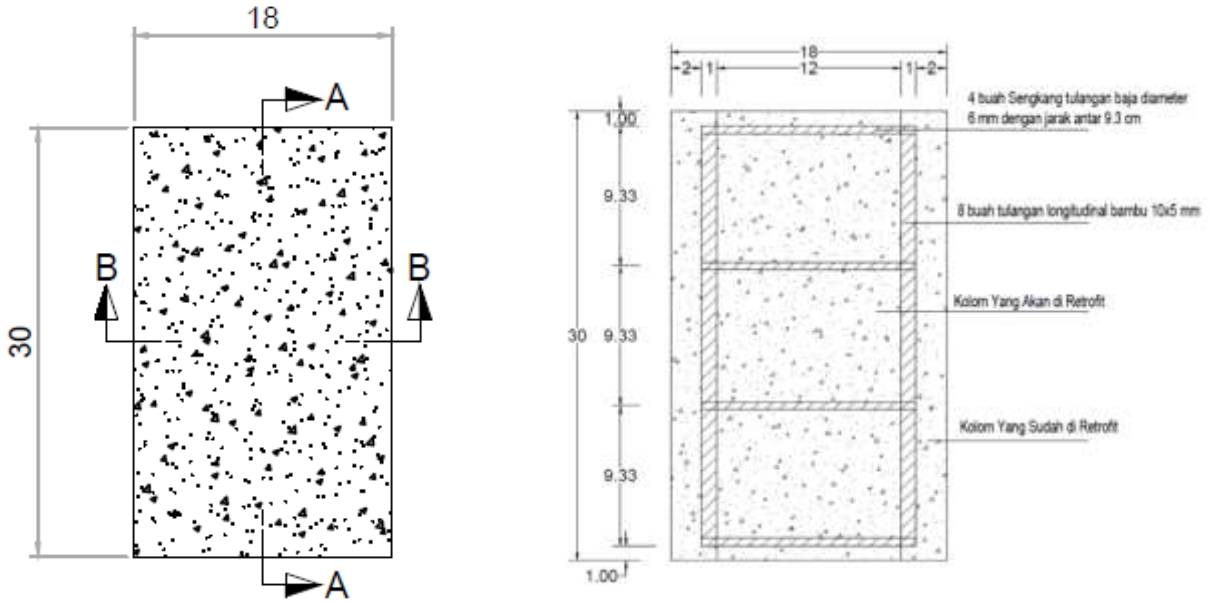


POTONGAN A - A



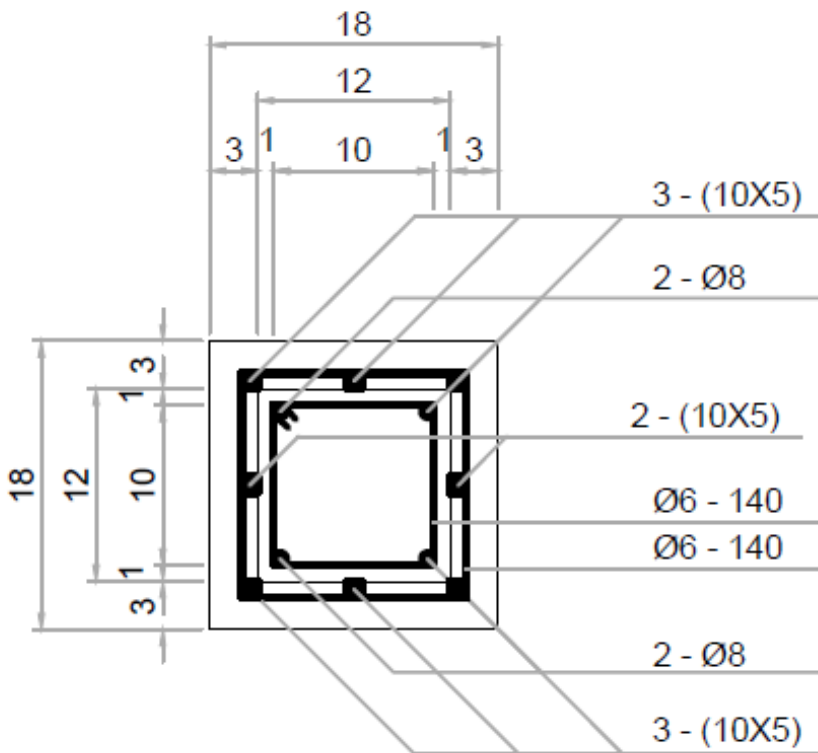
POTONGAN B - B

Gambar 3.3. Benda uji kolom diretrofit kode A3



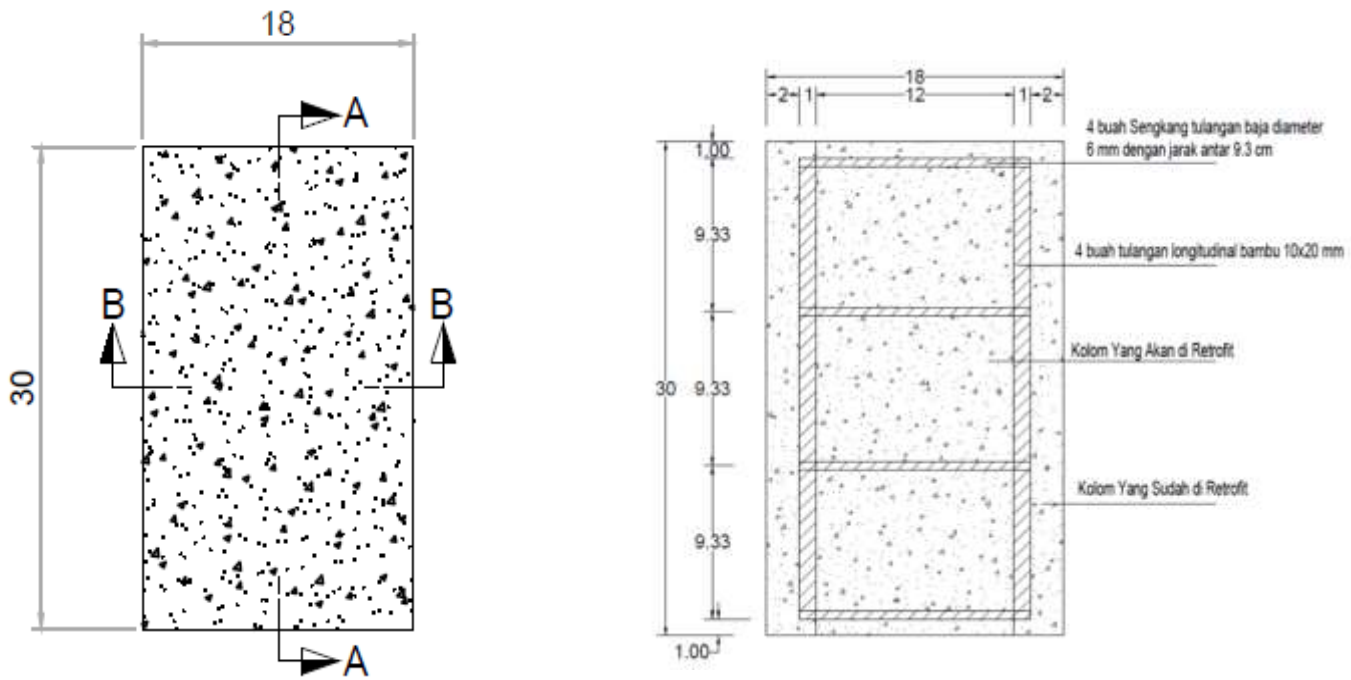
TAMPAK DEPAN

POTONGAN A - A



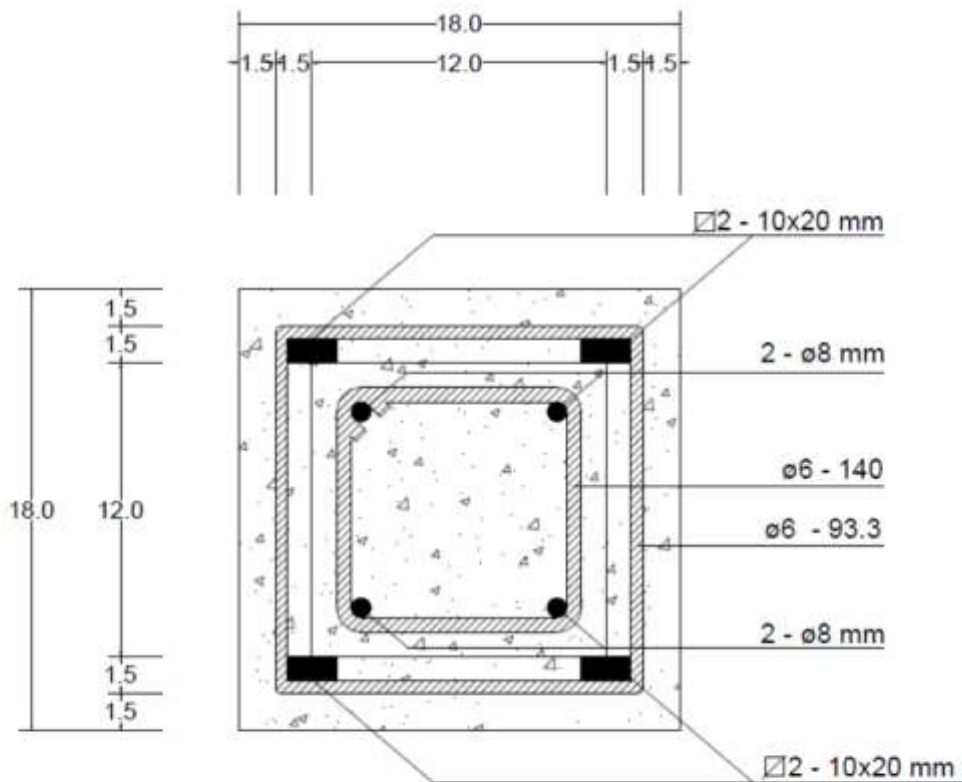
POTONGAN B - B

Gambar 3.4. Benda uji kolom retrofit kode B3



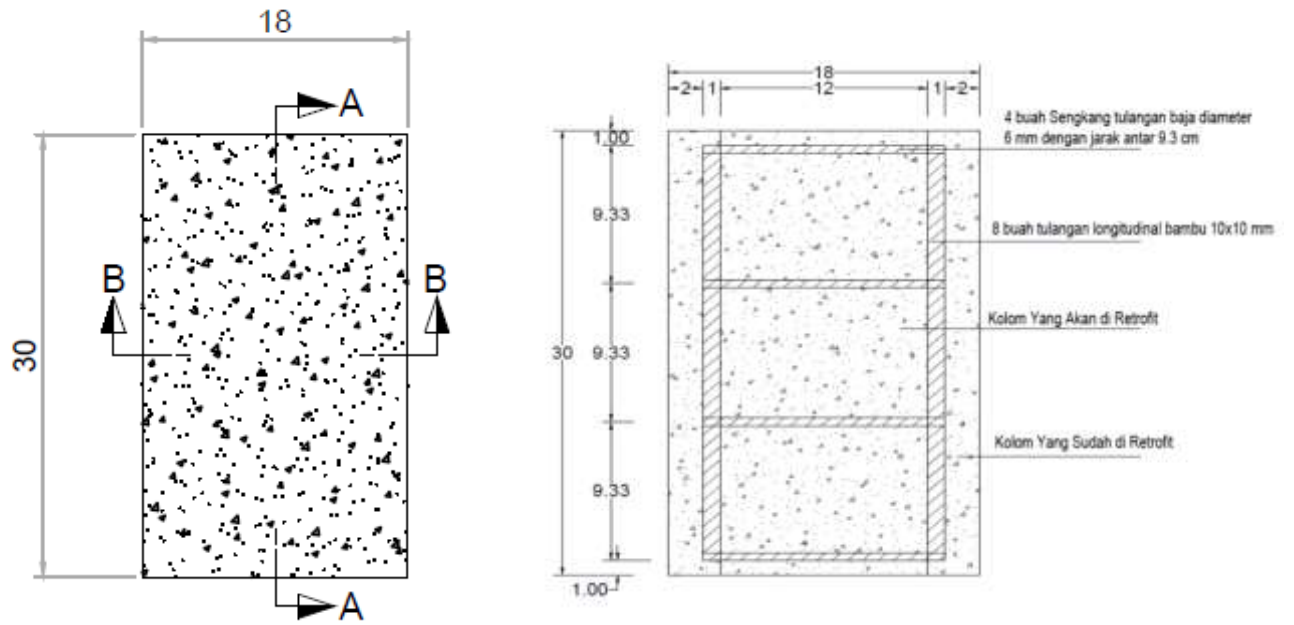
TAMPAK DEPAN

POTONGAN A - A



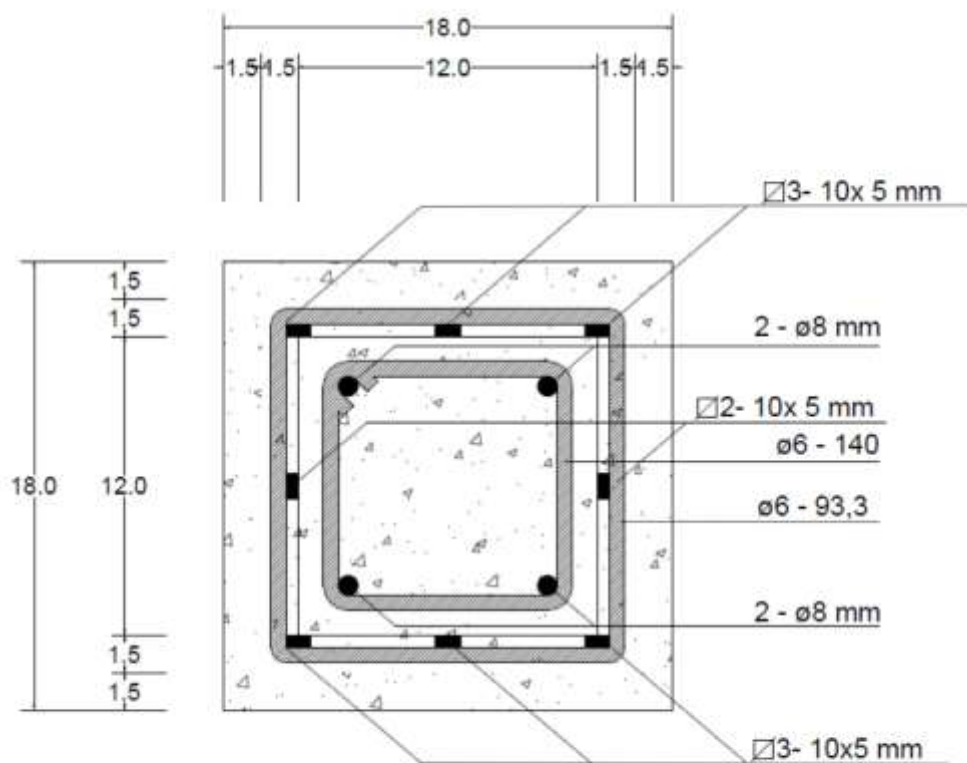
POTONGAN B - B

Gambar 3.5. Benda uji kolom retrofit kode C3



TAMPAK DEPAN

POTONGAN A - A



POTONGAN B - B

Gambar 3.6. Benda uji kolom retrofit kode D3

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 variasi dimensi tulangan longitudinal.
- b. Variabel terikat, yaitu variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini adalah gaya tekan, modulus elastisitas, kekakuan dan daktilitas 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 kolom asli adalah sebagai berikut:

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

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

1. Bahan penyusun beton disiapkan dengan kuantitas sesuai *mix design*.
2. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk selama kurang lebih 15 menit hingga campuran menjadi homogen.
3. Setelah pengadukan, diambil sebagian adonan beton untuk dilakukan pengujian *slump*.

4. Cetakan disiapkan dengan memberikan lapisan tipis dari oli.
5. Benda uji kolom asli yang telah diuji tekan dan telah diberi perkuatan dengan menggunakan tulangan bambu petung dan sengkang bambu apus, diberi lem perekat agar beton kolom asli dan merekat dengan baik dengan beton baru untuk kolom retrofit. Setelah itu, kolom dimasukkan kedalam bekisting/cetakan yang telah disediakan.
6. Campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder dan kolom.

3.7.3 Perawatan Benda Uji

Setelah 72 jam cetakan benda uji silinder dan kolom dibuka dan dilakukan perawatan dengan tujuan agar semen terhidrasi dengan sempurna. Perawatan benda uji meliputi 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:

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



Gambar 3.7. Pengujian kuat tekan kolom asli.



Gambar 3.8. Pengujian kuat tekan kolom retrofit.

3.7.4 Pengujian Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tarik dari tulangan baja $\varnothing 6$ mm dan $\varnothing 8$ 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.



Gambar 3.9. Pengujian kuat tarik tulangan baja.

3.8 Metode Analisis

3.8.1 Pengumpulan Data

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

Tabel 3.3.

Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan kolom asli dan kolom retrofit.

NO	Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Slump (cm)	Berat Kolom (kg)	Kuat Tekan Beton (fc') (Mpa)
Kuat Tekan Kolom Maksimum Aktual (kN)			Rata-Rata Kuat Tekan Maksimum Aktual (kN)		

Tabel 3.4.

Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan beton silinder untuk sampel kolom asli dan kolom retrofit.

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

Tabel 3.5

Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Beton (fc')	Kekuatan Maksimum Kolom (Pu) Secara Aktual
		(Mpa)	kN

Tabel 3.6

Form pengumpulan data dari pengujian kuat tarik tulangan baja Ø6 mm dan Ø8 mm

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

tulangan longitudinal yang paling efisien. Pada penelitian ini parameter tegangan-regangan didasarkan pada nilai kuat tekan dan defleksi dari kolom. Pada pengolahan data ini akan dibandingkan antara hasil uji secara aktual dengan teoritis.

Tabel 3.7

Form pengolahan data dari pengujian kuat tekan kolom asli dan kolom retrofit.

NO	Kode Benda Uji	Umur	Slump	Berat Kolom	Kuat Tekan Beton (fc')	Kuat Tekan Kolom Maksimum Teoritis
		(Hari)	(cm)	(kg)	(Mpa)	(Mpa)
Kuat Tekan Kolom Maksimum Aktual (kN)						

Tabel 3.8

Form perbandingan kuat beban aksial nominal kolom secara teoritis dengan kuat tekan beban aksial ultimate secara aktual kolom asli.

NO	Kode Benda Uji Kolom Asli	Kuat Tekan Beton (fc')	Kuat Beban Aksial Nominal Kolom (Pn) Secara Teoritis	Kuat Beban Aksial Ultimate Kolom (Pu) Secara Aktual
		(Mpa)	kN	kN

Tabel 3.9

Form perbandingan kuat beban aksial nominal kolom secara teoritis dengan kuat tekan beban aksial ultimate secara aktual kolom retrofit.

NO	Kode Benda Uji Kolom Retrofit	Kuat Tekan Beton (fc')	Kuat Beban Aksial Nominal Kolom (Pn) Secara Teoritis	Kuat Beban Aksial Ultimate Kolom (Pu) Secara Aktual
		(Mpa)	kN	kN

Tabel 3.10

Form pengolahan data hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

No	Gaya Tekan	Tegangan	Defleksi	Regangan
	Kn	kN/mm ²	mm	

Tabel 3.11

Form pengolahan data rata-rata dari hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

No	Defleksi Mm	Regangan	A.3.1		A.3.2	
			Gaya Tekan kN	Tegangan kN/mm ²	Gaya Tekan kN	Tegangan kN/mm ²

A.3.3		RATA – RATA	
Gaya Tekan Kn	Tegangan kN/mm ²	Gaya Tekan kN	Tegangan kN/mm ²

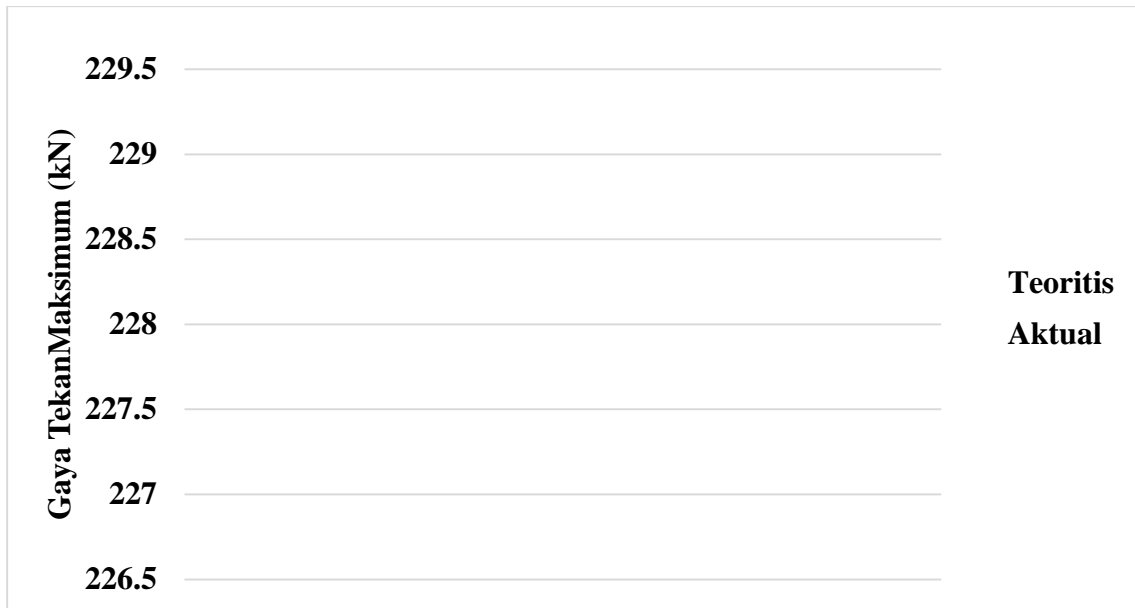
Tabel 3.12

Form hasil pengolahan data kekakuan dan modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit

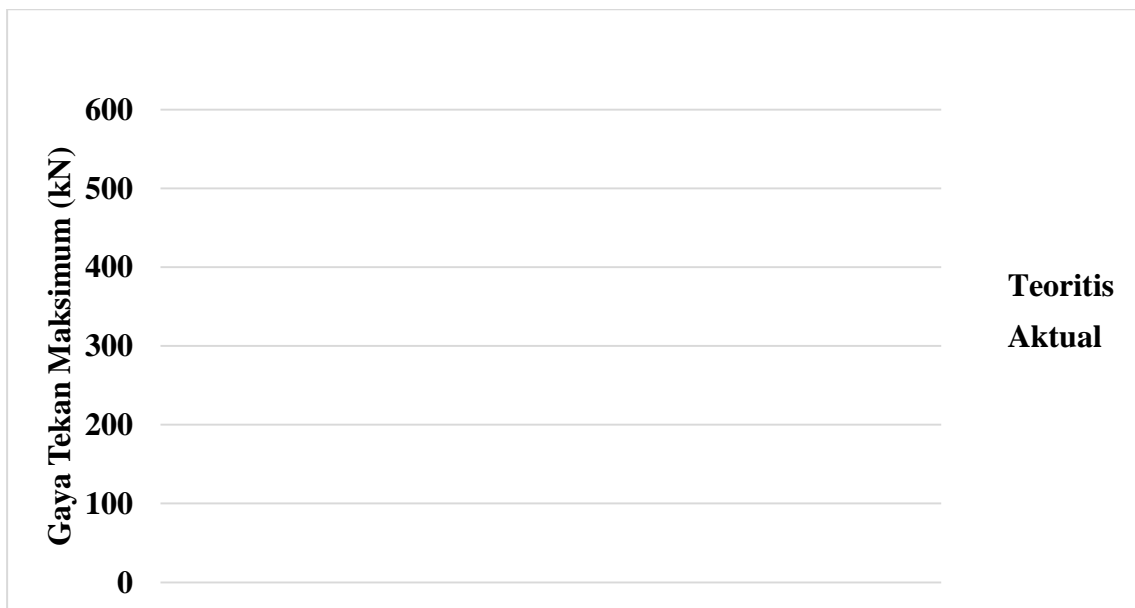
NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum	Defleksi	75% Gaya Tekan Maksimum	Defleksi
		kN	mm	kN	Mm
Tegangan Maksimum	Regangan	75% Tegangan Maksimum	Regangan	Kekakuan	Modulus Elastisitas
kN/mm ²		kN/mm ²		kN/mm	kN/mm ²



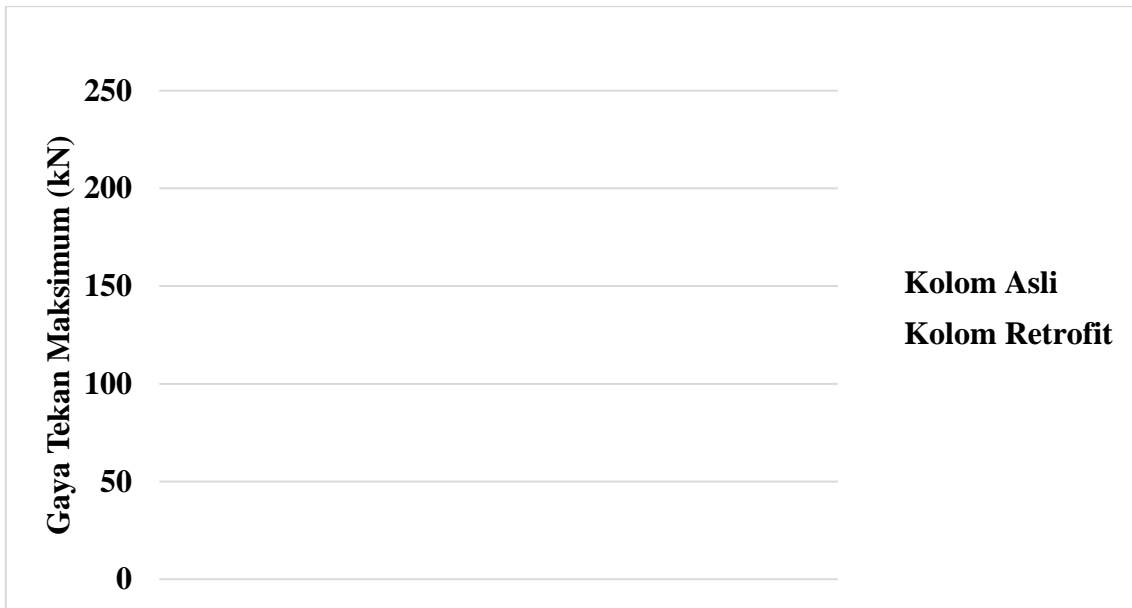
Gambar 3.10. Grafik perbandingan uji tekan beton silinder kolom asli dengan kolom retrofit.



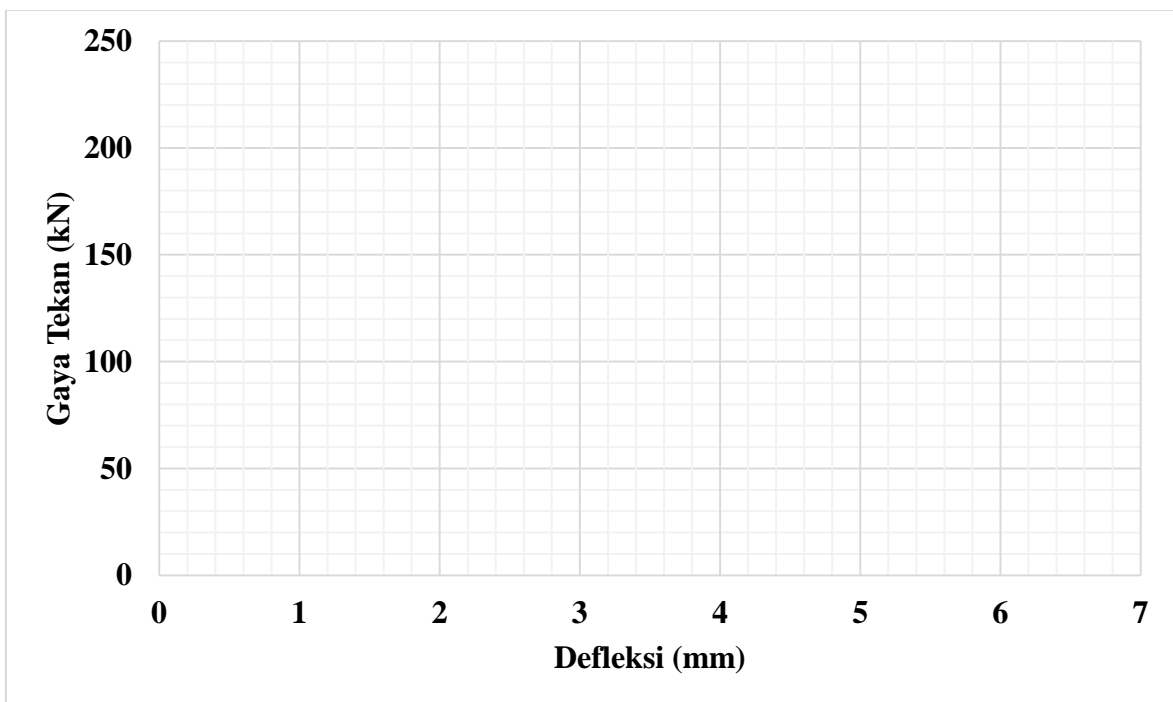
Gambar 3.11. Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum kolom asli secara teoritis dengan aktual



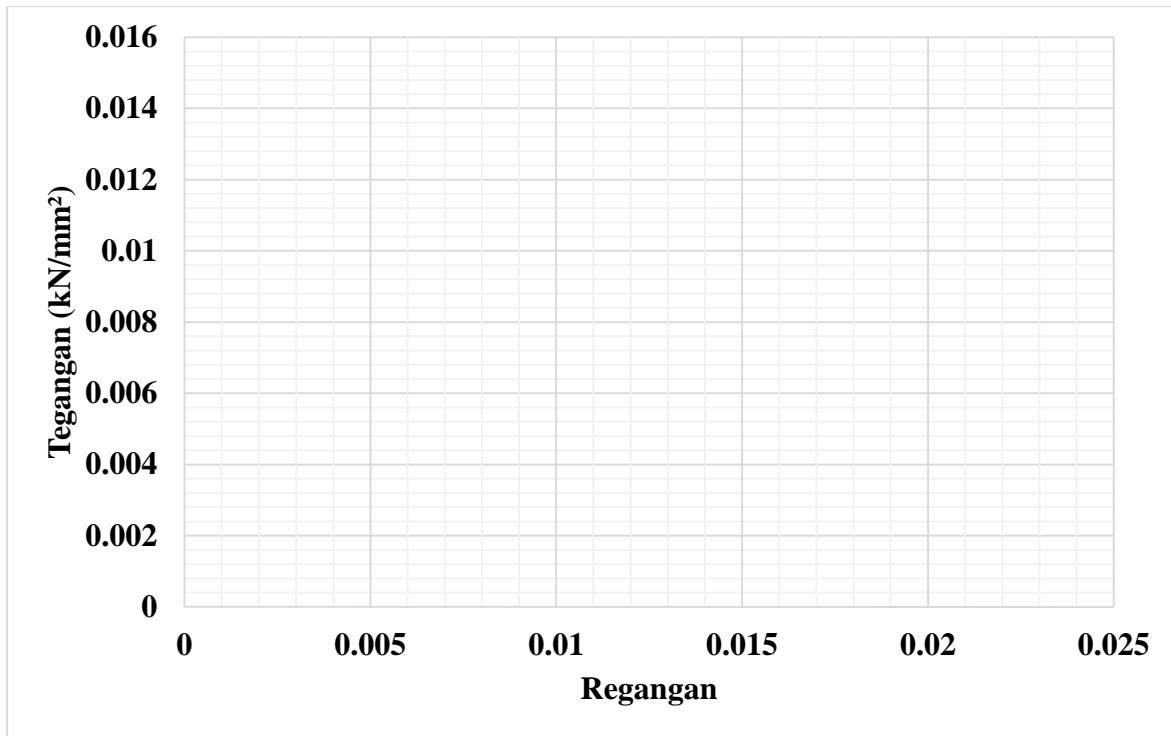
Gambar 3.12. Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum kolom retrofit secara teoritis dengan aktual



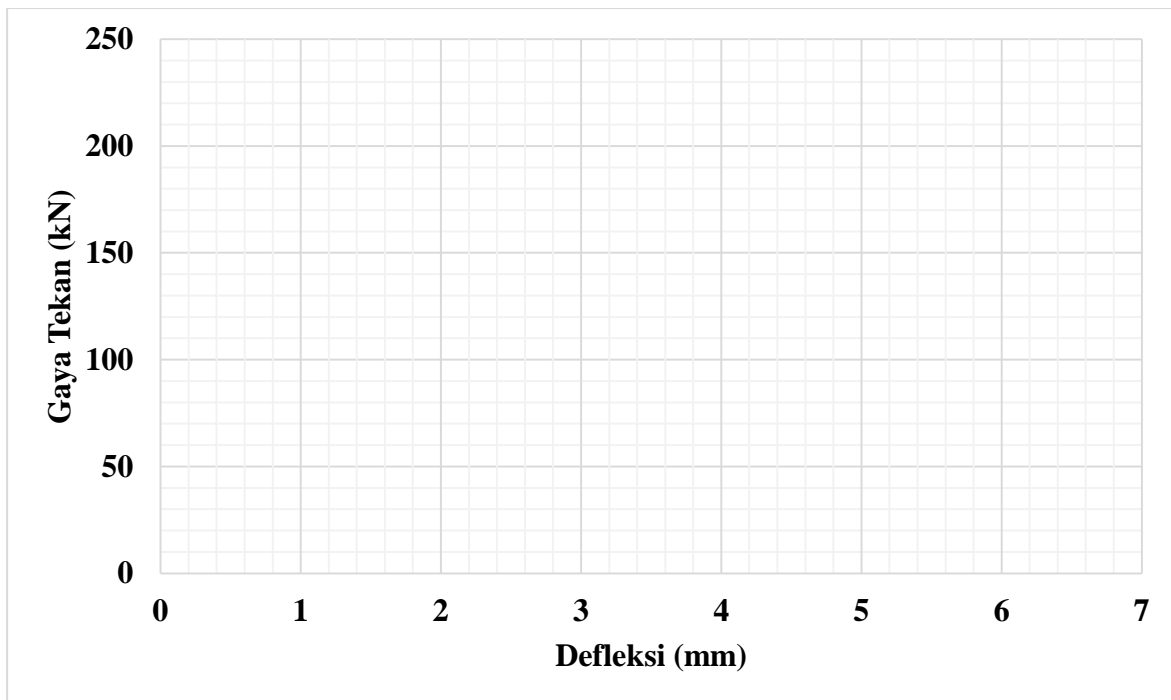
Gambar 3.13. Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum kolom asli dengan retrofit



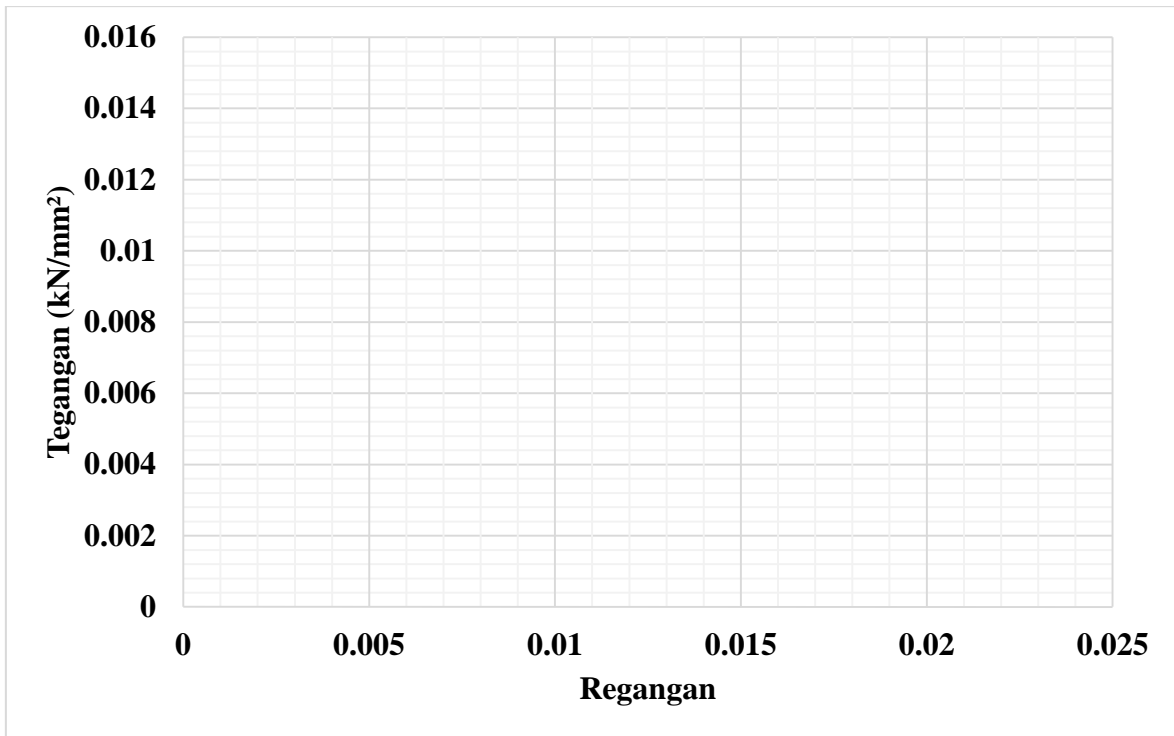
Gambar 3.14. Grafik hubungan gaya tekan dan defleksi kolom asli A.3



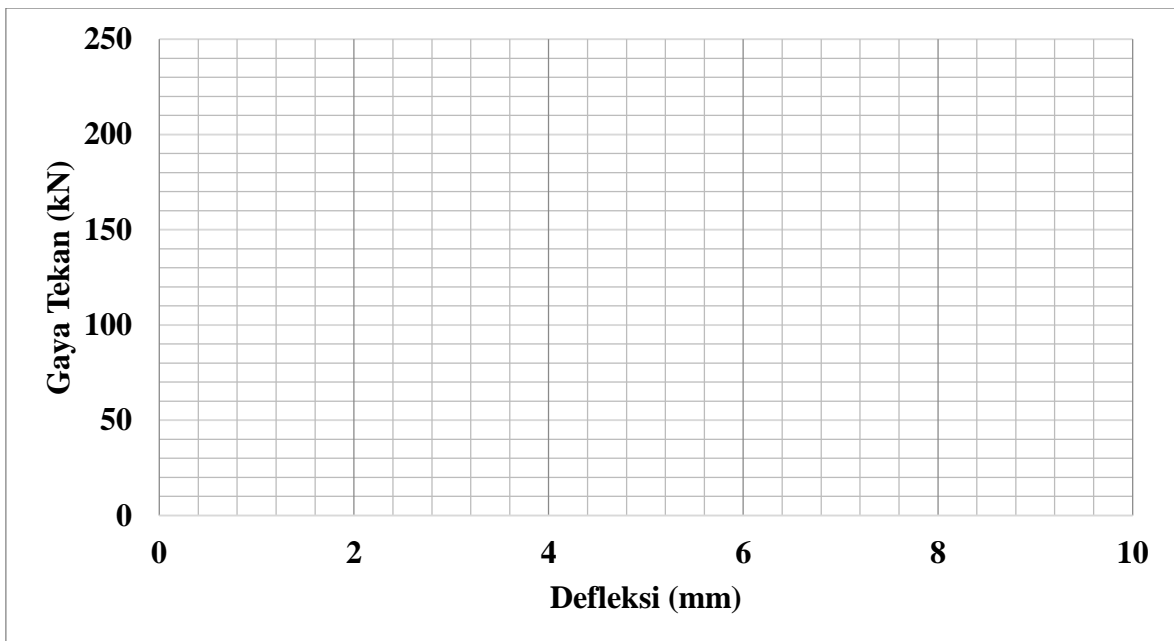
Gambar 3.15. Grafik hubungan tegangan dan regangan kolom asli A.3



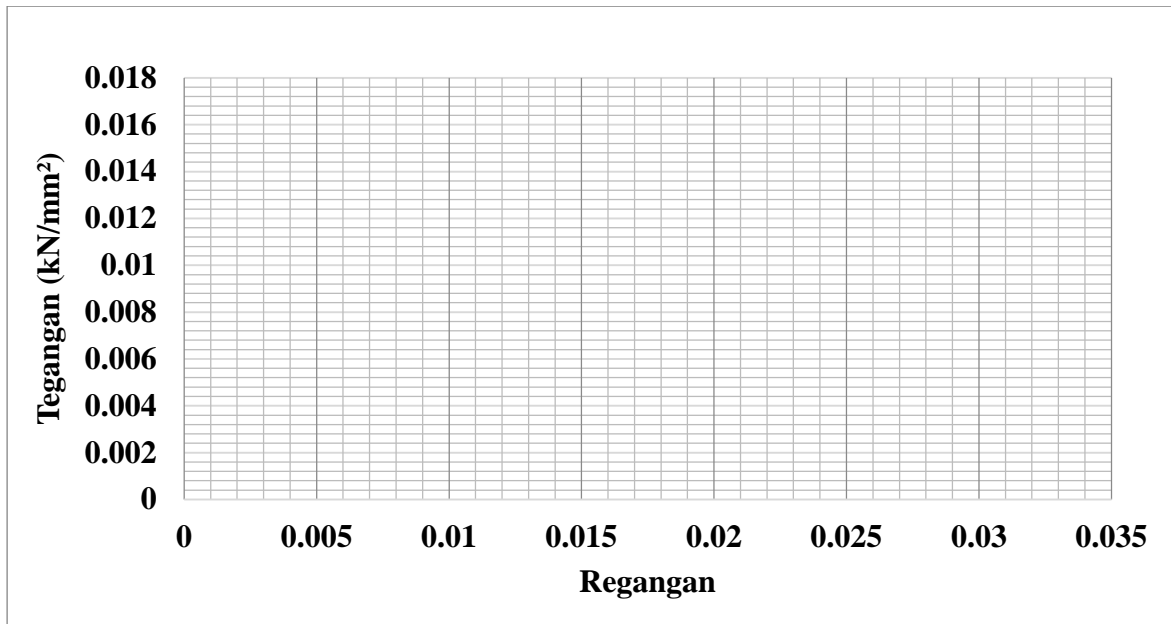
Gambar 3.16. Grafik hubungan gaya tekan dan defleksi kolom retrofit A.3



Gambar 3.17. Grafik hubungan tegangan dan regangan kolom retrofit A.3



Gambar 3.22. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom retrofit



Gambar 3.23. Grafik perbandingan hasil 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. Kurva tegangan-regangan kolom retrofit dengan dimensi tulangan yang kecil dan jarak sengkang yang renggang akan semakin landai pola keruntuhannya dibandingkan dengan kolom retrofit dengan dimensi tulangan yang besar dan jarak sengkang yang rapat.
2. Kapasitas beban aksial kolom dengan dimensi tulangan yang besar dan jarak antar tulangan longitudinal yang rapat akan lebih besar dibandingkan dengan kapasitas aksial tekan kolom dengan dimensi tulangan yang kecil dan jarak antar tulangan longitudinal yang renggang.
3. Nilai kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit dengan dimensi tulangan dan jarak antar tulangan longitudinal yang rapat akan semakin besar dibandingkan dengan kolom retrofit dengan dimensi tulangan yang kecil dan jarak antar tulangan longitudinal yang renggang.
4. Semakin besar dimensi tulangan dan rapat pemasangan tulangan longitudinal pada kolom retrofit, maka akan lebih efektif dibandingkan pemasangan dimensi ukuran tulangan yang kecil dan jarak antar tulangan longitudinal yang renggang pada pada kolom retrofit.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Bahan

4.1.1 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 %

4.1.2 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 %

4.1.3 Air

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

4.1.5 Baja Tulangan

Pengujian yang terkait dengan baja tulangan akan menghasilkan tegangan leleh dan tegangan ultimate atau dapat disebut juga sebagai tegangan maksimum. 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 Uji Tulangan Baja

Benda Uji	Diameter	Tegangan Leleh (fy)	Tegangan Ultimate	Tegangan Leleh Rata-Rata	Tegangan Ultimate Rata-Rata
	(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(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 Campuran Beton

Perbandingan campuran beton berdasarkan teori perancangan proporsi campuran adukan beton cara Inggris “*The British Mix Design Method / Departemen Pekerjaan Umum*”.

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

4.2 Pengujian Beton Segar

Pengujian yang dilakukan pada beton segar adalah pengujian slump (*Slump Test*). Pengujian slump merupakan salah satu pengetesan sederhana beton segar untuk mengetahui workability beton segar sebelum diaplikasikan dalam pekerjaan pengecoran. Alat yang digunakan adalah “kerucut Abrams”. Karena kita menggunakan FAS sebesar 0.6, maka didapatkan nilai rata-rata slump 8 untuk beton kolom asli (12 x 12 x 30) cm dan kolom retrofit (18 x 18 x 30 cm) dengan nilai slump 8 untuk beton kolom retrofit kode A, nilai slump 10 untuk beton kolom retrofit kode B nilai slump 9 untuk beton kolom retrofit kode C dan D.



Gambar 4. 1. Uji Slump

Tabel 4.2

Tabel Hasil Uji Slump Beton Kolom Asli

No	Kode Benda	Slump
	Uji	(cm)
1	A3	8
2	B3	8
3	C3	8
4	D3	8

Tabel 4.3

Tabel Hasil Uji Slump Beton Silinder kolom retrofit

No	Kode Benda Uji	Slump
		(cm)
1	A3	8
2	B3	10
3	C3	9
4	D3	9

Terlihat pada Tabel dan tabel nilai slump berbeda beda namun hal ini tidak menjadi masalah karena slump didesain menggunakan nilai (60-180) mm. Dan nilai slump dari hasil pengujian beton yang digunakan masih dalam syarat yang ditentukan.

4.3 Pembuatan Benda Uji Beton Silinder

Pembuatan benda uji beton silinder diambil 2 buah benda uji, dengan gaya tekan setiap variasi kolom asli dan retrofit. Hal ini ditujukan untuk mengetahui gaya tekan beton (f'_c) dari setiap benda uji kolom asli dan retrofit sehingga dapat mengontrol kuat yang dihasilkan dengan kuat tekan yang direncanakan. Benda uji silinder ini memiliki dimensi diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Hasil pengujian kuat tekan beton silinder ini akan digunakan untuk pengolahan data selanjutnya.

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

Dimana :

f'_c = Gaya tekan beton (MPa)

P_{max} = Beban maksimum (kN)

A = Luas tekan penampang (mm^2)

Gambar pengujian gaya tekan beton silinder ditampilkan pada Gambar 4.2, sedangkan hasil pengujian gaya tekan beton silinder ditampilkan pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.



Gambar 4.2. Uji tekan beton silinder

Tabel 4.4

Hasil uji gaya tekan beton benda uji silinder kolom asli

NO	Kode		Slump (cm)	Berat (kg)	Beban Maksimum (kN)	Gaya Tekan (Mpa)
	Benda Uji	Umur (Hari)				
1	A1	28	8	12.25	338	19.13
2	A2		8	12.45	286	16.18
3	B1	28	8	12.4	360	20.37
4	B2		8	12.5	345	19.52
5	C1	28	8	12.4	329	18.62
6	C2		8	12.5	363	20.54
7	D1	28	8	12.4	362	20.49
8	D2		8	12.45	352	19.92

Tabel 4.5

Hasil uji gaya tekan beton benda uji silinder kolom retrofit

NO	Kode		Slump (cm)	Berat (kg)	Beban Maksimum (kN)	Gaya Tekan (Mpa)
	Benda Uji	Umur (Hari)				
1	A1	28	8	12.6	447	25.30
2	A2		8	12.65	416	23.54
3	B1	28	10	12.4	293	16.58
4	B2		10	12.55	346	19.58
5	C1	28	9	12.55	313	17.71
6	C2		9	12.6	331	18.73
7	D1	28	9	12.4	415	23.48
8	D2		9	12.3	454	25.69

Dari hasil pengujian gaya tekan beton yang terdapat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 didapat nilai gaya tekan beton uji silinder kolom asli dan kolom retrofit, 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*.

Contoh perhitungan gaya tekan beton (Beton A3 benda uji silinder sampel benda uji kolom asli) :

Dik :

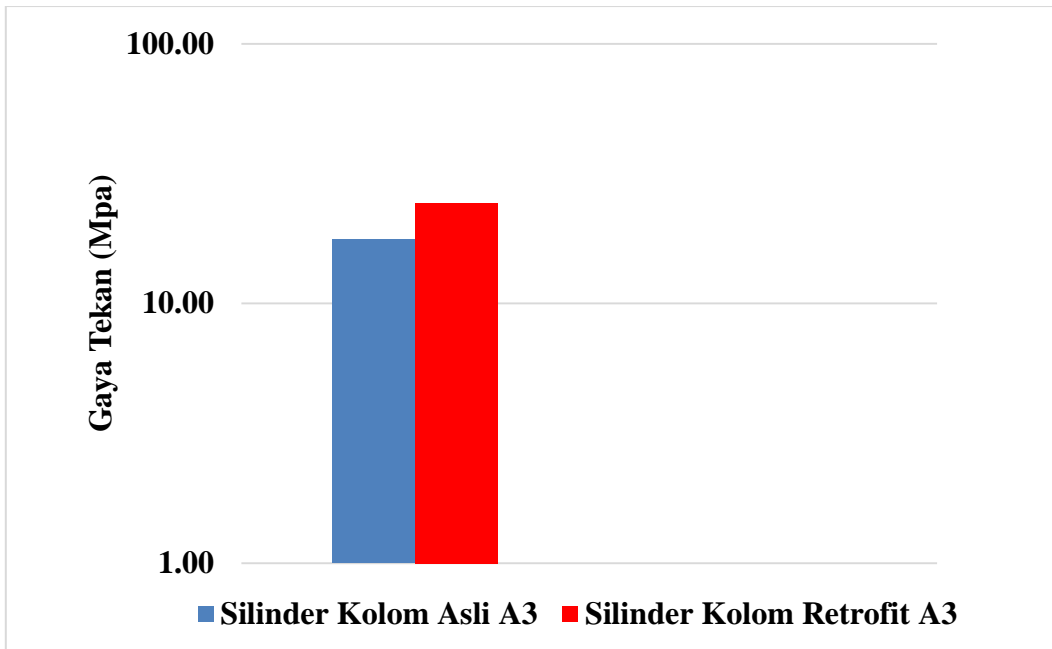
$$P_{max} = 447 \text{ kN} = 447000 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150^2 \\ &= 17671,46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

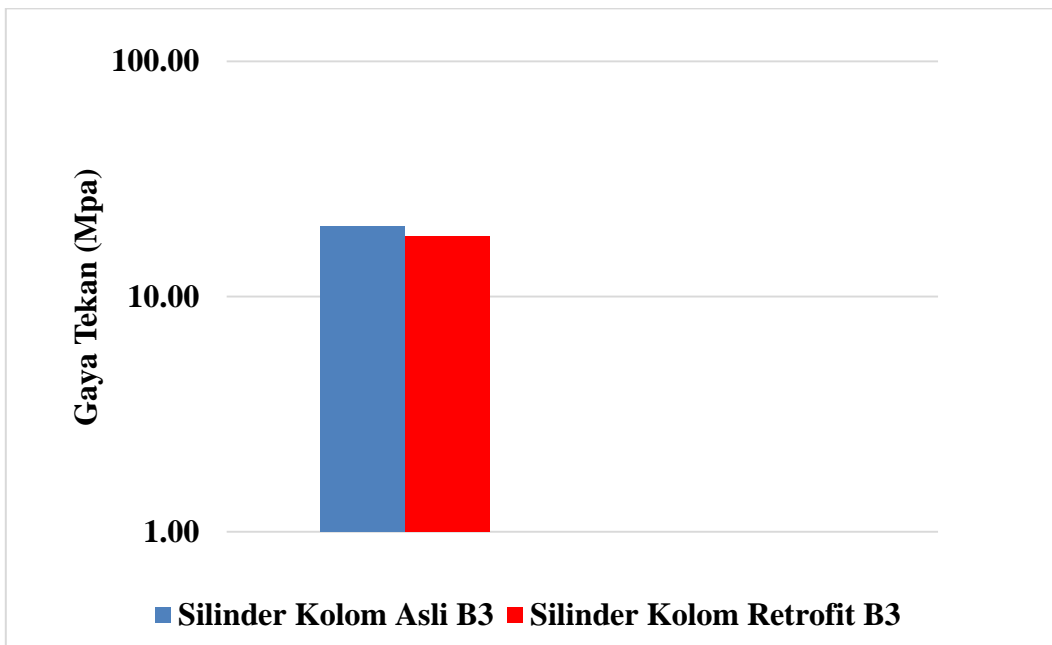
Dit : f'_c ?

Jawab :

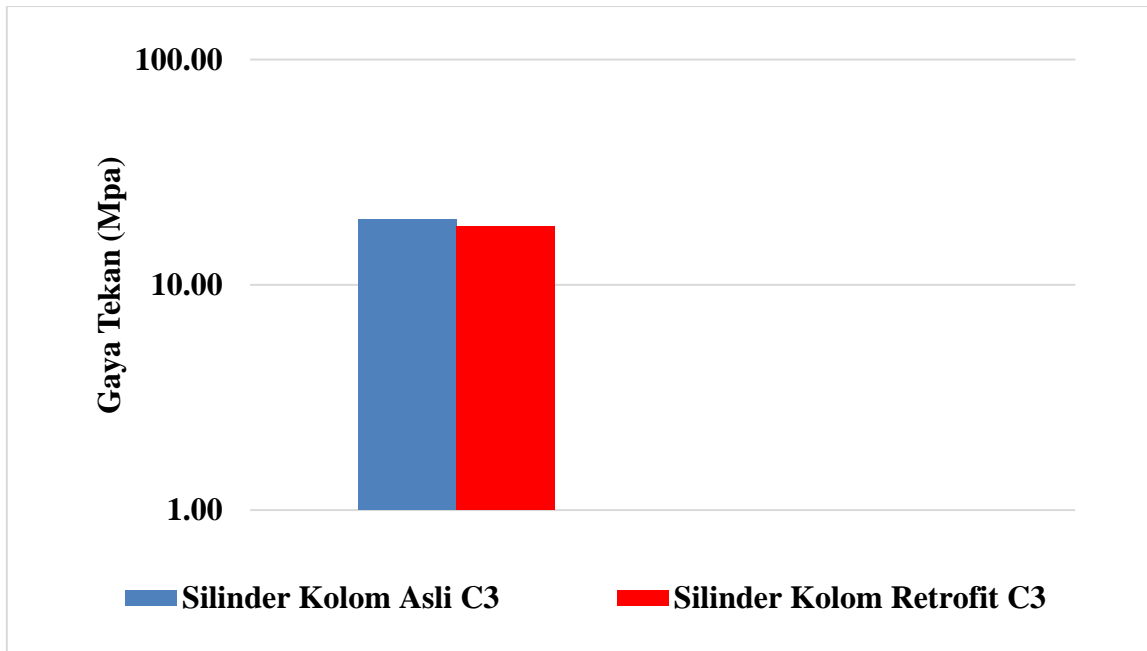
$$\begin{aligned} f'_c &= \frac{P_{max}}{A} \\ &= \frac{477000}{17671.46} \\ &= 24,417 \text{ MPa} \end{aligned}$$



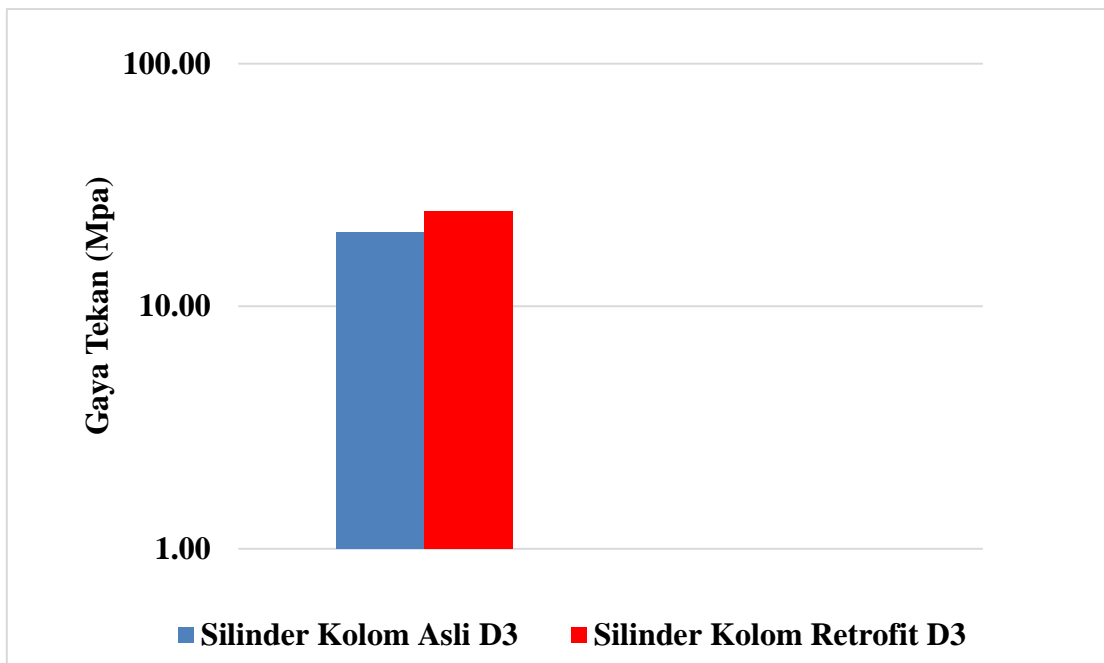
Gambar 4.3. Grafik perbandingan hasil uji tekan beton silinder kolom asli A dengan kolom retrofit A



Gambar 4.4. Grafik perbandingan hasil uji tekan beton uji silinder kolom asli B dengan kolom retrofit B



Gambar 4.5. Grafik perbandingan hasil uji tekan beton uji silinder kolom asli C dengan kolom retrofit C



Gambar 4.6. Grafik perbandingan hasil uji tekan beton uji silinder kolom asli D dengan kolom retrofit D

4.4 Proses Perawatan (*Curing*)

Proses perawatan atau *curing* benda uji silinder dan 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 gaya tekan beton (f'_c).

4.5 Pembahasan

4.5.1 Kuat beban Aksial Kolom Asli dan Kolom Retrofit

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 gaya tekan kolom ditujukan untuk mengetahui gaya tekan kolom (P_n).

Rumus gaya tekan pada kolom asli :

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

Rumus gaya tekan 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)

Tabel 4.6

Tabel hasil perbandingan kuat beban aksial nominal teoritis dan ultimate aktual kolom asli

NO	Kode Benda Uji Kolom	Kuat Tekan Beton (f_c')	Kuat Beban Aksial Nominal Kolom (P_n) Secara Teoritis	Kuat Beban Aksial Ultimate Kolom (P_u) Secara Aktual
	Asli	(Mpa)	kN	kN
1	A3	17.66	227.5236036	193.5666667
2	B3	19.95	255.4872444	188.2666667
3	C3	19.58	250.9992527	225.97
4	D3	20.20	258.5943156	206.0333333

Pada Tabel 4.6, nilai kuat beban aksial ultimate kolom secara actual didapatkan dari rata - rata data kuat beban aksial per sampel kolom asli dengan asumsi pembacaan defleksi per sampel kolom asli harus senilai.

Contoh perhitungan kekuatan nominal kolom asli (P_n max) (Kolom A.3) :

Dik :

$$f'_c = 17.66 \text{ MPa}$$

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

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

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

Dit : P_n (max) ?

Jawab :

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

$$P_{n(max)} = 0.85 \times 17.66 (14400 - 45.36) + 266.73 \times 45.36$$

$$P_{n(max)} = 227523.6036 \text{ N} = 227.5236 \text{ kN}$$

Tabel 4.7

Tabel hasil perbandingan kuat beban aksial nominal teoritis dan ultimate aktual kolom asli

NO	Kode Benda Uji Kolom Retrofit	Kuat Tekan	Kuat Beban Aksial Nominal	Kuat Beban Aksial Ultimate
		Beton (f'_c) (Mpa)	Kolom (P_n) Secara Teoritis kN	Kolom (P_u) Secara Aktual kN
1	A3	24.42	489.5932271	283.1333333
2	B3	18.08	488.474488	368.1666667
3	C3	18.22	412.0605026	283.13
4	D3	24.59	409.2963278	306.9333333

Pada Tabel 4.7, nilai kuat beban aksial ultimate kolom aktual didapatkan dari rata-rata data kuat beban aksial per sampel kolom retrofit dengan asumsi pembacaan defleksi per sampel kolom retrofit harus senilai.

Contoh perhitungan kekuatan nominal kolom retrofit (P_n max) (Kolom A.3) :

Dik :

$$f'_c \text{ kolom asli} = 17.66 \text{ MPa}$$

$$f'_c \text{ kolom retrofit} = 24.42 \text{ MPa}$$

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

$$A_g \text{ kolom retrofit} = 180 \text{ mm} \times 180 \text{ mm} = 32400 \text{ mm}^2$$

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

$$A_{\text{bambu}} = 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} = 100 \text{ mm}^2$$

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

$$f_{tk} \text{ bambu} = 43.13 \text{ MPa}$$

Dit : P_n (max) ?

Jawab :

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

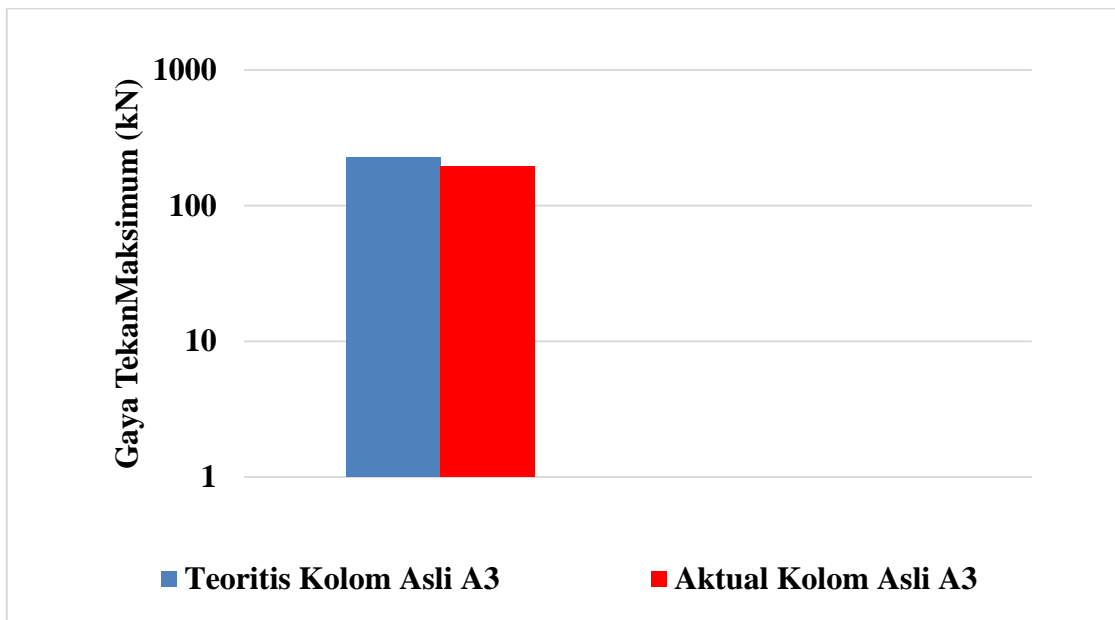
$$P_{n(max)} =$$

$$50\% [0.85 \times 17.66 (14400 - 45.36) + 266.73 \times 45.36] + [0.85 \times 24.42 ((32400 - 14400) - 100) + (100 \times 43.13)]$$

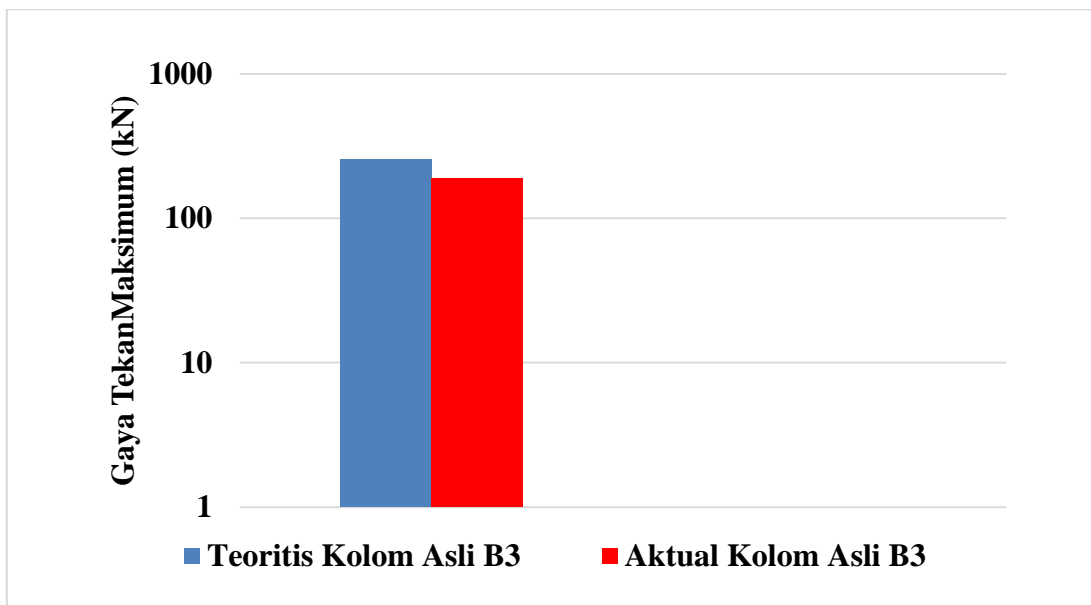
$$P_{n(max)} = 489593,2271 \text{ kN} = 489,593 \text{ N}$$

Pada saat menganalisis kuat tekan kolom retrofit bertulangan bambu diambil 50% kuat tekan kolom asli, angka 50% disini bukan merupakan nilai mutlak yang memang harus sebesar itu, melainkan angka itu kondisional tergantung penelitian, dimana 50% pada penelitian ini

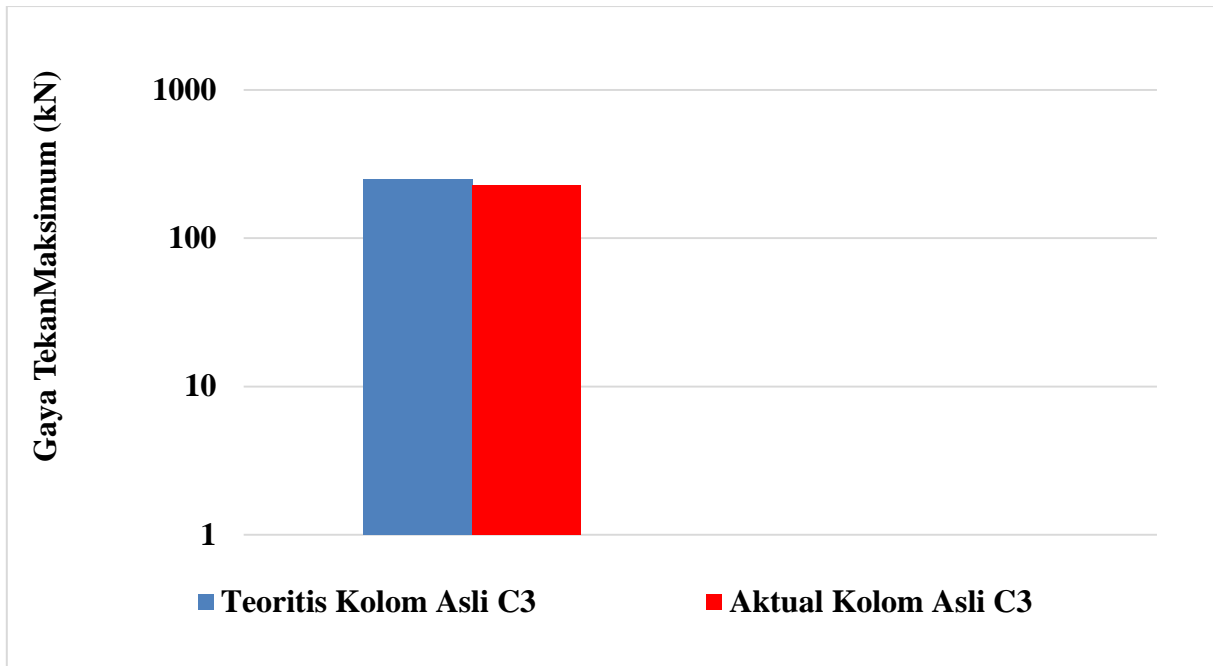
didapatkan dari hasil pengujian kuat tekan yang diberhentikan saat beban turun 50% dari beban puncak.



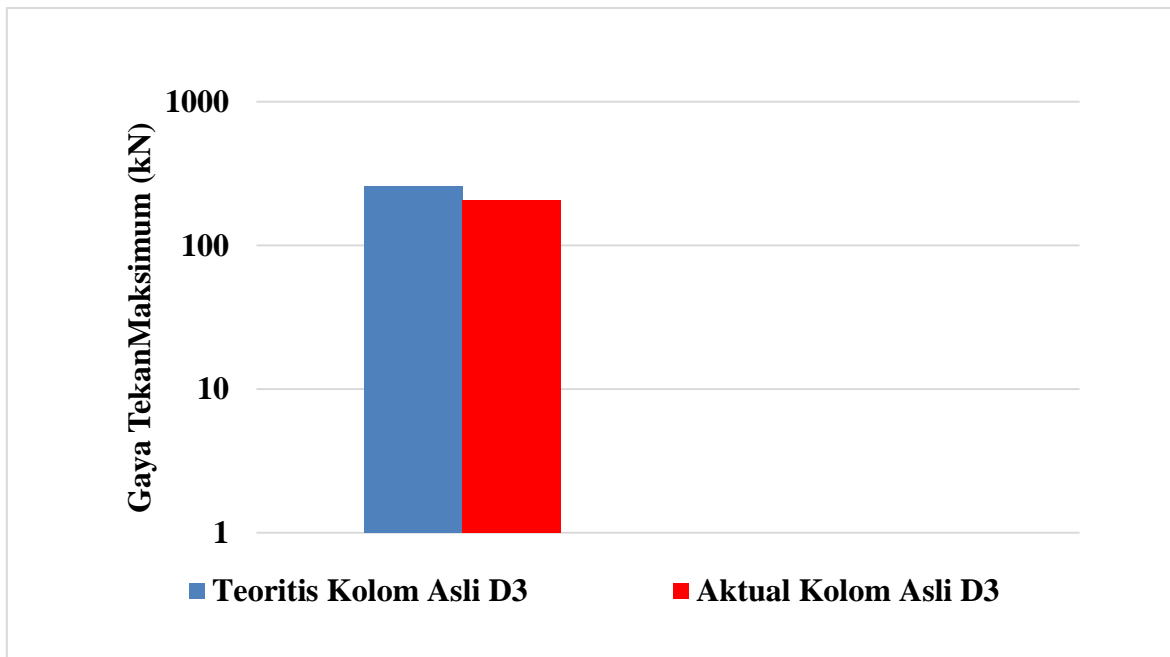
Gambar 4.7. Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum teoritis dan aktual kolom asli A3



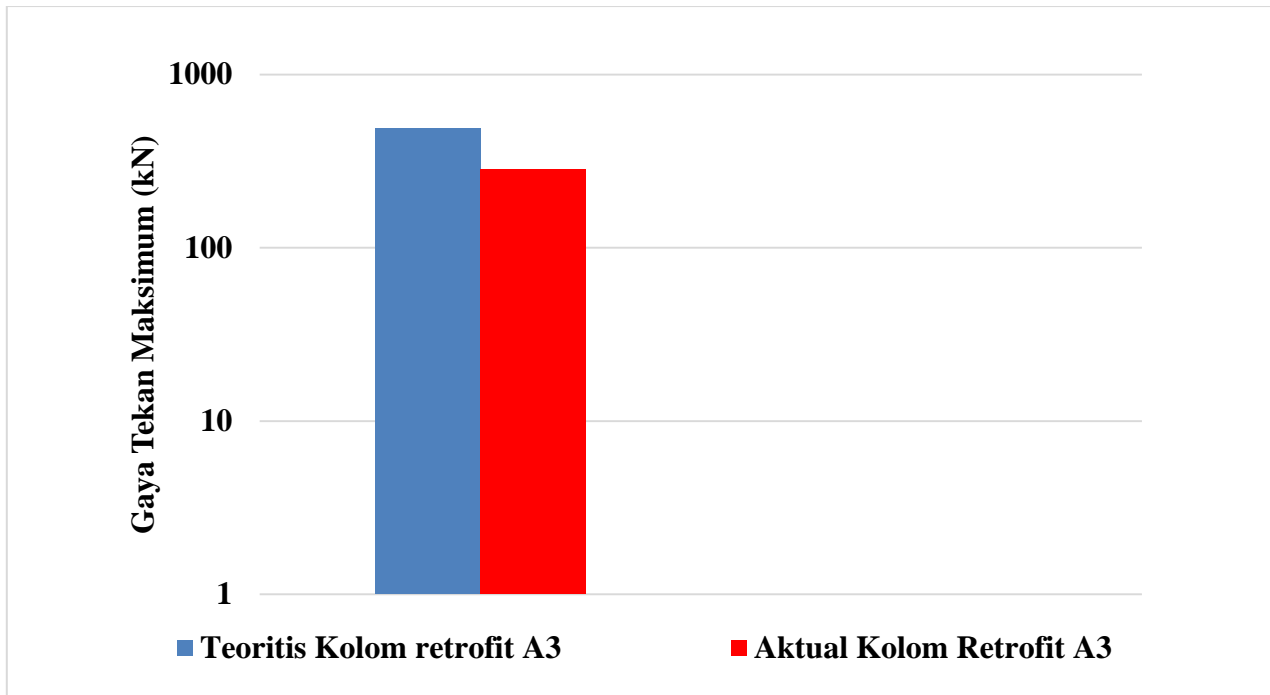
Gambar 4.8. Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum teoritis dan aktual kolom asli B3



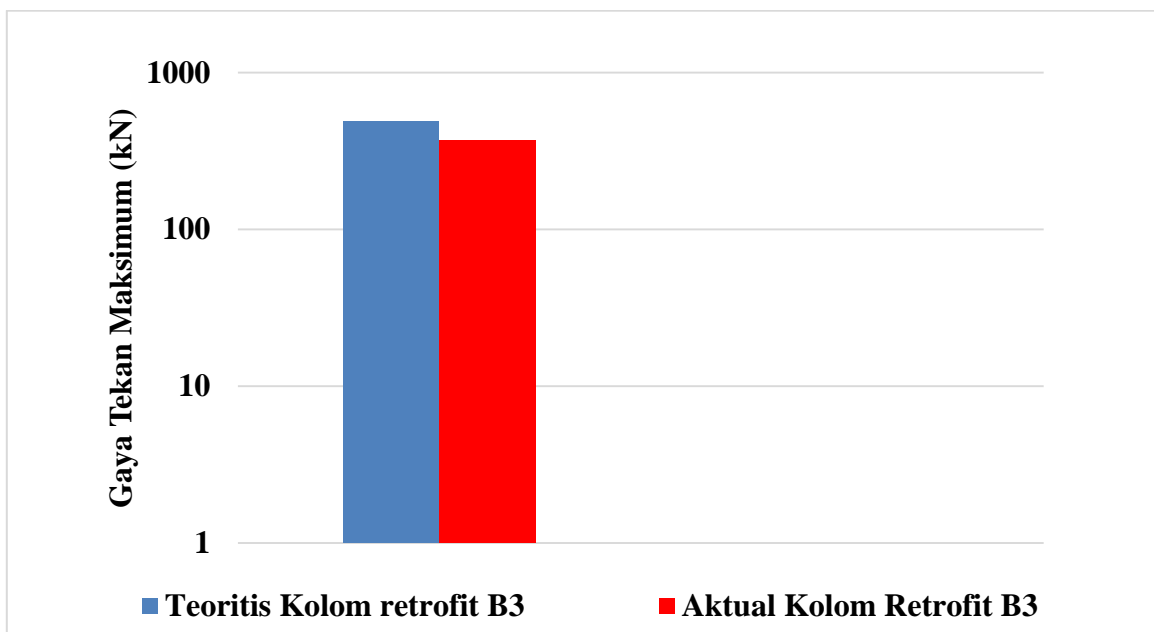
Gambar 4.9. Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum teoritis dan aktual kolom asli C3



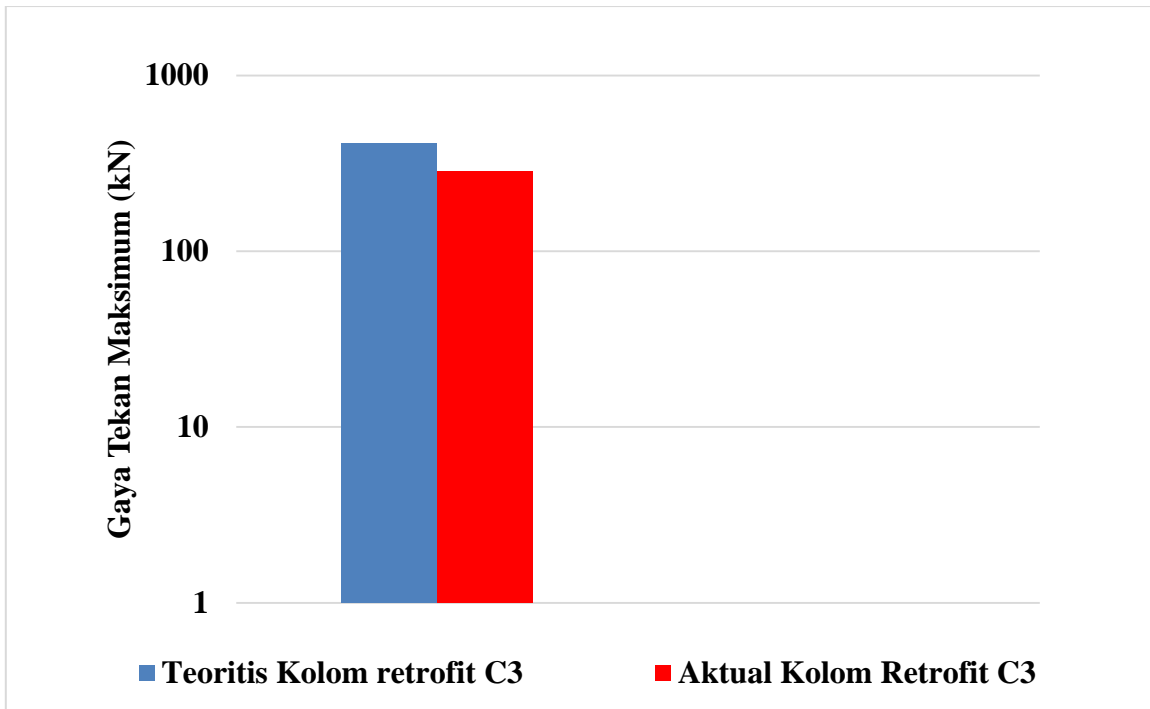
Gambar 4.10. Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum teoritis dan aktual kolom asli D3



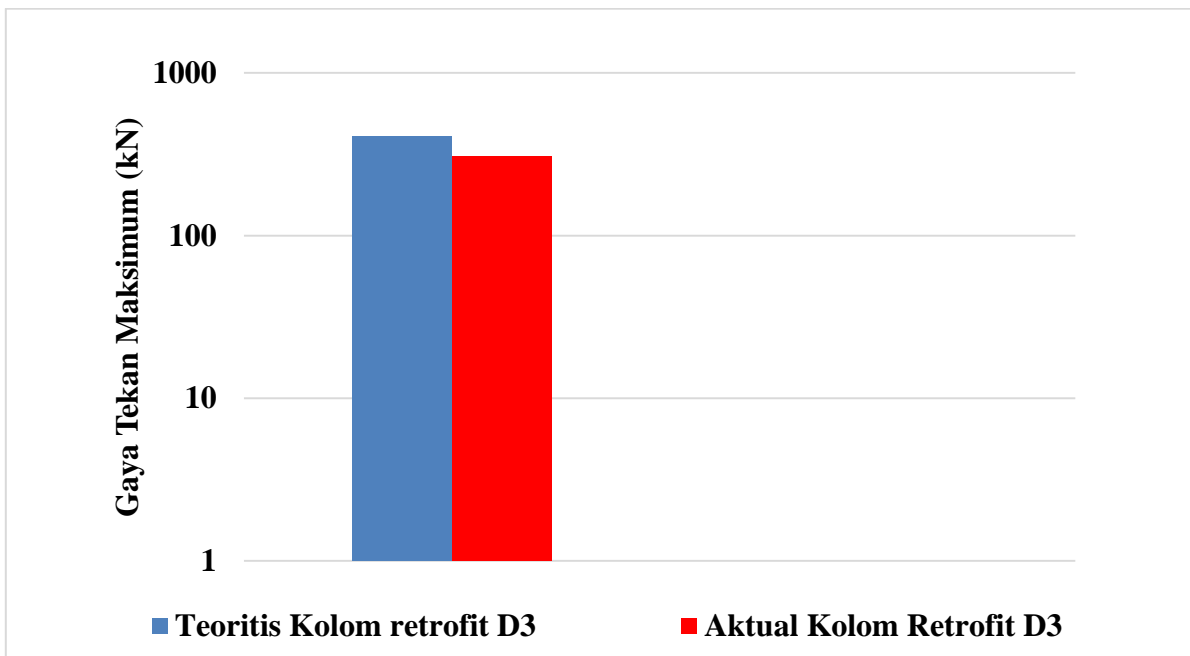
Gambar 4.11. Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum teoritis dan aktual kolom retrofit A3



Gambar 4.12. Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum teoritis dan aktual kolom retrofit B3



Gambar 4.13. Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum teoritis dan aktual kolom retrofit C3



Gambar 4.14. Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum teoritis dan aktual kolom retrofit D3

Dari penelitian gaya tekan kolom dapat disimpulkan bahwa, hasil teoritis dengan aktual pada pengujian gaya tekan maksimum kolom asli dan kolom retrofit berbeda. Hasil pengujian gaya tekan kolom asli dan kolom retrofit secara aktual didapatkan hasil sebagai berikut, Kolom asli A.3 didapatkan gaya tekan maksimum sebesar 193,6 MPa, sedangkan kolom retrofit A.3 didapatkan gaya tekan maksimum sebesar 283,13 MPa. Kolom asli A.3 mengalami peningkatan sebesar 46.3 % dari kolom retrofit A.3. Kolom asli B.3 didapatkan gaya tekan maksimum sebesar 188.27 MPa, sedangkan kolom retrofit B.3 didapatkan gaya tekan maksimum sebesar 368.17 MPa. Kolom asli B.3 mengalami peningkatan sebesar 95.6% dari kolom retrofit B.3. Kolom asli C.3 didapatkan gaya tekan maksimum sebesar 225.97 MPa, sedangkan kolom retrofit C.3 didapatkan gaya tekan maksimum sebesar 284.4 MPa. Kolom asli C.3 mengalami peningkatan sebesar 30% dari kolom retrofit C.3. Kolom asli D.3 didapatkan gaya tekan maksimum sebesar 206.03 MPa, sedangkan kolom retrofit D.3 didapatkan gaya tekan maksimum sebesar 306.93. MPa. Kolom asli D.3 mengalami peningkatan sebesar 49% dari kolom retrofit D.3.

4.5.2 Grafik Kekakuan Kolom asli dan Kolom Retrofit

Dalam penelitian ini hasil dari gaya tekan dan defleksi akan didapatkan nilai kekakuan. Dimana nilai kekakuan pada suatu struktur merupakan bagian yang penting dan perlu diperhatikan. Kekakuan digunakan untuk pembatasan agar menjaga konstruksi agar tidak melendut melebihi dari lendutan yang disyaratkan. Kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit *displacement*. 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 modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit memakai metode yang dilakukan oleh Park (1988) yakni, untuk nilai gaya tekan diambil dari 75 % nilai gaya tekan maksimum dan nilai defleksi diambil dari nilai defleksi pada saat nilai gaya tekan yang didapat 75% gaya tekan maksimum.

Tabel 4.8

Tabel data kekakuan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Kekakuan (kN/mm)	
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit
1	A.3.1	239.8	184.5	179.85	138.38	63.95	53.55
2	A3 A.3.2	221.2	391.9	165.90	293.93	141.79	97.04
3	A.3.3	215.1	319.6	161.33	239.70	95.58	76.16
4	B.3.1	190.4	198.7	142.80	149.03	38.93	83.60
5	B3 B.3.2	250.1	465.2	187.58	348.90	120.72	170.81
6	B.3.3	249.1	477.3	186.83	357.98	150.27	214.50
7	C.3.1	258.1	364.8	193.58	273.60	158.88	134.32
8	C3 C.3.2	247.7	227.9	185.78	170.93	107.00	67.74
9	C.3.3	227.5	293.9	170.63	220.43	117.05	241.50
10	D.3.1	206.8	284.9	155.10	213.68	164.62	152.80
11	D3 D.3.2	249.8	331.7	187.35	248.78	180.00	94.35
12	D.3.3	285.1	339.4	213.83	254.55	101.16	164.27

Tabel 4.9

Tabel data rata –rata kekakuan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Kekakuan (kN/mm)	
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit
1	A3	193.6	283.1	145.18	212.35	96.13	75.26
2	B3	188.3	368.2	141.20	276.13	100.36	152.67
3	C3	226.0	284.4	169.48	213.30	128.58	132.66
4	D3	206.0	306.9	154.53	230.20	148.27	132.84

Contoh perhitungan kekakuan kolom (k) (Kolom retrofit A.3) :

Dik :

$$P_{max} = 283,1$$

$$75\% P_{max} = 75 \% \times 283,1 = 212,35 \text{ kN}$$

$$\Delta = 2,82 \text{ mm}$$

Dit : k ?

Jawab :

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

$$k = \frac{212,35 \text{ kN}}{2,82 \text{ mm}}$$

$$k = 75,26 \text{ kN/mm}$$

4.6.1.1 Kolom Asli A.3 – Kolom Retrofit A.3

Tabel 4.10

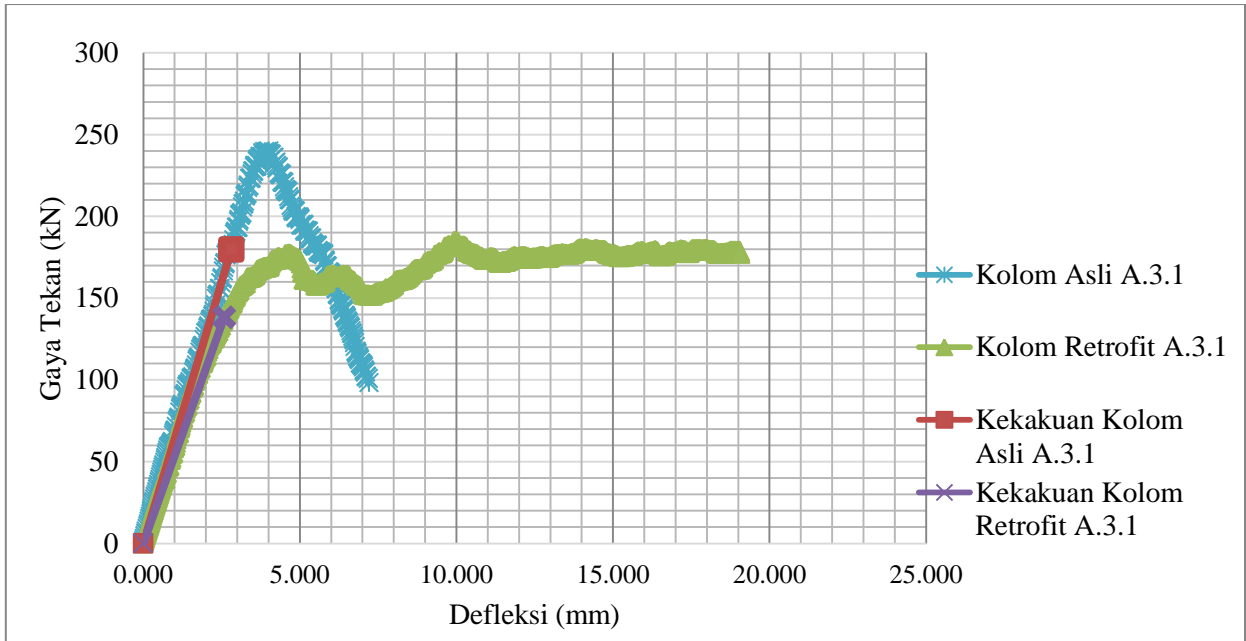
Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom asli A.3

No	Defleksi (mm)	A.3.1	A.3.2	A.3.3	RATA – RATA
		Gaya Tekan kN	Gaya Tekan Kn	Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN
1	0	0	0	0	0
2	0.2	13.5	28	18	19.83
3	0.4	28.5	58.8	36.7	41.33333333
4	0.6	43.5	88.8	49.9	60.73
5	0.8	57	116.6	66.5	80.03333333
6	1	68.1	146.7	87.5	100.7666667
7	1.2	82.1	168.2	103.9	118.07
8	1.4	95.8	186.5	127.1	136.47
9	1.6	101.8	205.3	149.7	152.27
10	1.8	113.7	216.8	171.3	167.27
11	2	128.8	220.6	193.9	181.10
12	2.2	137.3	219.2	209	188.5
13	2.4	152.15	208.4	215	191.85
14	2.6	170.8	196.3	213.6	193.57
15	2.8	178.8	185.9	205.5	190.07
16	3	193.2	176.8	192	187.3333333
17	3.2	207.4	160.9	171.2	179.83
18	3.4	223	148.2	149.8	174
19	3.6	230.8	135.2	129.2	165.0666667
20	3.8	236.3	127.4	118.8	160.8333333
21	4	237.5	117	107	153.8333333
22	4.2	232.5	109.2	98.4	146.70

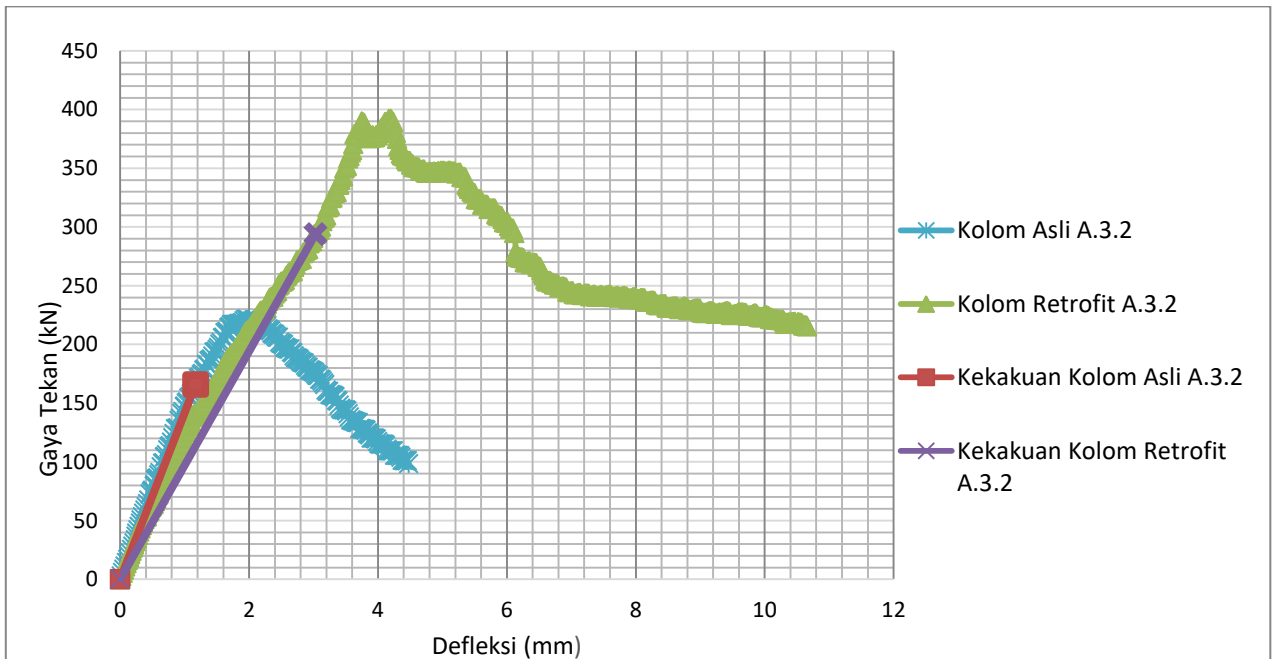
Tabel 4.11

Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom retrofit A.3

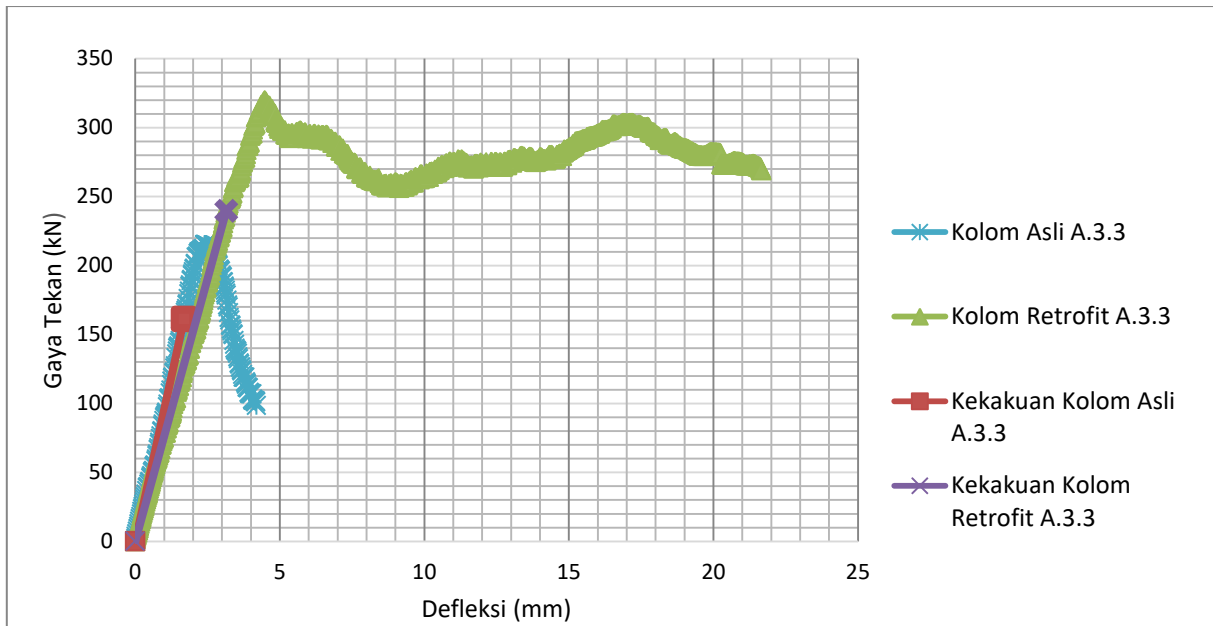
No	Defleksi (mm)	A.3.1	A.3.2	A.3.3	Rata-rata
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0	0	0	0	0
2	0.5	30	62.4	40	44.13
3	1	59.3	120.7	75.5	85.1667
4	1.5	90.8	168	112.4	123.73
5	2	114.7	212.8	147.6	158.367
6	2.5	135.6	253.1	187.6	192.1
7	3	153.6	290.8	226.4	223.60
8	3.5	163.2	351.2	262	258.80
9	4	169	378.3	294	280.43
10	4.5	174	355.8	319.6	283.13
11	5	173.3	347.5	299.2	273.33
12	5.5	159.6	328.5	293.2	260.433
13	6	163.8	303.6	293.1	253.5
14	6.5	163.8	266.1	294.4	241.43
15	7	155	244.9	286.2	228.70
16	7.5	153.4	240.8	275.1	223.1
17	8	158.1	239.9	264.6	220.87
18	8.5	163.7	231.1	259.8	218
19	9	171	230.1	260	220.367
20	9.5	177.5	224.9	261.2	221.2
21	10	184.4	224.5	263.4	224.1
22	10.5	177.5	218.7	271.4	222.53
23	10.66	176.6	215.1	271.2	220.97



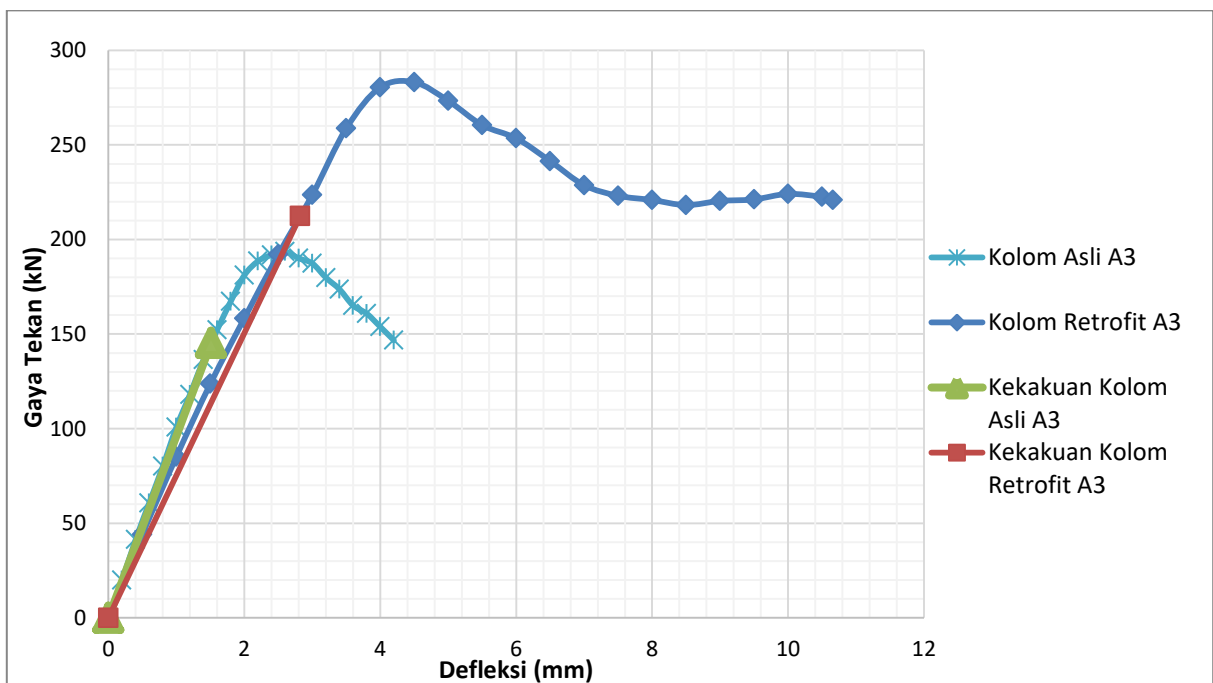
Gambar 4.15 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.3.1 dengan kolom retrofit A.3.1



Gambar 4.16 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.3.2 dengan kolom retrofit A.3.2



Gambar 4.17 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.3.3 dengan kolom retrofit A.3.3



Gambar 4.18 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.3 dengan kolom retrofit A.3

Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli A.3 dapat disimpulkan, pada kolom asli A.3 memiliki defleksi sebesar 1.51 mm, dan kolom retrofit A.3 memiliki defleksi sebesar 2.82 mm. Maka kolom asli A.3 mengalami peningkatan defleksi sebesar 86.8% dari kolom retrofit A.3.

Dari hasil analisis data gaya tekan dan defleksi pada kolom A.3 didapatkan nilai kekakuan pada kolom asli A.3 sebesar 96.13 kN/mm, sedangkan pada kolom retrofit A.3 didapatkan nilai kekakuan sebesar 76.26 kN/mm. Maka terjadi penurunan pada kekakuan kolom retrofit A.3 sebesar 76% dari nilai kekakuan kolom asli A.3.

4.6.1.2 Kolom Asli B.3 – Kolom Retrofit B.3

Tabel 4.12

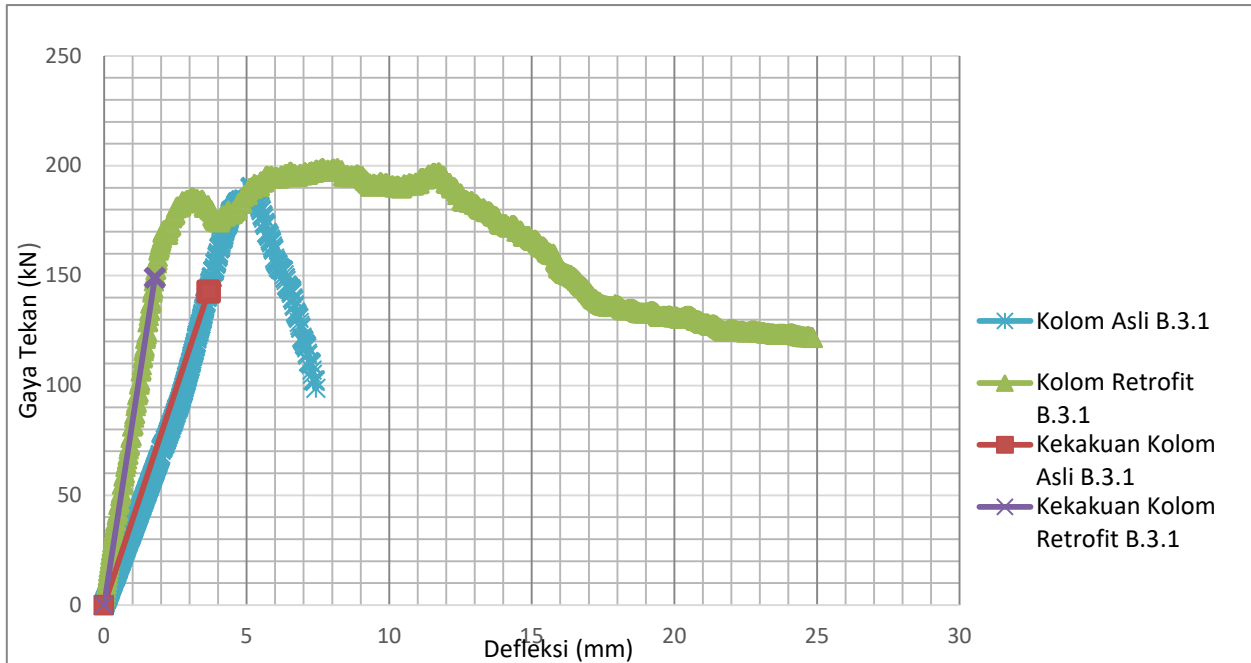
Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom asli B.3

No	Defleksi (mm)	B.3.1	B.3.2	B.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN
1	0	0	0	0	0
2	0.2	6.3	28.5	30.42	21.74
3	0.4	12.95	58.9	60.84	44.23
4	0.6	19.95	75.4	82.4	59.25
5	0.8	26.95	97.9	112.6	79.15
6	1	33.6	120.8	143.2	99.2
7	1.2	40.6	143.4	179.3	121.1
8	1.4	47.6	168	206.4	140.6666667
9	1.6	54.6	191	222.5	156.0333333
10	1.8	61.6	218.8	243	174.4666667
11	2	68.6	232.5	249.1	183.4
12	2.2	75.7	246.7	242.4	188.2666667
13	2.4	82.9	244.7	234.2	187.2666667
14	2.6	89.9	231.1	218	179.6666667
15	2.8	97.9	210.9	201.2	170
16	3	107.5	191.9	189	162.8
17	3.2	117.5	164	177.1	152.8666667
18	3.4	127.9	152.5	166.6	149
19	3.6	139.9	141.2	154.5	145.2
20	3.8	149.2	133.8	142.7	141.9
21	4	158.8	123.3	136.9	139.6666667
22	4.2	167.9	115.3	129.8	137.6666667
23	4.4	176	108.1	120.7	134.9333333
24	4.6	180.6	102.8	113.7	132.3666667
25	4.67	182.1	99.6	110.8	130.8333333

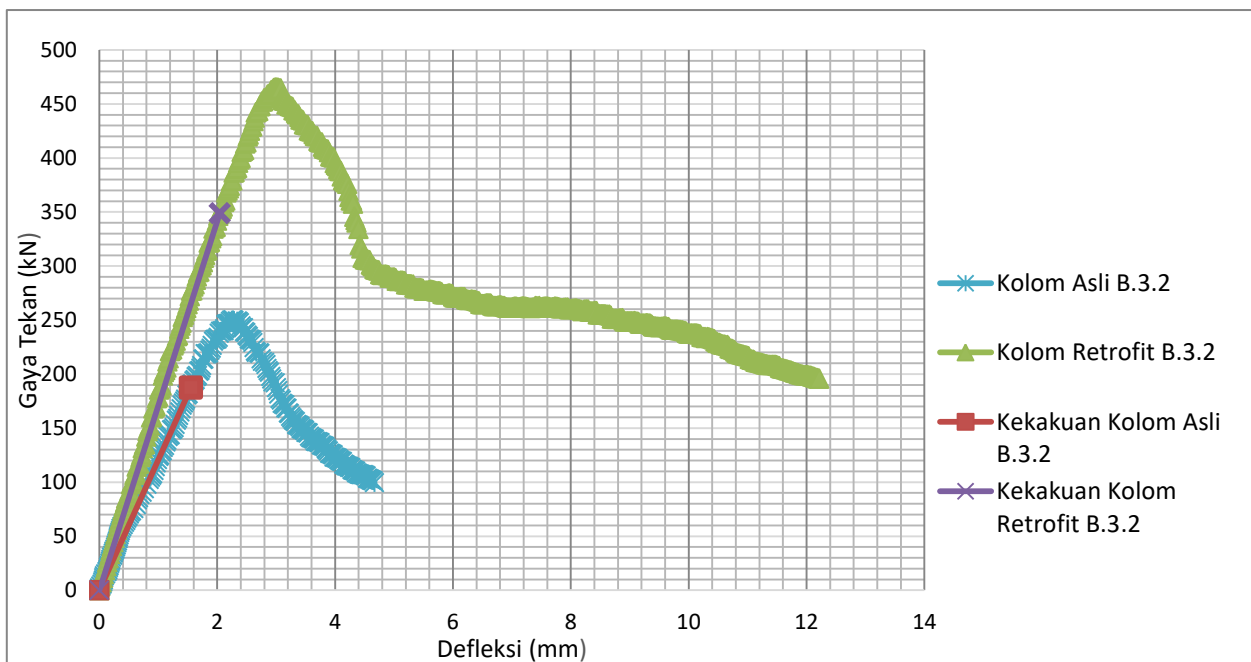
Tabel 4.13

Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom retrofit B.3

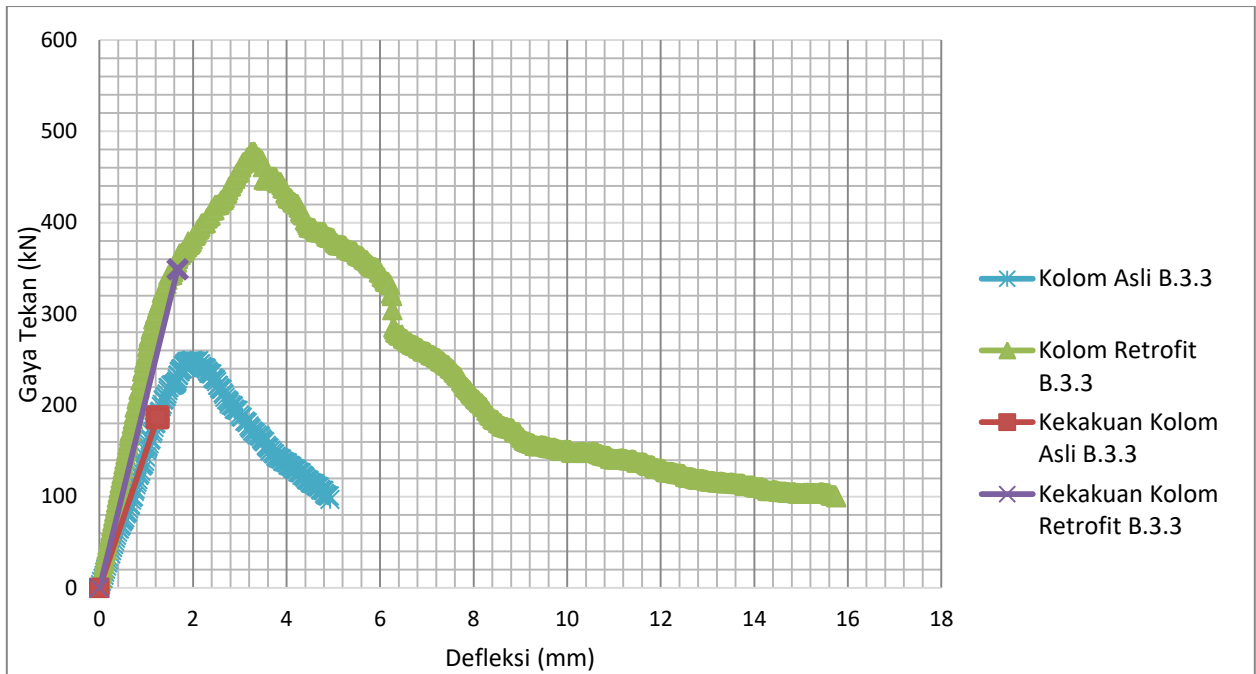
No	Defleksi (mm)	C.3.1	C.3.2	C.3.3	RATA – RATA
		Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN
1	0	0	0	0	0
2	0.7	11.1	36.8	198.3	82.07
3	1.4	211.2	87.8	263.6	187.5333333
4	2.1	280.8	146.3	291.1	239.40
5	2.8	336.4	184.2	252.4	257.6666667
6	3.5	349.3	192.5	253.8	265.2
7	4.2	360.6	217.3	275.3	284.40
8	4.9	357.8	220.1	268.1	282.00
9	5.6	342.1	219.4	258.2	273.23
10	6.3	316.8	223.6	263.7	268.03
11	7	296.6	213.7	256.3	255.53
12	7.7	279.9	201.7	234.7	238.7666667
13	8.4	254.8	194.8	214.9	221.5
14	9.1	235.9	154	203.2	197.70
15	9.8	225.5	143.3	192.3	187.03
16	10.5	223.2	138.7	179.7	180.5333333
17	11.2	218.3	133.9	171.5	174.57
18	11.9	215.2	131.9	163	170
19	12.6	209	130.6	148.7	162.7666667
20	13.93	201.2	126.3	134.1	153.87



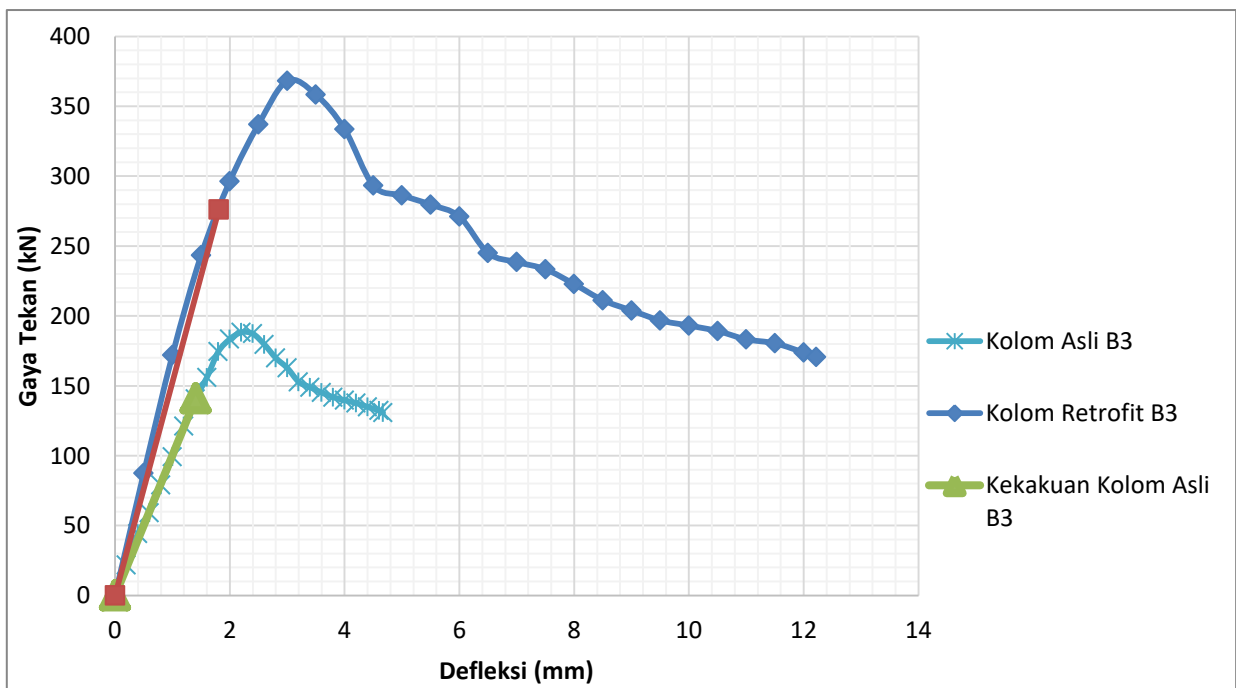
Gambar 4.19 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.3.1 dengan kolom retrofit B.3.1



Gambar 4.20 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.3.2 dengan kolom retrofit B.3.2



Gambar 4.21 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.3.3 dengan kolom retrofit B.3.3



Gambar 4.22 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.3 dengan kolom retrofit B.3

Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli B.3 dapat disimpulkan, pada kolom asli B.3 memiliki defleksi sebesar 1.41 mm, dan kolom retrofit B.3 memiliki defleksi sebesar 1.81 mm. kolom asli B.3. Maka kolom retrofit B.3 mengalami peningkatan defleksi sebesar 28.5% dari kolom asli B.3.

Dari hasil analisis data gaya tekan dan defleksi pada kolom B.3 didapatkan nilai kekakuan pada kolom asli B.3 sebesar 100.36 kN/mm, sedangkan pada kolom retrofit B.3 didapatkan nilai kekakuan sebesar 152.67 kN/mm. Maka terjadi peningkatan pada kekakuan kolom retrofit B.3 sebesar 52.1% dari nilai kekakuan kolom asli B.3.

4.6.1.3 Kolom Asli C.3 – Kolom Retrofit C.3

Tabel 4.14

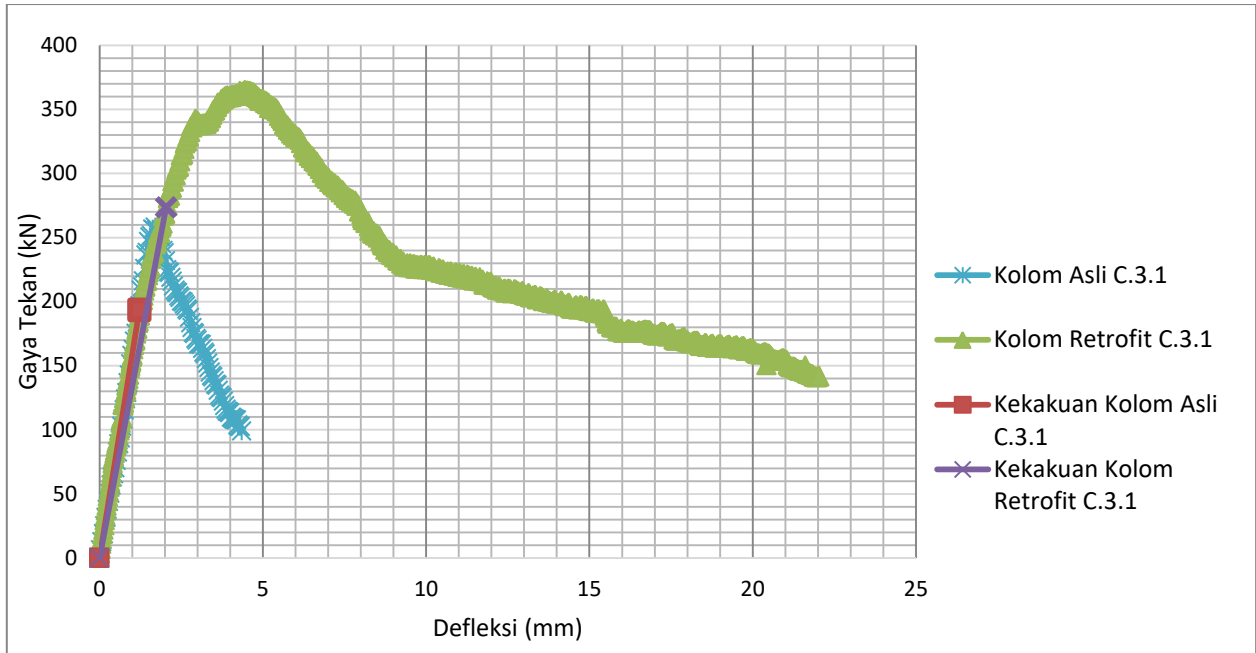
Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom asli C.3

No	Defleksi (mm)	C.3.1	C.3.2	C.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0	0	0	0	0
2	0.2	31.5	25	27	27.83333333
3	0.4	63	45.8	46.6	51.8
4	0.6	88.9	71.8	67.3	76
5	0.8	124	101.8	90.4	105.4
6	1	157.9	111.8	116.6	128.7666667
7	1.2	191	129.9	140.8	153.9
8	1.4	225.9	147.9	164	179.2666667
9	1.6	251.6	172.8	185.1	203.1666667
10	1.8	255.1	195	201.9	217.3333333
11	2	238	219.2	214.4	223.8666667
12	2.2	218.8	235.2	221.9	225.3
13	2.4	206.9	246.2	224.8	225.9666667
14	2.6	198	246.4	227.5	223.9666667
15	2.8	183.4	241.1	219.8	214.7666667
16	3	169.8	230.6	206.9	202.4333333
17	3.2	160.5	219	199.6	193.0333333
18	3.4	144.9	205.2	177.9	176
19	3.6	134.8	186.9	158.5	160.0666667
20	3.8	122.3	174	145	147.1
21	4	113.2	158	141.5	137.5666667
22	4.2	107.5	145.9	138.9	130.7666667
23	4.36	99.1	136.4	134.2	123.2333333

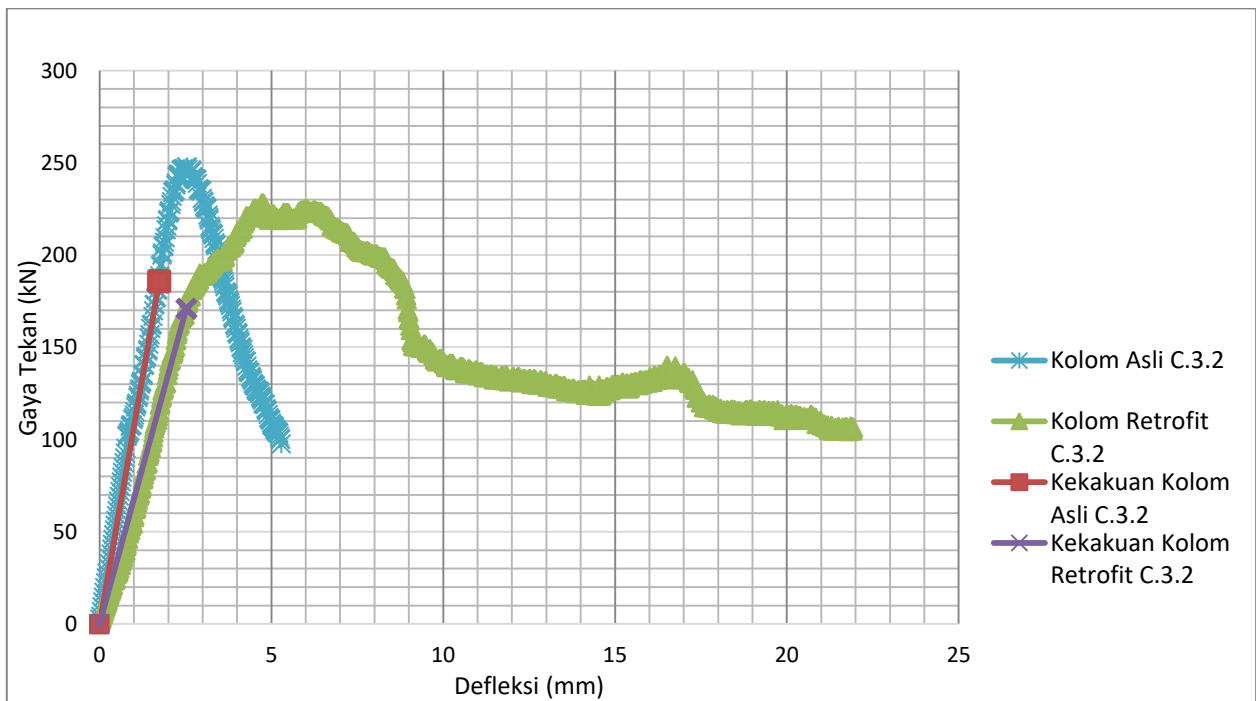
Tabel 4.15

Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom retrofit C.3

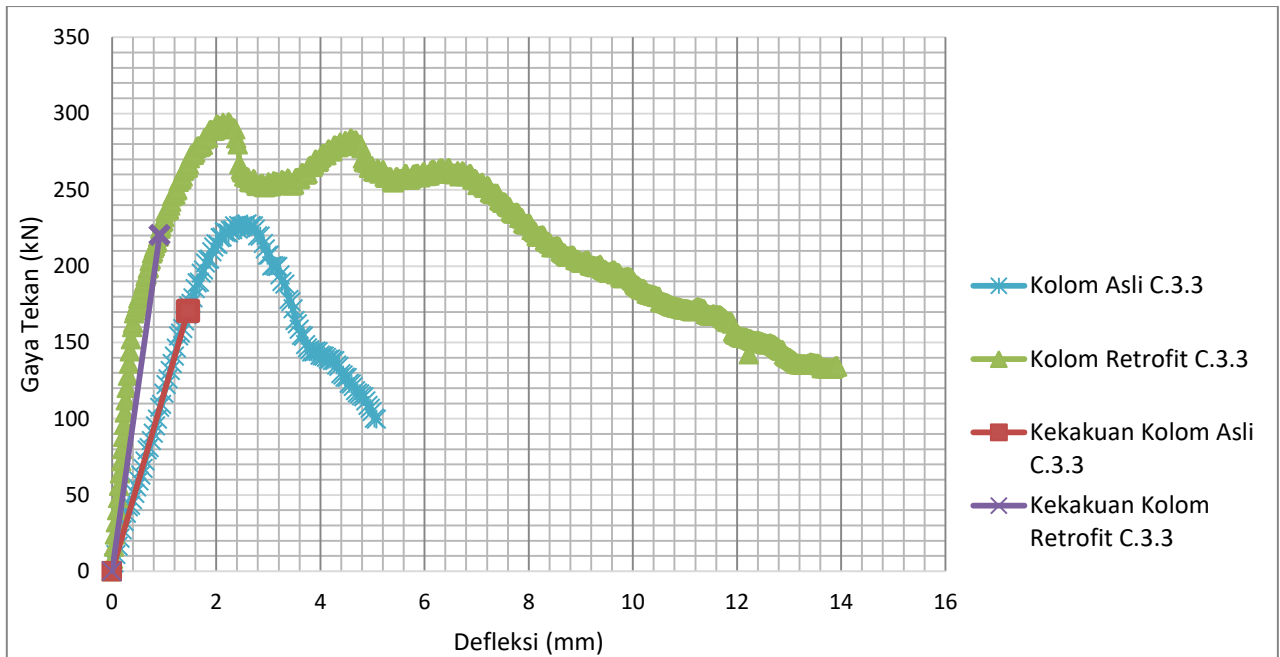
No	Defleksi (mm)	C.3.1	C.3.2	C.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0	0	0	0	0
2	0.7	11.1	36.8	198.3	82.07
3	1.4	211.2	87.8	263.6	187.5333333
4	2.1	280.8	146.3	291.1	239.40
5	2.8	336.4	184.2	252.4	257.6666667
6	3.5	349.3	192.5	253.8	265.2
7	4.2	360.6	217.3	275.3	284.40
8	4.9	357.8	220.1	268.1	282.00
9	5.6	342.1	219.4	258.2	273.23
10	6.3	316.8	223.6	263.7	268.03
11	7	296.6	213.7	256.3	255.53
12	7.7	279.9	201.7	234.7	238.7666667
13	8.4	254.8	194.8	214.9	221.5
14	9.1	235.9	154	203.2	197.70
15	9.8	225.5	143.3	192.3	187.03
16	10.5	223.2	138.7	179.7	180.5333333
17	11.2	218.3	133.9	171.5	174.57
18	11.9	215.2	131.9	163	170
19	12.6	209	130.6	148.7	162.7666667
20	13.93	201.2	126.3	134.1	153.87



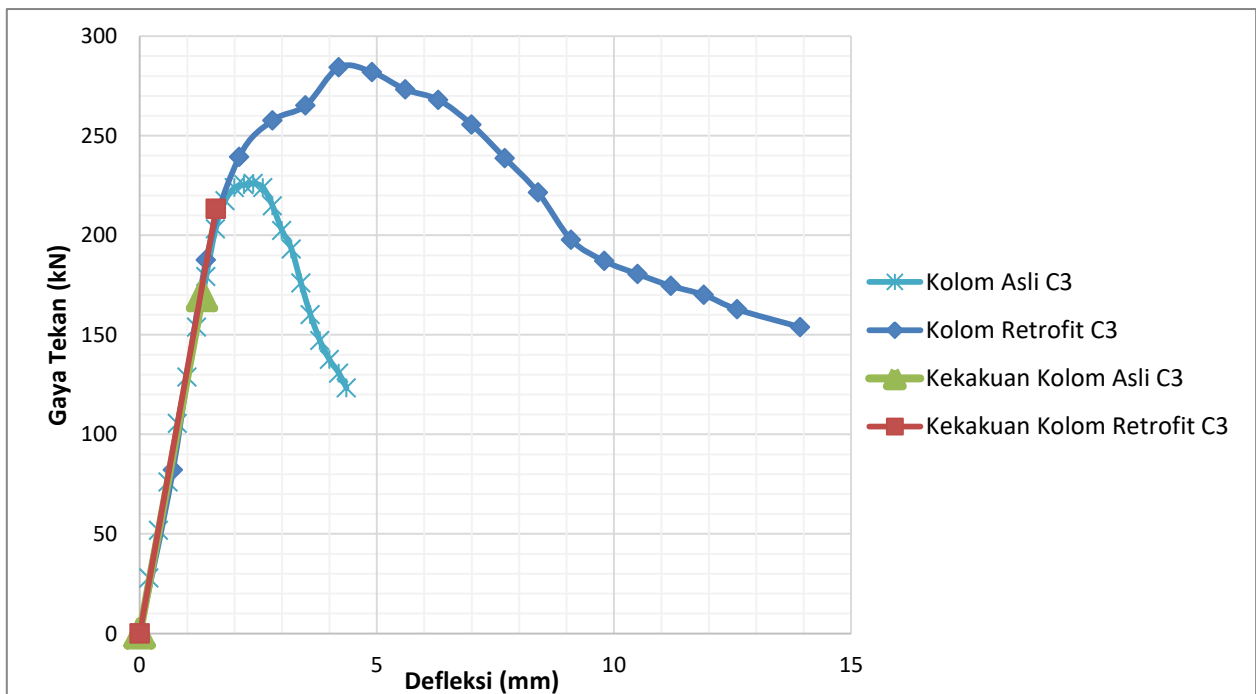
Gambar 4.23 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.3.1 dengan kolom retrofit C.3.1



Gambar 4.24 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.3.2 dengan kolom retrofit C.3.2



Gambar 4.25 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.3.3 dengan kolom retrofit C.3.3.



Gambar 4.26 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.3 dengan kolom retrofit C.3

Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli C.3 dapat disimpulkan, pada kolom asli C.3 memiliki defleksi sebesar 1.32 mm, dan kolom retrofit C.3 memiliki defleksi sebesar 1.61 mm. Maka kolom asli C.3 mengalami peningkatan defleksi sebesar 22% dari kolom retrofit C.3.

Dari hasil analisis data gaya tekan dan defleksi pada kolom C.3 didapatkan pula nilai kekakuan pada kolom asli C.3 sebesar 128.58 kN/mm, sedangkan pada kolom retrofit C.3 didapatkan nilai kekakuan sebesar 132.66 kN/mm. Maka terjadi peningkatan pada kekakuan kolom retrofit C.3 sebesar 3.18% dari nilai kekakuan kolom asli C.3.

4.6.1.4 Kolom Asli D.3 – Kolom Retrofit D.3

Tabel 4.16

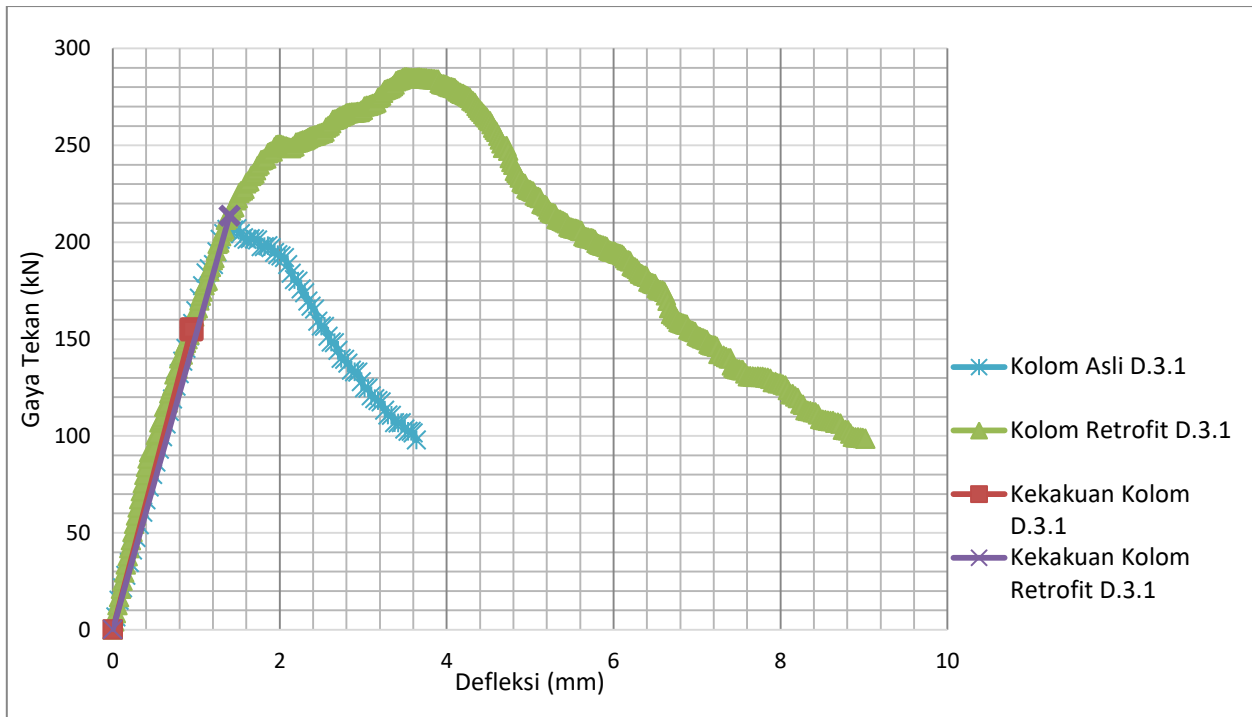
Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom asli D.3

No	Defleksi (mm)	D.3.1	D.3.2	D.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN
1	0	0	0	0	0
2	0.2	34.5	34	24	30.83333333
3	0.4	67	68	48	61
4	0.6	99.5	102	68.3	89.93333333
5	0.8	132	138.4	84.8	118.4
6	1	164.5	177.5	104.4	148.8
7	1.2	188.4	212.7	126.7	175.9333333
8	1.4	206.4	241.2	141	196.2
9	1.6	201.3	249.8	160.2	203.7666667
10	1.8	197.6	242.8	177.7	206.0333333
11	2	188.4	227.2	201.6	205.7333333
12	2.2	180.5	208.5	225.9	204.9666667
13	2.4	166.8	195.9	248.7	203.8
14	2.6	151.3	187.2	272.5	203.6666667
15	2.8	139.4	177.5	283.7	200.2
16	3	127.9	161.7	277.4	189
17	3.2	118.2	151.8	261	177
18	3.4	106.8	144.2	240.8	163.9333333
19	3.6	101.4	136	222.9	153.4333333
20	3.64	97.9	133.9	219.9	150.5666667

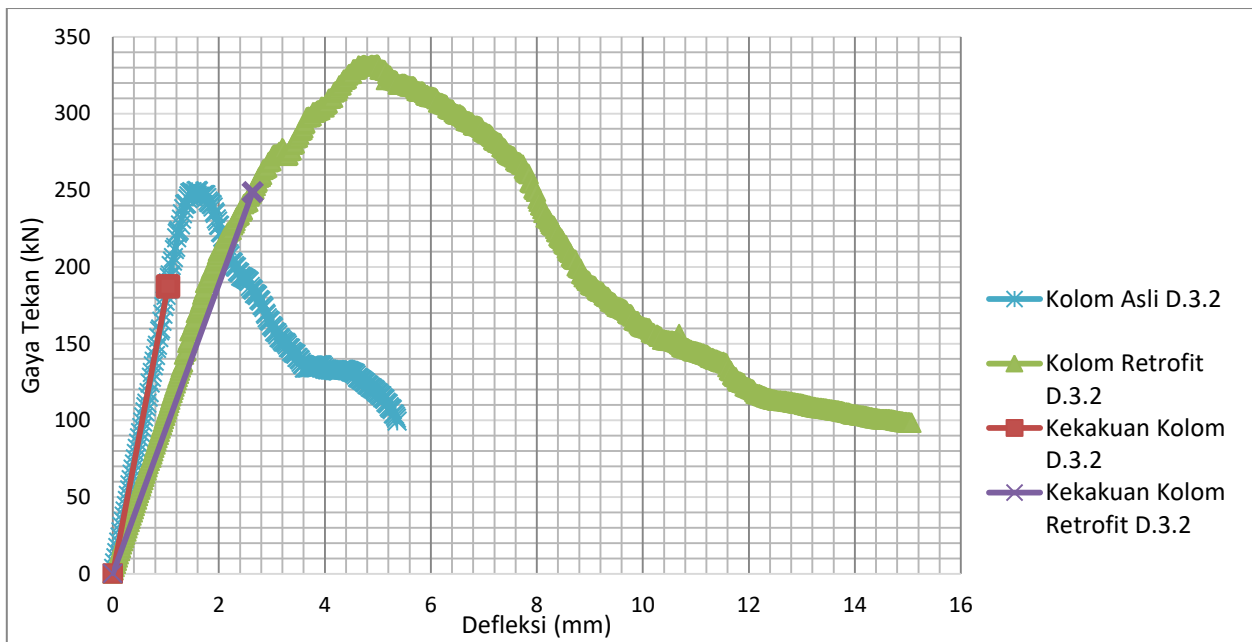
Tabel 4.17

Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom retrofit D.3

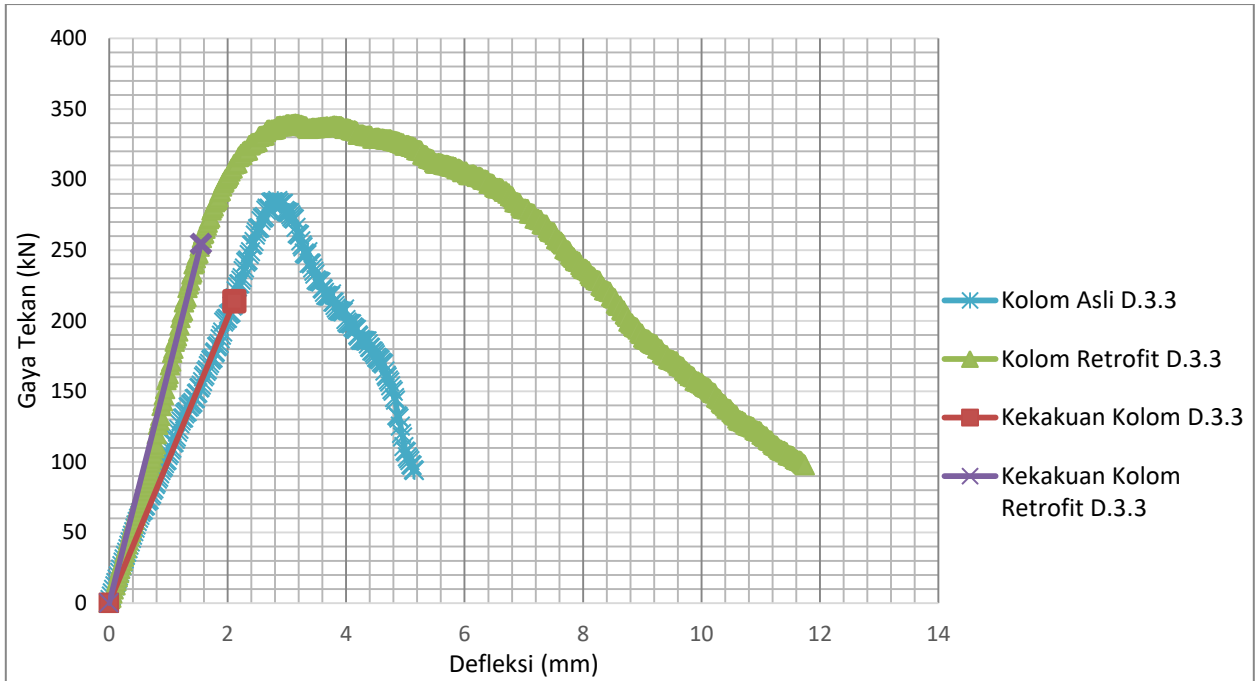
No	Defleksi (mm)	D.3.1	D.3.2	D.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0	0	0	0	0
2	0.5	93.9	52.5	67.6	71.33333333
3	1	164.8	102.9	159.6	142.4333333
4	1.5	222.7	159.6	246.9	209.7333333
5	2	250.2	210	300.8	253.6666667
6	2.5	256.2	241.3	338.7	278.7333333
7	3	268.3	269	338.7	292
8	3.5	284.9	284.3	336.4	301.8666667
9	4	280.8	304	336	306.9333333
10	4.5	263.2	325.6	329.3	306.0333333
11	5	226.8	331.7	323.9	294.1333333
12	5.5	207.3	319.1	312.3	279.5666667
13	6	195.1	310.7	305.4	270.4
14	6.5	178.2	299.3	296.4	257.9666667
15	7	151.7	288.1	279.4	239.7333333
16	7.5	134.1	272.7	262.6	223.1333333
17	8	127	248.9	236.8	204.2333333
18	8.5	108.3	216.7	216.6	180.5333333
20	9.02	98.5	188.6	188	158.3666667



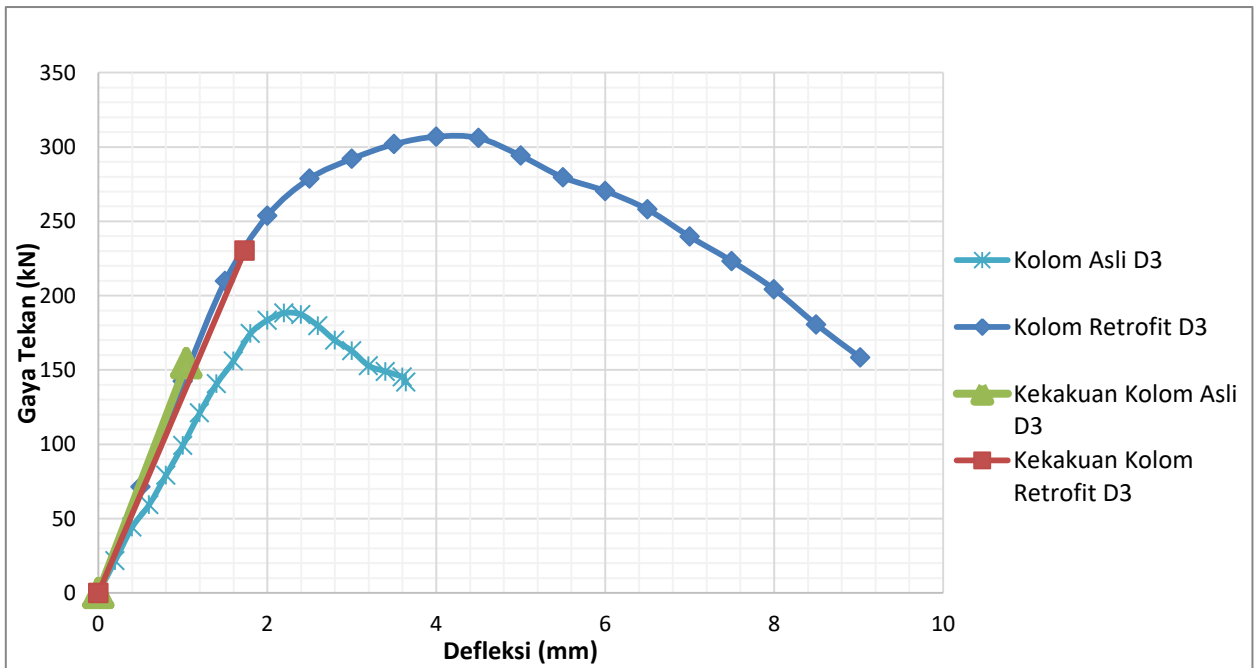
Gambar 4.27 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.3.1 dengan kolom retrofit D.3.1



Gambar 4.28 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.3.2 dengan kolom retrofit D.3.2



Gambar 4.29 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.3.3 dengan kolom retrofit D.3.3



Gambar 4.30 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.3 dengan kolom retrofit D.3

Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli D.3 dapat disimpulkan, pada kolom asli D.3 memiliki defleksi sebesar 1.04 mm, dan kolom retrofit D.3 memiliki defleksi sebesar 1.73 mm. Maka kolom retrofit D.3 mengalami peningkatan defleksi sebesar 66.3% dari kolom asli D.3.

Dari hasil analisis data gaya tekan dan defleksi pada kolom D.3 didapatkan nilai kekakuan pada kolom asli D.3 sebesar 148.27 kN/mm, sedangkan pada kolom retrofit D.3 didapatkan nilai kekakuan sebesar 132.84 kN/mm. Maka terjadi penurunan pada kekakuan kolom retrofit D.3 sebesar 10.4% dari nilai kekakuan kolom asli D.3.

4.5.3 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Kolom Asli dan Kolom Retrofit

Modulus elastisitas antara kolom asli dengan kolom retrofit bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai kekakuan 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.

Tabel 4.18

Tabel data modulus elastisitas 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	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit
1	A.3.1	0.0167	0.0057	0.0125	0.0043	0.0094	0.0086	1.3323	0.4959
2	A3 A.3.2	0.0154	0.0121	0.0115	0.0091	0.0039	0.0101	2.9541	0.8985
3	A.3.3	0.0149	0.0099	0.0112	0.0074	0.0056	0.0105	1.9912	0.7052
4	B.3.1	0.0132	0.0061	0.0099	0.0046	0.0122	0.0059	0.8109	0.7741
5	B3 B.3.2	0.0174	0.0144	0.0130	0.0108	0.0052	0.0068	2.5151	1.5815
6	B.3.3	0.0173	0.0147	0.0130	0.0110	0.0041	0.0056	3.1306	1.9861
7	C.3.1	0.0179	0.0113	0.0134	0.0084	0.0041	0.0068	3.3099	1.2437
8	C3 C.3.2	0.0172	0.0070	0.0129	0.0053	0.0058	0.0084	2.2292	0.6273
9	C.3.3	0.0158	0.0091	0.0118	0.0068	0.0049	0.0030	2.4385	2.2361
10	D.3.1	0.0144	0.0088	0.0108	0.0066	0.0031	0.0047	3.4296	1.4148
11	D3 D.3.2	0.0173	0.0102	0.0130	0.0077	0.0035	0.0088	3.7499	0.8736
12	D.3.3	0.0198	0.0105	0.0148	0.0079	0.0070	0.0052	2.1075	1.5211

Tabel 4.19

Tabel data rata –rata modulus elastisitas 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	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit
1	A3	0.0134	0.0087	0.0101	0.0066	0.0050	0.0094	2.0027	0.6969
2	B3	0.0131	0.0114	0.0098	0.0085	0.0047	0.0060	2.0908	1.4136
3	C3	0.0157	0.0088	0.0118	0.0066	0.0044	0.0054	2.6787	1.2284
4	D3	0.0143	0.0095	0.0107	0.0071	0.0035	0.0058	3.0889	1.23

Contoh perhitungan modulus elastisitas kolom (E) (Kolom retrofit A.3) :

Dik :

$$\sigma_{\max} = 0.0087$$

$$75\% \sigma_{\max} = 75\% \times 0.0087 = 0.0066 \text{ kN/mm}^2$$

$$\varepsilon = 0.0094$$

Dit : E ?

Jawab :

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

$$E = \frac{0,0066 \text{ kN/mm}^2}{0.0094}$$

$$E = 0,69689 \text{ kN/mm}^2$$

4.6.2.1 Kolom Asli A.3 – Kolom Retrofit A.3

Tabel 4.20

Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom asli A.3

No	Defleksi (mm)	Regangan	A.3.1		A.3.2		A.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN/mm2
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.2	0.0007	13.5	0.0009	28	0.0019	18	0.0013	0.0014
3	0.4	0.0013	28.5	0.0020	58.8	0.0041	36.7	0.0025	0.0029
4	0.6	0.0020	43.5	0.0030	88.8	0.0062	49.9	0.0035	0.0042
5	0.8	0.0027	57	0.0040	116.6	0.0081	66.5	0.0046	0.0056
6	1	0.0033	68.1	0.0047	146.7	0.0102	87.5	0.0061	0.0070
7	1.2	0.0040	82.1	0.0057	168.2	0.0117	103.9	0.0072	0.0082
8	1.4	0.0047	95.8	0.0067	186.5	0.0130	127.1	0.0088	0.0095
9	1.6	0.0053	101.8	0.0071	205.3	0.0143	149.7	0.0104	0.0106
10	1.8	0.0060	113.7	0.0079	216.8	0.0151	171.3	0.0119	0.0116
11	2	0.0067	128.8	0.0089	220.6	0.0153	193.9	0.0135	0.0126
12	2.2	0.0073	137.3	0.0095	219.2	0.0152	209	0.0145	0.0131
13	2.4	0.0080	152.15	0.0106	208.4	0.0145	215	0.0149	0.0133
14	2.6	0.0087	170.8	0.0119	196.3	0.0136	213.6	0.0148	0.0134
15	2.8	0.0093	178.8	0.01242	185.9	0.0129	205.5	0.0143	0.0132
16	3	0.0100	193.2	0.0134	176.8	0.0123	192	0.0133	0.0130
17	3.2	0.0107	207.4	0.0144	160.9	0.0112	171.2	0.0119	0.0125
18	3.4	0.0113	223	0.0155	148.2	0.0103	149.8	0.0104	0.0121
19	3.6	0.0120	230.8	0.0160	135.2	0.0094	129.2	0.0090	0.0115

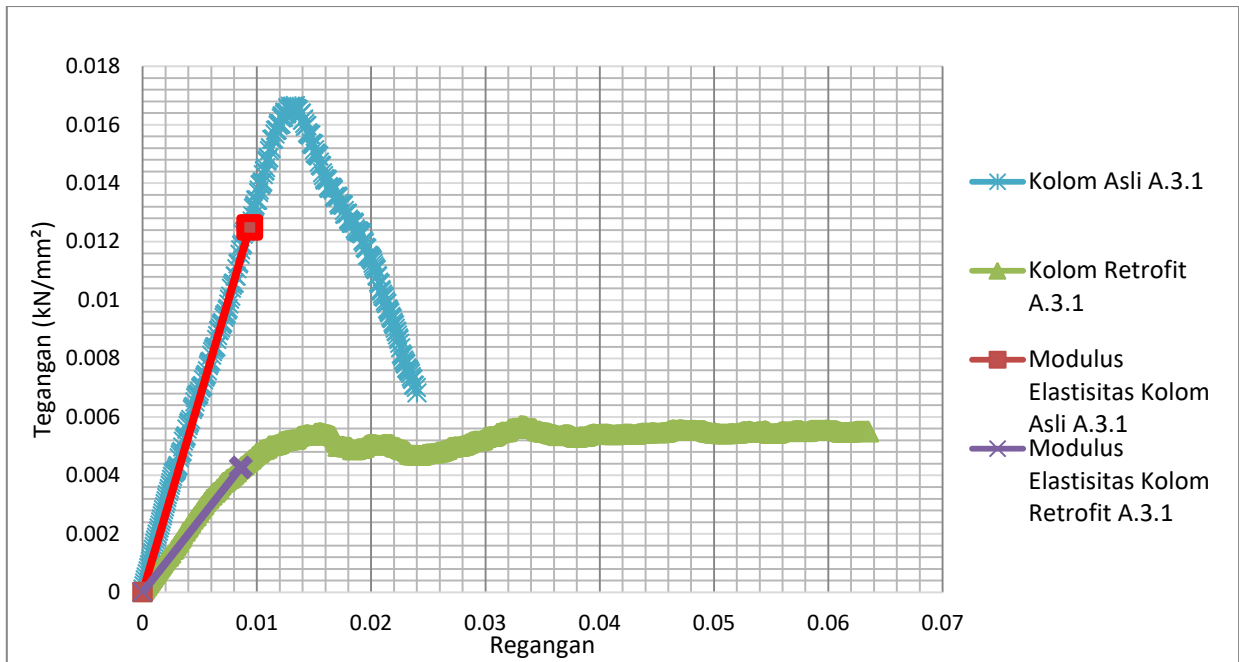
No	Defleksi (mm)	Regangan	A.3.1		A.3.2		A.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN/mm2
20	3.8	0.0127	236.3	0.0164	127.4	0.0088	118.8	0.0083	0.0112
21	4	0.0133	237.5	0.0165	117	0.0081	107	0.0074	0.0107
22	4.2	0.0140	232.5	0.0161	109.2	0.0076	98.4	0.0068	0.0102

Tabel 4.21

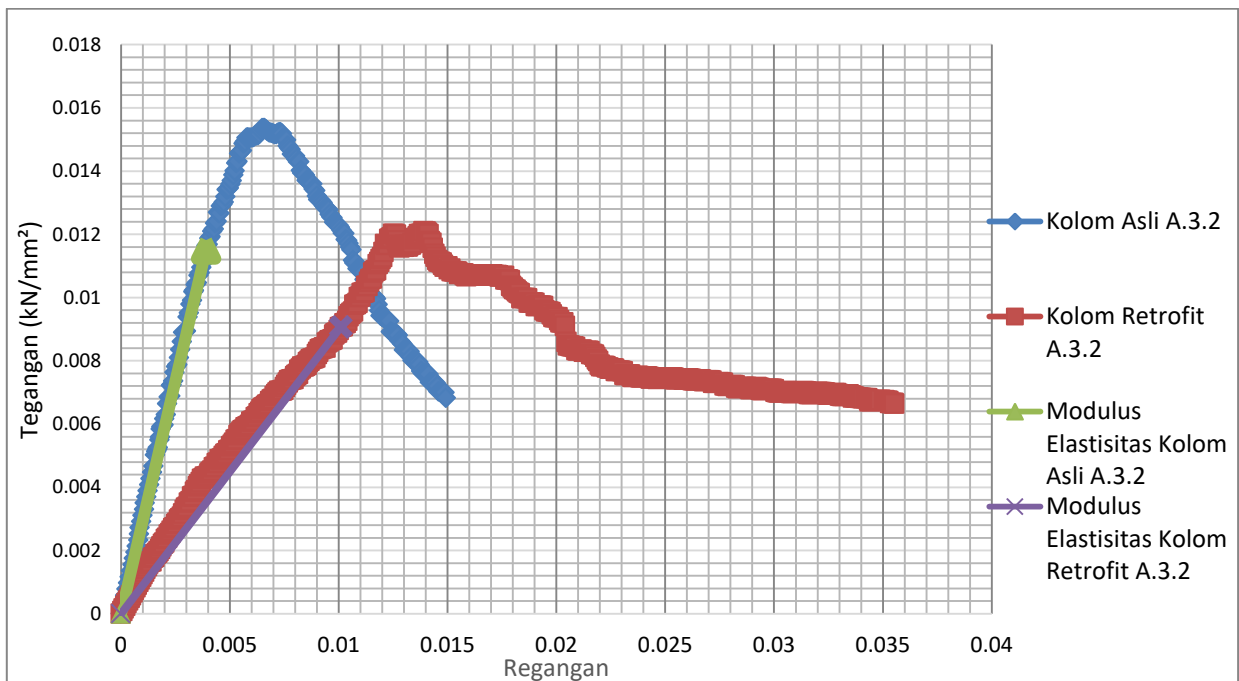
Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom Retrofit A.3

No	Defleksi (mm)	Regangan	A.3.1		A.3.2		A.3.3		Rata-rata
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN/mm2
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.5	0.00167	30	0.0009	62.4	0.0019	40	0.0012	0.0014
3	1	0.00333	59.3	0.0018	120.7	0.0037	75.5	0.0023	0.0026
4	1.5	0.005	90.8	0.0028	168	0.0052	112.4	0.0035	0.0038
5	2	0.00667	114.7	0.0035	212.8	0.0066	147.6	0.0046	0.0049
6	2.5	0.00833	135.6	0.0042	253.1	0.0078	187.6	0.0058	0.0059
7	3	0.01	153.6	0.0047	290.8	0.0090	226.4	0.0070	0.0069
8	3.5	0.01167	163.2	0.0050	351.2	0.0108	262	0.0081	0.0080
9	4	0.01333	169	0.0052	378.3	0.0117	294	0.0091	0.0087
10	4.5	0.015	174	0.0054	355.8	0.0110	319.6	0.0099	0.0087

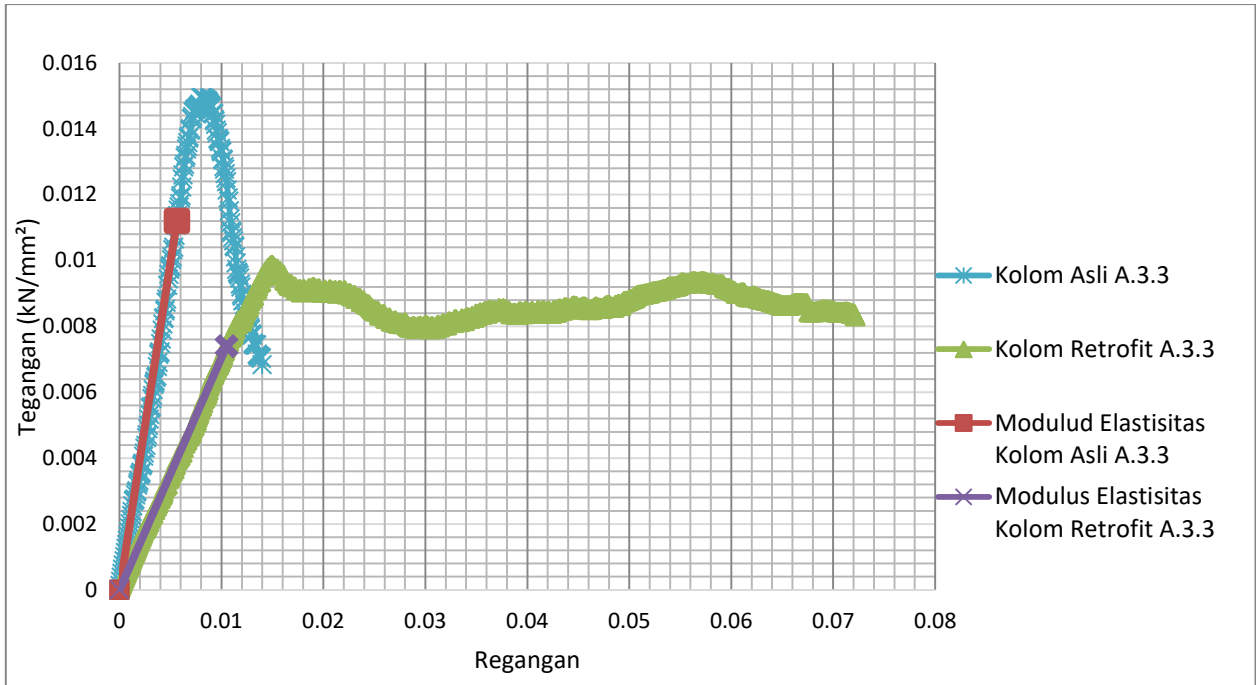
No	Defleksi (mm)	Regangan	A.3.1		A.3.2		A.3.3		Rata-rata
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²
13	6	0.02	163.8	0.0051	303.6	0.0094	293.1	0.0090	0.0078
14	6.5	0.02167	163.8	0.0051	266.1	0.0082	294.4	0.0091	0.0075
15	7	0.02333	155	0.0048	244.9	0.0076	286.2	0.0088	0.0071
16	7.5	0.025	153.4	0.0047	240.8	0.0074	275.1	0.0085	0.0069
17	8	0.02667	158.1	0.0049	239.9	0.0074	264.6	0.0082	0.0068
18	8.5	0.02833	163.7	0.0051	231.1	0.0071	259.8	0.0080	0.0067
19	9	0.03	171	0.0053	230.1	0.0071	260	0.0080	0.0068
20	9.5	0.03167	177.5	0.0055	224.9	0.0069	261.2	0.0081	0.0068
21	10	0.03333	184.4	0.0057	224.5	0.0069	263.4	0.0081	0.0069
22	10.5	0.035	177.5	0.0055	218.7	0.0068	271.4	0.0084	0.0069
23	10.66	0.0355	176.6	0.0055	215.1	0.0066	271.2	0.0084	0.0068



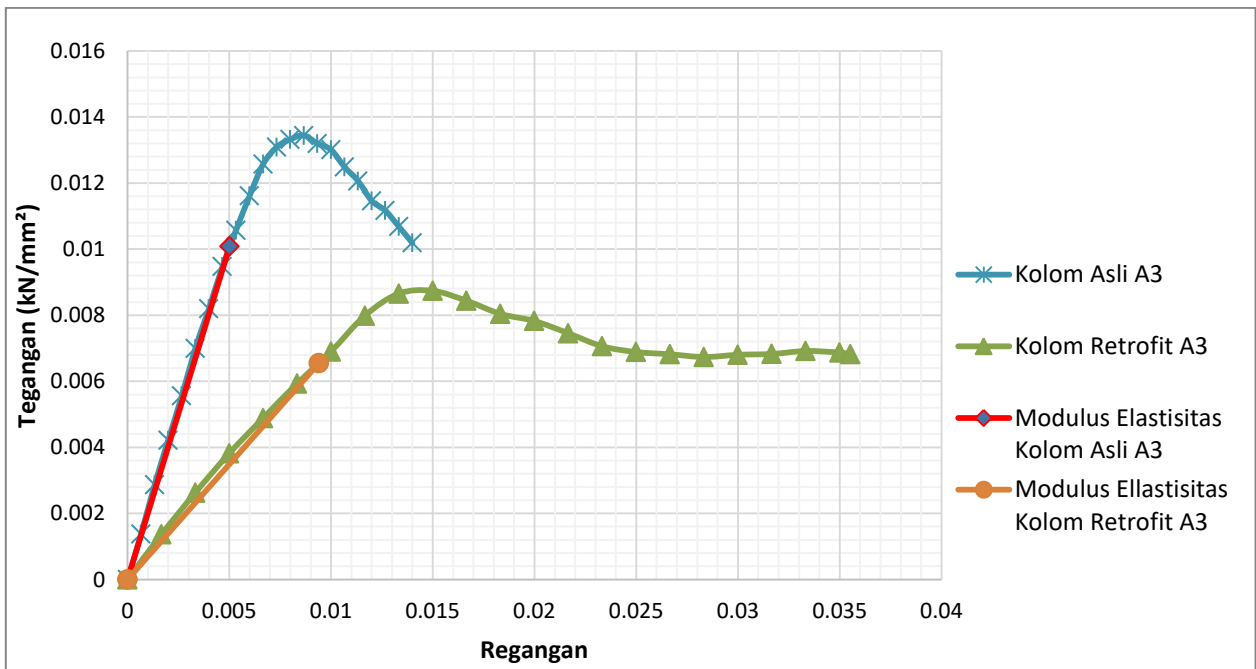
Gambar 4.31 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli A.3.1 dengan kolom retrofit A.3.1



Gambar 4.32 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli A.3.2 dengan kolom retrofit A.1.2.



Gambar 4.33 Grafik hubungan tegangan regangan asli A.3.3 dengan kolom retrofit A.3.3



Gambar 4.34 Grafik perbandingan hubungan tegangan regangan kolom asli A.3 dengan kolom retrofit A.3

Dari data penelitian didapatkan hasil nilai modulus elastisitas, pada kolom asli A.3 memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 2.007 kN/mm^2 dan nilai modulus elastisitas kolom retrofit A.3 sebesar 0.6968 kN/mm^2 . Dapat disimpulkan bahwa, kolom asli A.3 memiliki nilai modulus elastisitas lebih tinggi daripada kolom retrofit A.3. Besar penurunan modulus elastisitas kolom asli A.3 adalah 65.2 % dari kolom retrofit A.3. Hal ini membuktikan bahwa kolom retrofit A.3 lebih elastis dibanding dengan kolom asli A.3.

4.6.2.2 Kolom Asli B.3– Kolom Retrofit B.3

Tabel 4.22

Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom asli B.3

No	Defleksi (mm)	B.3.1		B.3.2		B.3.3		RATA - RATA
		Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
		kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.2	6.3	0.000438	28.5	0.001979	30.42	0.002113	0.001509722
3	0.4	12.95	0.000899	58.9	0.00409	60.84	0.004225	0.003071528
4	0.6	19.95	0.001385	75.4	0.005236	82.4	0.005722	0.004114583
5	0.8	26.95	0.001872	97.9	0.006799	112.6	0.007819	0.005496528
6	1	33.6	0.002333	120.8	0.008389	143.2	0.009944	0.006888889
7	1.2	40.6	0.002819	143.4	0.009958	179.3	0.012451	0.008409722
8	1.4	47.6	0.003306	168	0.011667	206.4	0.014333	0.009768519
9	1.6	54.6	0.003792	191	0.013264	222.5	0.015451	0.010835648
10	1.8	61.6	0.004278	218.8	0.015194	243	0.016875	0.012115741
11	2	68.6	0.004764	232.5	0.016146	249.1	0.017299	0.012736111
12	2.2	75.7	0.005257	246.7	0.017132	242.4	0.016833	0.013074074
13	2.4	82.9	0.005757	244.7	0.016993	234.2	0.016264	0.01300463
14	2.6	89.9	0.006243	231.1	0.016049	218	0.015139	0.012476852
15	2.8	97.9	0.006799	210.9	0.014646	201.2	0.013972	0.011805556
16	3	107.5	0.007465	191.9	0.013326	189	0.013125	0.011305556
17	3.2	117.5	0.00816	164	0.011389	177.1	0.012299	0.010615741
18	3.4	127.9	0.008882	152.5	0.01059	166.6	0.011569	0.010347222
19	3.6	139.9	0.009715	141.2	0.009806	154.5	0.010729	0.010083333
20	3.8	149.2	0.010361	133.8	0.009292	142.7	0.00991	0.009854167

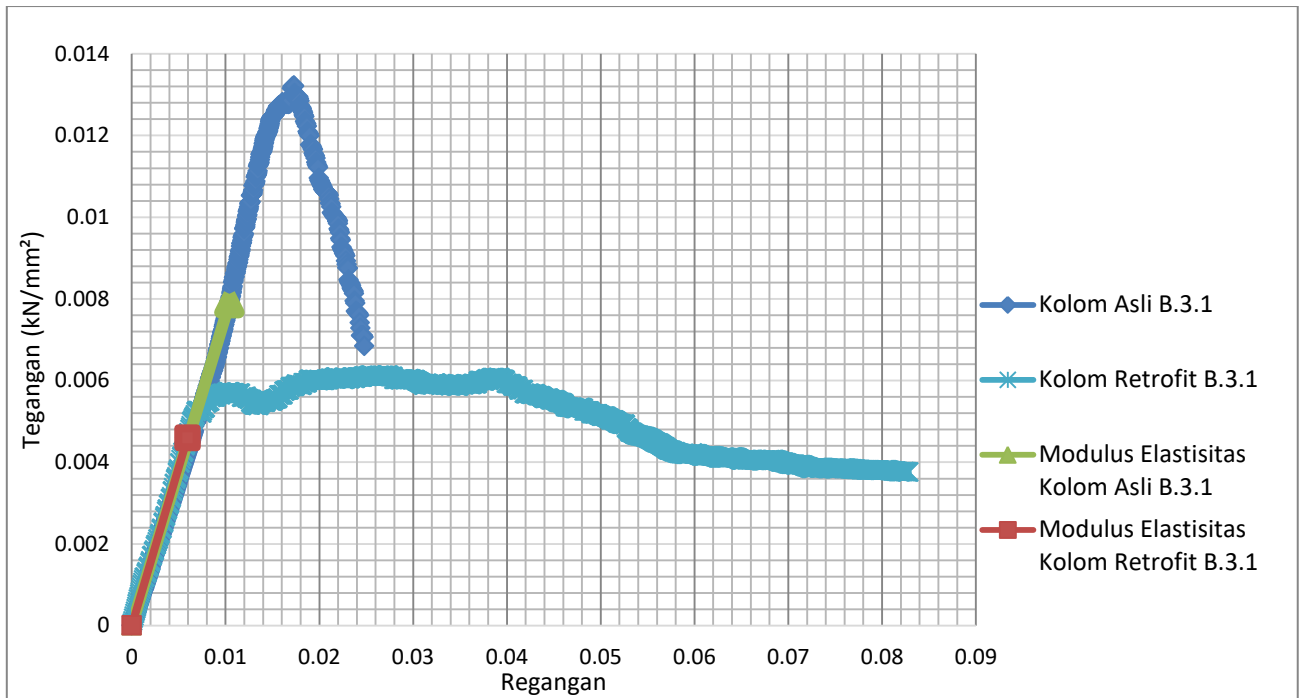
No	Defleksi (mm)	B.3.1		B.3.2		B.3.3		RATA - RATA
		Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
		kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN/mm2
21	4	158.8	0.011028	123.3	0.008563	136.9	0.009507	0.009699074
22	4.2	167.9	0.01166	115.3	0.008007	129.8	0.009014	0.009560185
23	4.4	176	0.012222	108.1	0.007507	120.7	0.008382	0.00937037
24	4.6	180.6	0.012542	102.8	0.007139	113.7	0.007896	0.00919213
25	4.67	182.1	0.012646	99.6	0.006917	110.8	0.007694	0.009085648

Tabel 4.23

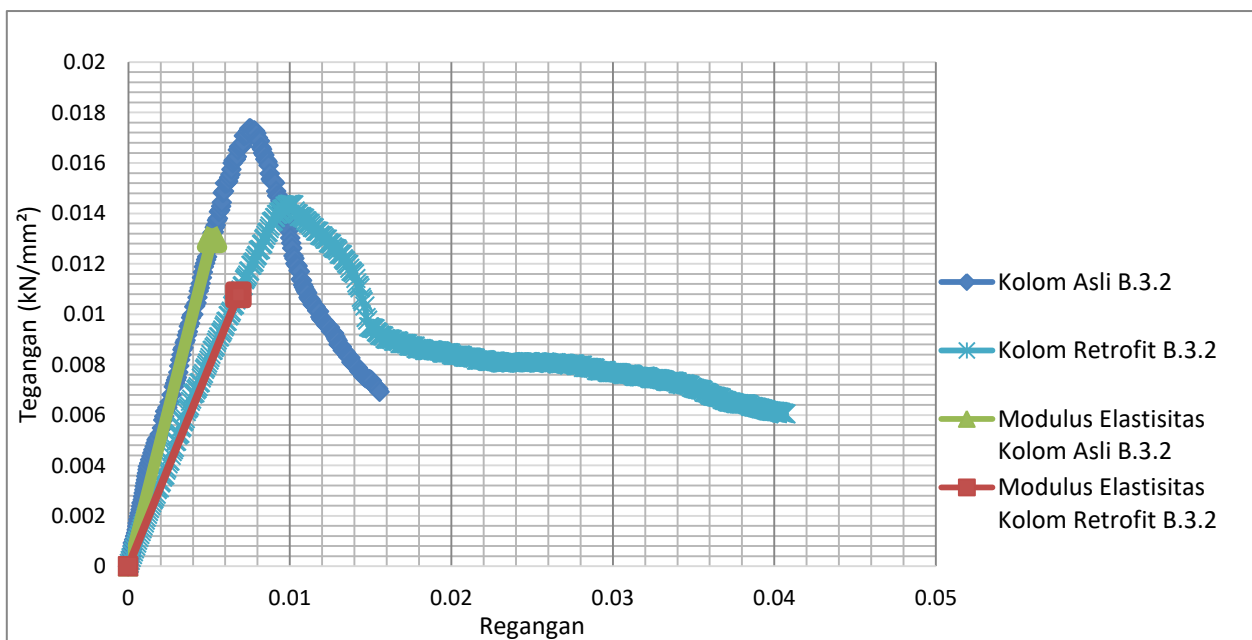
Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom retrofit B.3

No	Defleksi (mm)	Regangan	B.3.1		B.3.2		B.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN/mm2
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.5	0.00166667	42.7	0.0013179	89.7	0.0027685	130	0.0040123	0.002699588
3	1	0.00333333	81.2	0.00250617	179.2	0.0055309	255.7	0.007892	0.005309671
4	1.5	0.005	123.2	0.00380247	264.8	0.0081728	342.3	0.0105648	0.007513374
5	2	0.00666667	165.2	0.00509877	342	0.0105556	382	0.0117901	0.009148148
6	2.5	0.00833333	177.7	0.00548457	414.4	0.0127901	419	0.0129321	0.010402263
7	3	0.01	184	0.00567901	465.2	0.014358	455.3	0.0140525	0.011363169
8	3.5	0.01166667	183.8	0.00567284	430.7	0.0132932	460.5	0.014213	0.011059671
9	4	0.01333333	174.8	0.00539506	395.2	0.0121975	430.8	0.0132963	0.010296296
10	4.5	0.015	177.9	0.00549074	307.6	0.0094938	394.4	0.0121728	0.009052469
11	5	0.01666667	186.6	0.00575926	289.4	0.0089321	382.7	0.0118117	0.008834362

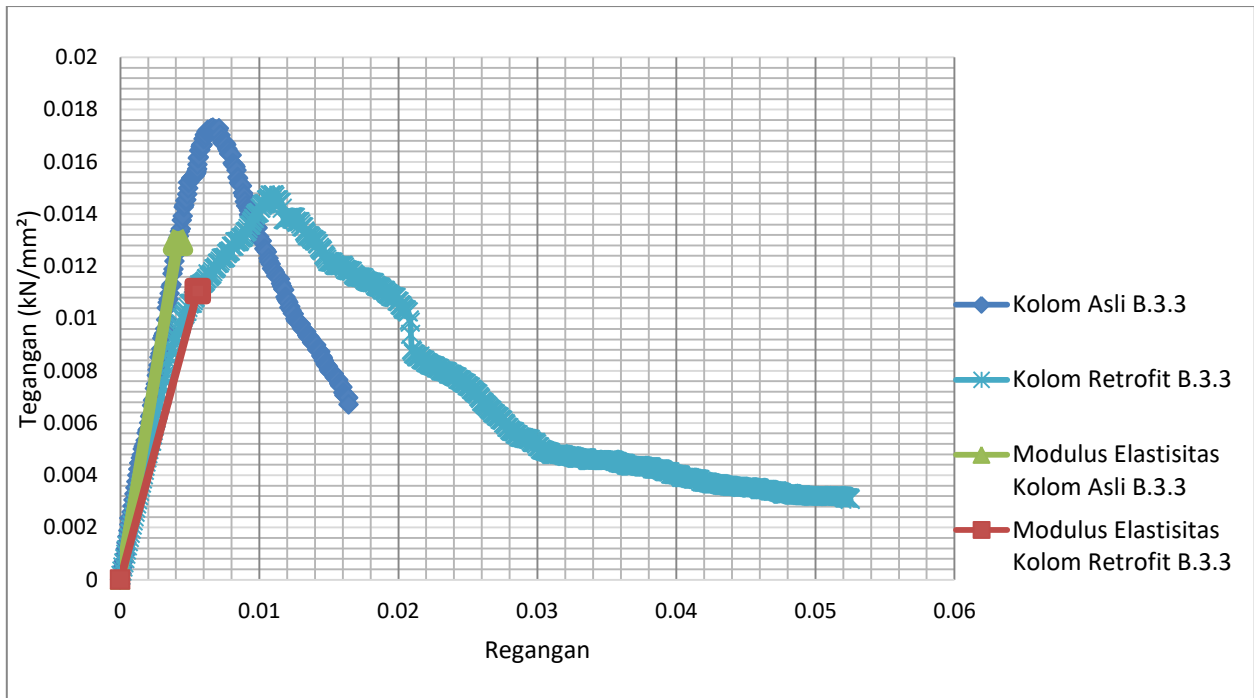
No	Defleksi (mm)	Regangan	B.3.1		B.3.2		B.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²
12	5.5	0.01833333	192.5	0.00594136	278.8	0.0086049	367.6	0.0113457	0.008630658
13	6	0.02	194.4	0.006	273.8	0.0084506	345	0.0106481	0.008366255
14	6.5	0.02166667	196.3	0.00605864	264.8	0.0081728	273.9	0.0084537	0.007561728
15	7	0.02333333	195.9	0.0060463	261.4	0.0080679	258.4	0.0079753	0.007363169
16	7.5	0.025	197.7	0.00610185	261.8	0.0080802	240.7	0.007429	0.007203704
17	8	0.02666667	198	0.00611111	259.9	0.0080216	210.5	0.0064969	0.006876543
18	8.5	0.02833333	195.2	0.00602469	255.2	0.0078765	183.4	0.0056605	0.006520576
19	9	0.03	194.9	0.00601543	248.8	0.007679	168.1	0.0051883	0.006294239
20	9.5	0.03166667	191.4	0.00590741	243.6	0.0075185	155.4	0.0047963	0.006074074
21	10	0.03333333	191	0.00589506	237.5	0.0073302	150.9	0.0046574	0.005960905
22	10.5	0.035	190.7	0.0058858	229	0.0070679	147.9	0.0045648	0.005839506
23	11	0.03666667	191.8	0.00591975	216.8	0.0066914	141.2	0.004358	0.005656379
24	11.5	0.03833333	195.8	0.00604321	208.1	0.0064228	137.4	0.0042407	0.00556893
25	12	0.04	192.3	0.00593519	199	0.006142	130.2	0.0040185	0.005365226
26	12.22	0.04073333	189.8	0.00585802	195.8	0.0060432	126.4	0.0039012	0.00526749



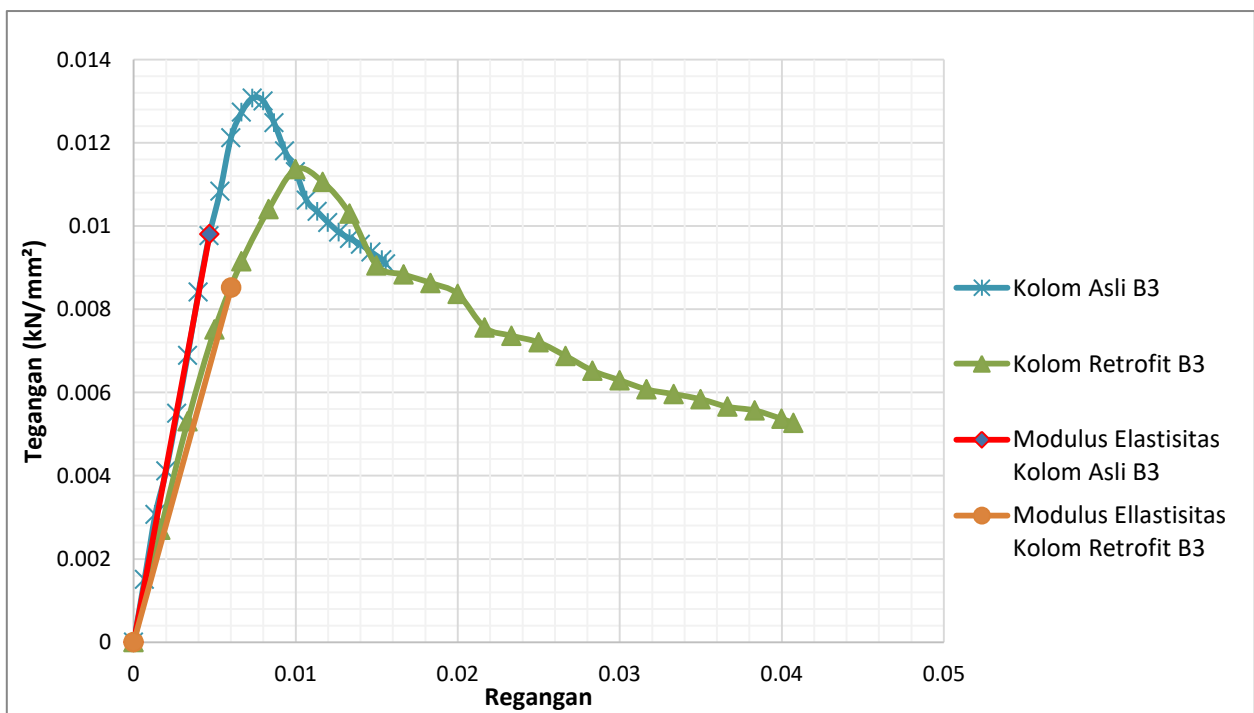
Gambar 4.35 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli B.3.1 dengan kolom retrofit B.3.1



Gambar 4.36 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli B.3.2 dengan kolom retrofit B.3.2



Gambar 4.37 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli B.3.3 dengan kolom retrofit B.3.3



Gambar 4.38 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli B.3 dengan kolom retrofit B.3

Dari data penelitian didapatkan hasil nilai modulus elastisitas, pada kolom asli B.3 memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 2.09 kN/mm^2 dan nilai modulus elastisitas kolom retrofit B.3 sebesar 1.41 kN/mm^2 . Dapat disimpulkan bahwa, kolom asli B.3 memiliki nilai modulus elastisitas lebih tinggi daripada kolom retrofit B.3. Besar penurunan modulus elastisitas kolom asli B.3 adalah 32.3 % dari kolom retrofit B.3. Hal ini membuktikan bahwa kolom retrofit B.3 lebih elastis dibanding dengan kolom asli B.3.

4.6.2.3 Kolom Asli C.3 – Kolom Retrofit C.3

Tabel 4.24

Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom asli C.3

No	Defleksi (mm)	Regangan	C.3.1		C.3.2		C.3.3		Rata-Rata
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN/mm2
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.2	0.0006667	31.5	0.002188	25	0.00174	27	0.001875	0.0019329
3	0.4	0.0013333	63	0.004375	45.8	0.00318	46.6	0.003236	0.0035972
4	0.6	0.002	88.9	0.006174	71.8	0.00499	67.3	0.004674	0.0052778
5	0.8	0.0026667	124	0.008611	101.8	0.00707	90.4	0.006278	0.0073194
6	1	0.0033333	157.9	0.010965	111.8	0.00776	116.6	0.008097	0.0089421
7	1.2	0.004	191	0.013264	129.9	0.00902	140.8	0.009778	0.0106875
8	1.4	0.0046667	225.9	0.015688	147.9	0.01027	164	0.011389	0.0124491
9	1.6	0.0053333	251.6	0.017472	172.8	0.012	185.1	0.012854	0.0141088
10	1.8	0.006	255.1	0.017715	195	0.01354	201.9	0.014021	0.0150926
11	2	0.0066667	238	0.016528	219.2	0.01522	214.4	0.014889	0.0155463
12	2.2	0.0073333	218.8	0.015194	235.2	0.01633	221.9	0.01541	0.0156458
13	2.4	0.008	206.9	0.014368	246.2	0.0171	224.8	0.015611	0.0156921
14	2.6	0.0086667	198	0.01375	246.4	0.01711	227.5	0.015799	0.0155532
15	2.8	0.0093333	183.4	0.012736	241.1	0.01674	219.8	0.015264	0.0149144
16	3	0.01	169.8	0.011792	230.6	0.01601	206.9	0.014368	0.0140579
17	3.2	0.0106667	160.5	0.011146	219	0.01521	199.6	0.013861	0.0134051
18	3.4	0.0113333	144.9	0.010063	205.2	0.01425	177.9	0.012354	0.0122222
19	3.6	0.012	134.8	0.009361	186.9	0.01298	158.5	0.011007	0.0111157

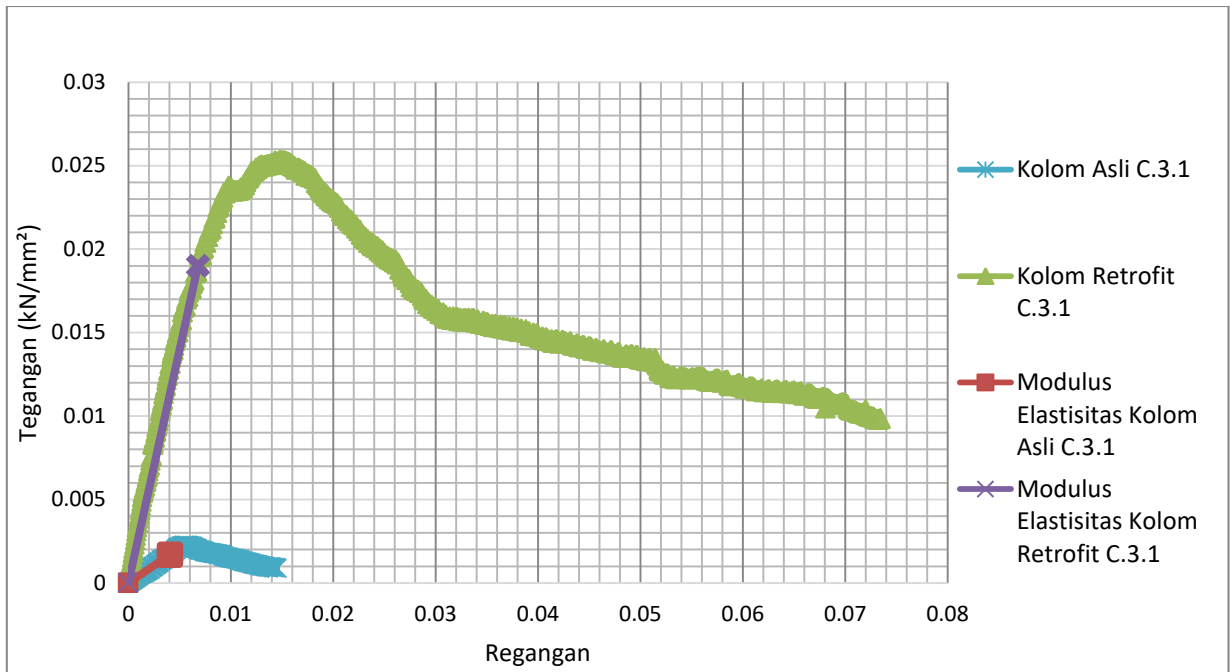
No	Defleksi (mm)	Regangan	C.3.1		C.3.2		C.3.3		Rata-Rata
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²
20	3.8	0.0126667	122.3	0.008493	174	0.01208	145	0.010069	0.0102153
21	4	0.0133333	113.2	0.007861	158	0.01097	141.5	0.009826	0.0095532
22	4.2	0.014	107.5	0.007465	145.9	0.01013	138.9	0.009646	0.009081
23	4.36	0.0145333	99.1	0.006882	136.4	0.00947	134.2	0.009319	0.0085579

Tabel 4.25

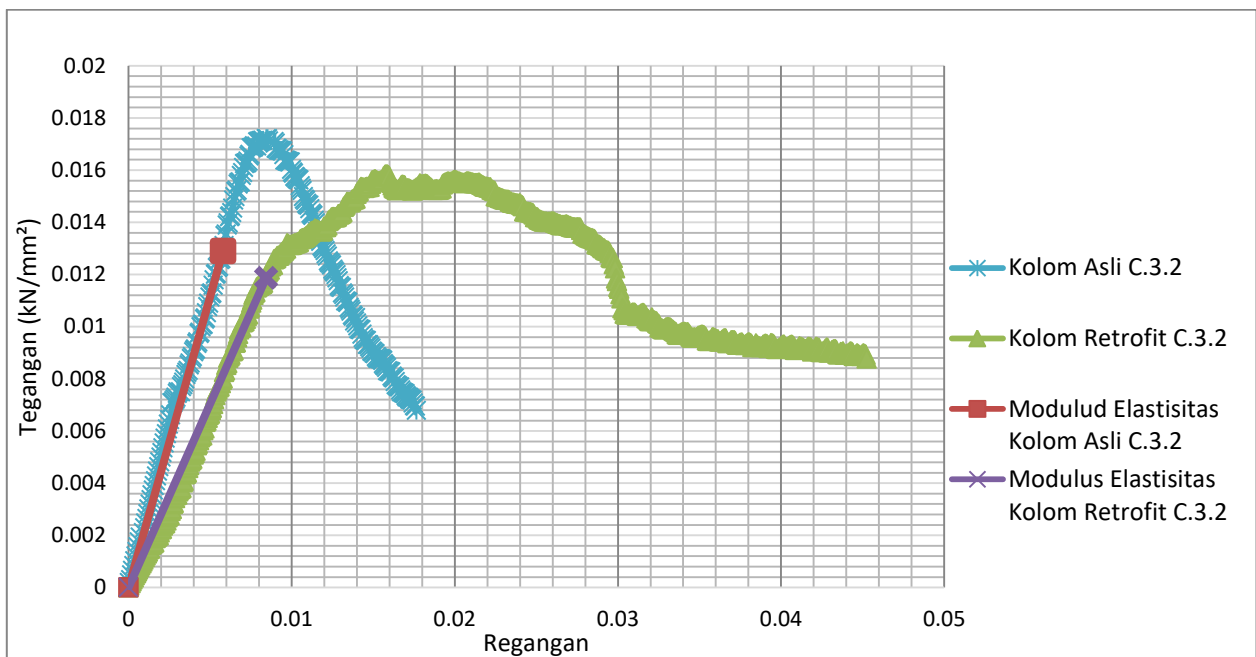
Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom asli C.3

No	Defleksi (mm)	Regangan	C.3.1		C.3.2		C.3.3		Rata-rata
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.7	0.002333	11.1	0.0003	36.8	0.0011	198.3	0.0061	0.0025
3	1.4	0.004667	211.2	0.0065	87.8	0.0027	263.6	0.0081	0.0058
4	2.1	0.007	280.8	0.0087	146.3	0.0045	291.1	0.0090	0.0074
5	2.8	0.009333	336.4	0.0104	184.2	0.0057	252.4	0.0078	0.0080
6	3.5	0.011667	349.3	0.0108	192.5	0.0059	253.8	0.0078	0.0082
7	4.2	0.014	360.6	0.0111	217.3	0.0067	275.3	0.0085	0.0088
8	4.9	0.016333	357.8	0.0110	220.1	0.0068	268.1	0.0083	0.0087
9	5.6	0.018667	342.1	0.0106	219.4	0.0068	258.2	0.0080	0.0084
10	6.3	0.021	316.8	0.0098	223.6	0.0069	263.7	0.0081	0.0083
11	7	0.023333	296.6	0.0092	213.7	0.0066	256.3	0.0079	0.0079
12	7.7	0.025667	279.9	0.0086	201.7	0.0062	234.7	0.0072	0.0074

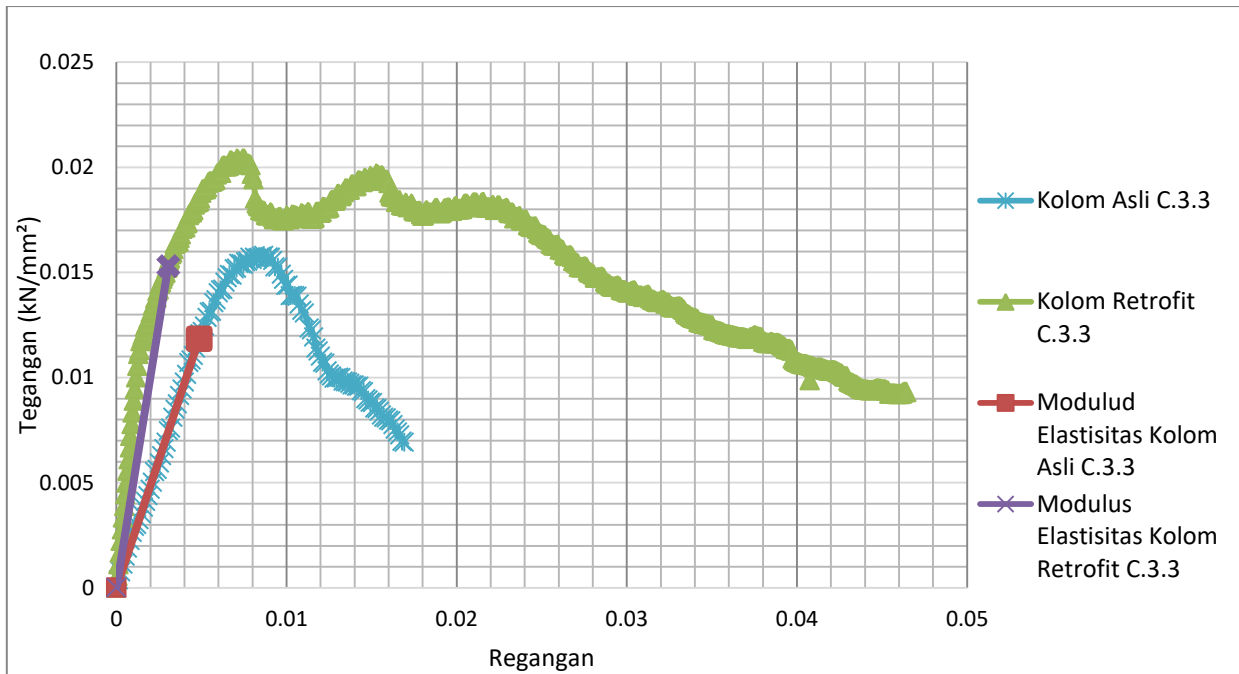
No	Defleksi (mm)	Regangan	C.3.1		C.3.2		C.3.3		Rata-rata
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²
13	8.4	0.028	254.8	0.0079	194.8	0.0060	214.9	0.0066	0.0068
14	9.1	0.030333	235.9	0.0073	154	0.0048	203.2	0.0063	0.0061
15	9.8	0.032667	225.5	0.0070	143.3	0.0044	192.3	0.0059	0.0058
16	10.5	0.035	223.2	0.0069	138.7	0.0043	179.7	0.0055	0.0056
17	11.2	0.037333	218.3	0.0067	133.9	0.0041	171.5	0.0053	0.0054
18	11.9	0.039667	215.2	0.0066	131.9	0.0041	163	0.0050	0.0052
19	12.6	0.042	209	0.0065	130.6	0.0040	148.7	0.0046	0.0050
20	13.93	0.0464	201.2	0.0062	126.3	0.0039	134.1	0.0041	0.0047



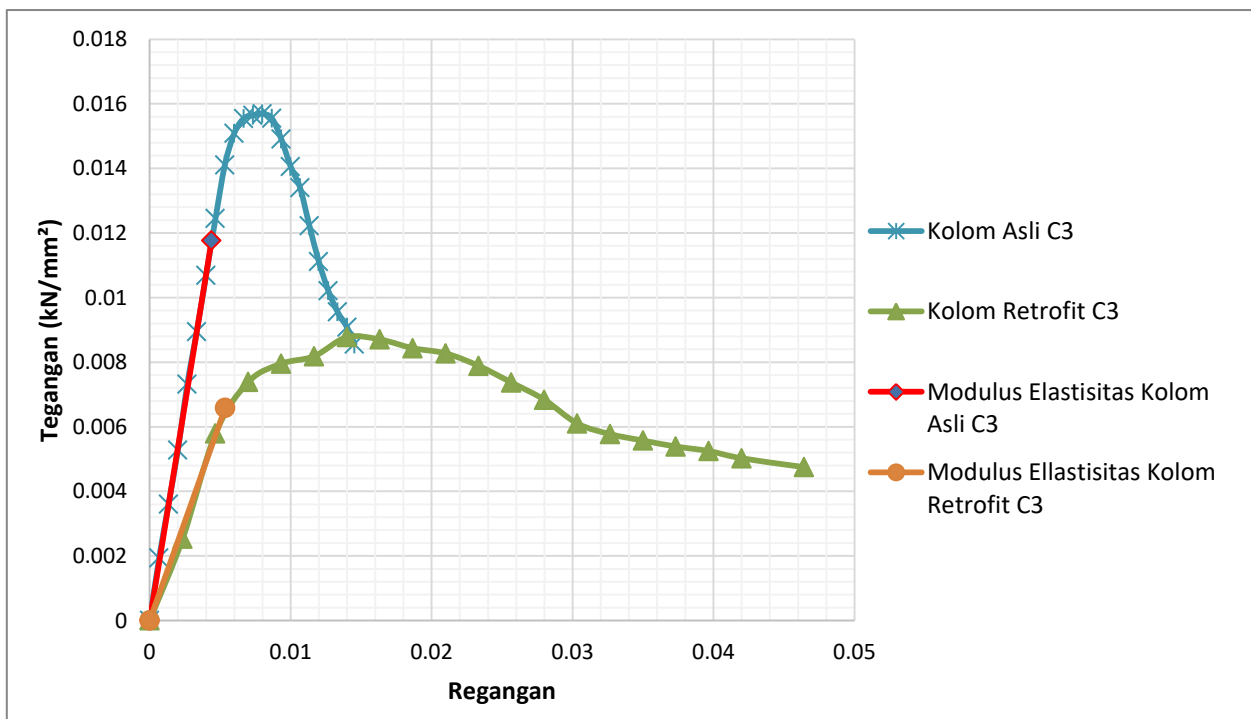
Gambar 4.39 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli C.3.1 dengan kolom retrofit C.3.1



Gambar 4.40 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli C.3.2 dengan kolom retrofit C.3.2



Gambar 4.41 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli C.3.3 dengan kolom retrofit C.3.3



Gambar 4.42 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli C.3 dengan kolom retrofit C.3

Dari data penelitian didapatkan hasil nilai modulus elastisitas, pada kolom asli C.3 memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 2.68 kN/mm^2 dan nilai modulus elastisitas kolom retrofit C.3 sebesar 1.23 kN/mm^2 . Dapat disimpulkan bahwa, kolom asli C.3 memiliki nilai modulus elastisitas lebih tinggi daripada kolom retrofit C.3. Besar penurunan modulus elastisitas kolom asli C.3 adalah 54.1% dari kolom retrofit C.3. Hal ini membuktikan bahwa kolom retrofit C.3 lebih elastis dibanding dengan kolom asli C.3.

4.6.2.4 Kolom Asli D.3– Kolom Retrofit D.3

Tabel 4.26

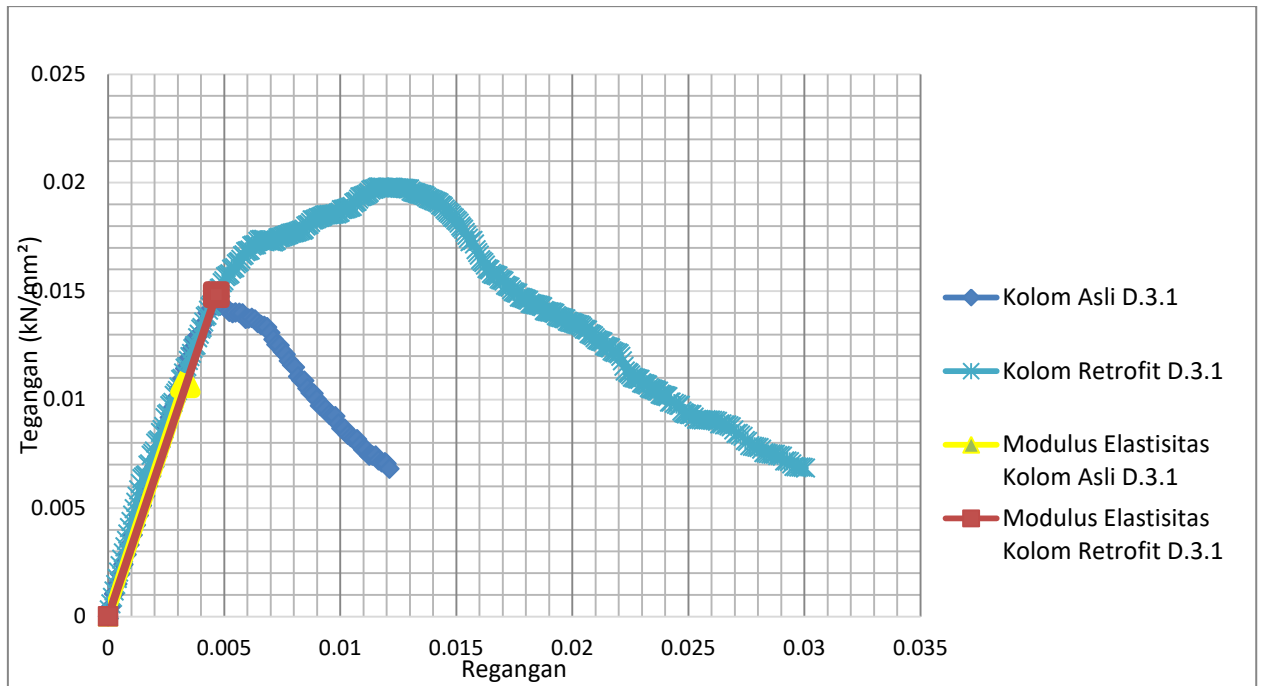
Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom asli D.3

No	Defleksi (mm)	Regangan	D.3.1		D.3.2		D.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.2	0.00067	34.5	0.0023958	34	0.0023611	24	0.001667	0.002141204
3	0.4	0.00133	67	0.0046528	68	0.0047222	48	0.003333	0.004236111
4	0.6	0.002	99.5	0.0069097	102	0.0070833	68.3	0.004743	0.00624537
5	0.8	0.00267	132	0.0091667	138.4	0.0096111	84.8	0.005889	0.008222222
6	1	0.00333	164.5	0.0114236	177.5	0.0123264	104.4	0.00725	0.010333333
7	1.2	0.004	188.4	0.0130833	212.7	0.0147708	126.7	0.008799	0.012217593
8	1.4	0.00467	206.4	0.0143333	241.2	0.01675	141	0.009792	0.013625
9	1.6	0.00533	201.3	0.0139792	249.8	0.0173472	160.2	0.011125	0.014150463
10	1.8	0.006	197.6	0.0137222	242.8	0.0168611	177.7	0.01234	0.01430787
11	2	0.00667	188.4	0.0130833	227.2	0.0157778	201.6	0.014	0.014287037
12	2.2	0.00733	180.5	0.0125347	208.5	0.0144792	225.9	0.015688	0.014233796
13	2.4	0.008	166.8	0.0115833	195.9	0.0136042	248.7	0.017271	0.014152778
14	2.6	0.00867	151.3	0.0105069	187.2	0.013	272.5	0.018924	0.014143519
15	2.8	0.00933	139.4	0.0096806	177.5	0.0123264	283.7	0.019701	0.013902778
16	3	0.01	127.9	0.0088819	161.7	0.0112292	277.4	0.019264	0.013125
17	3.2	0.01067	118.2	0.0082083	151.8	0.0105417	261	0.018125	0.012291667
18	3.4	0.01133	106.8	0.0074167	144.2	0.0100139	240.8	0.016722	0.011384259
19	3.6	0.012	101.4	0.0070417	136	0.0094444	222.9	0.015479	0.010655093
20	3.64	0.01213	97.9	0.0067986	133.9	0.0092986	219.9	0.015271	0.010456019

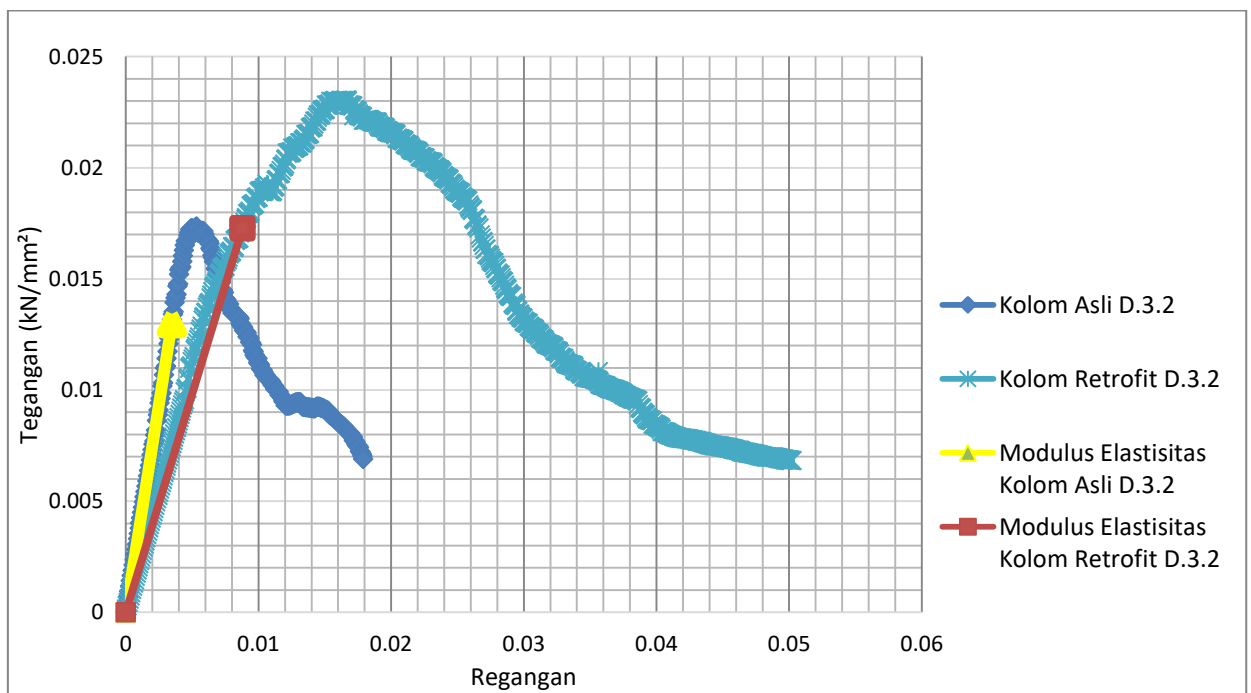
Tabel 4.27

Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom retrofit D.3

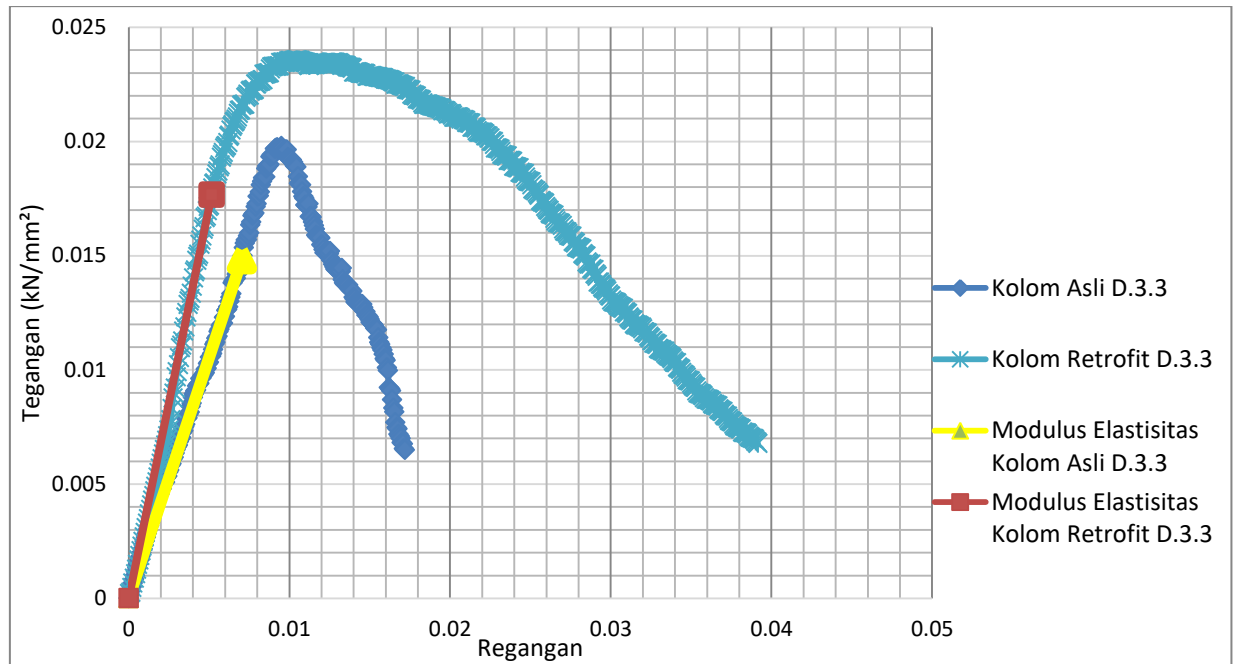
No	Defleksi (mm)	Regangan	D.3.1		D.3.2		D.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.5	0.00167	93.9	0.00652	52.5	0.003646	67.6	0.004694	0.004953704
3	1	0.00333	164.8	0.01144	102.9	0.007146	159.6	0.011083	0.009891204
4	1.5	0.005	222.7	0.01547	159.6	0.011083	246.9	0.017146	0.014564815
5	2	0.00667	250.2	0.01738	210	0.014583	300.8	0.020889	0.017615741
6	2.5	0.00833	256.2	0.01779	241.3	0.016757	338.7	0.023521	0.019356481
7	3	0.01	268.3	0.01863	269	0.018681	338.7	0.023521	0.020277778
8	3.5	0.01167	284.9	0.01978	284.3	0.019743	336.4	0.023361	0.020962963
9	4	0.01333	280.8	0.0195	304	0.021111	336	0.023333	0.021314815
10	4.5	0.015	263.2	0.01828	325.6	0.022611	329.3	0.022868	0.021252315
11	5	0.01667	226.8	0.01575	331.7	0.023035	323.9	0.022493	0.020425926
12	5.5	0.01833	207.3	0.0144	319.1	0.02216	312.3	0.021688	0.019414352
13	6	0.02	195.1	0.01355	310.7	0.021576	305.4	0.021208	0.018777778
14	6.5	0.02167	178.2	0.01238	299.3	0.020785	296.4	0.020583	0.017914352
15	7	0.02333	151.7	0.01053	288.1	0.020007	279.4	0.019403	0.016648148
16	7.5	0.025	134.1	0.00931	272.7	0.018938	262.6	0.018236	0.01549537
17	8	0.02667	127	0.00882	248.9	0.017285	236.8	0.016444	0.01418287
18	8.5	0.02833	108.3	0.00752	216.7	0.015049	216.6	0.015042	0.012537037
20	9.02	0.03007	98.5	0.00684	188.6	0.013097	188	0.013056	0.010997685



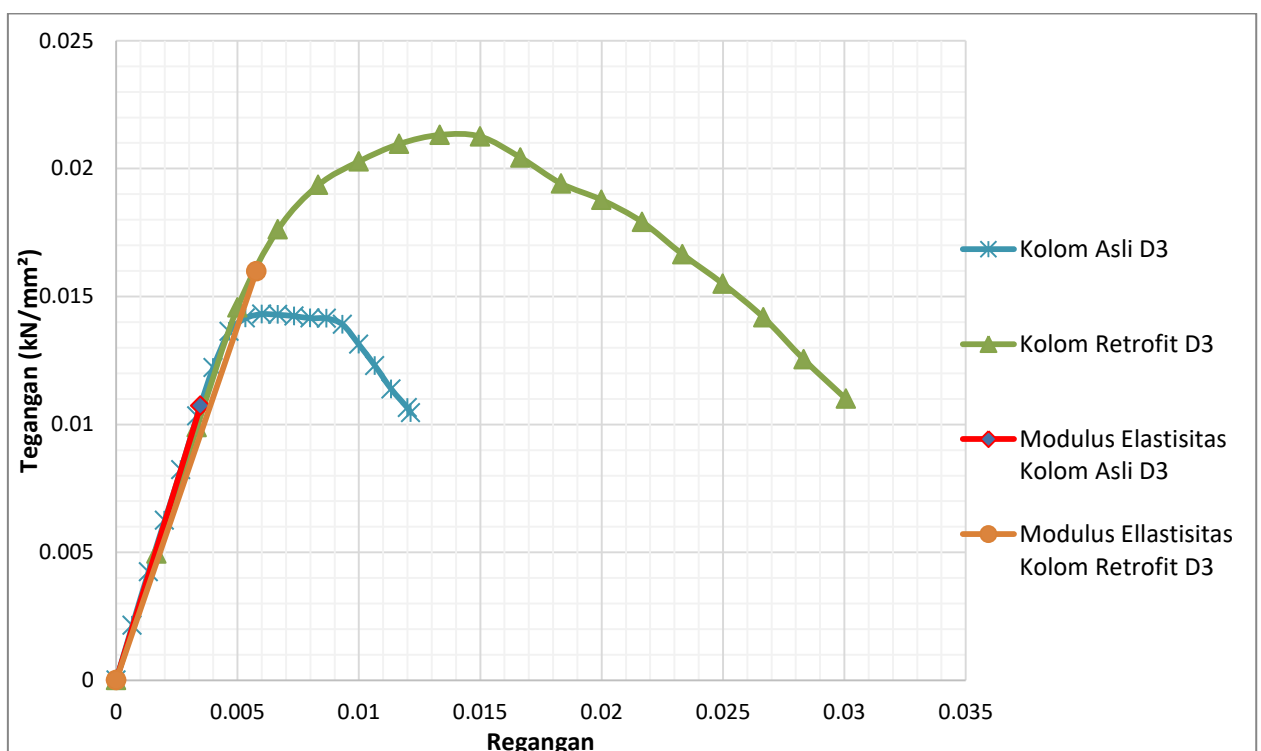
Gambar 4.43 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli D.3.1 dengan kolom retrofit D.3.1



Gambar 4.44 Grafik hubungan tegangan dan regangan kolom asli D.3.2 dengan kolom retrofit D.3.2



Gambar 4.45 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.3.3 dengan kolom retrofit D.3.3



Gambar 4.46 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.3 dengan kolom retrofit D.3

Dari data penelitian didapatkan hasil nilai modulus elastisitas, pada kolom asli D.3 memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 3.09 kN/mm² dan nilai modulus elastisitas kolom retrofit D.3 sebesar 1.23 kN/mm². Dapat disimpulkan bahwa, kolom asli D.3 memiliki nilai modulus elastisitas lebih tinggi daripada kolom retrofit D.3. Besar penurunan modulus elastisitas kolom asli D.3 adalah 60 % dari kolom retrofit D.3. Hal ini membuktikan bahwa kolom retrofit D.3 lebih elastis dibanding dengan kolom asli D.3.

4.6. Daktilitas Kolom Asli dengan Kolom Retrofit

Daktilitas adalah kemampuan material atau elemen struktru untuk berdeformasi pada masa inelastis. Dimana nilai daktilitas diperlukan mengetahui jangka waktu yang diperlukan suatu struktur mengalami kehancuran. Agar pada saat mengalami kehancuran ada waktu untuk menyelamatkan diri. Semakin tinggi nilai daktilitas maka akan semakin lama eaktu yang diperlukan struktur untuk mengalami kehancuran.

Nilai daktilitas didapatkan dari rumus :

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

Dimana :

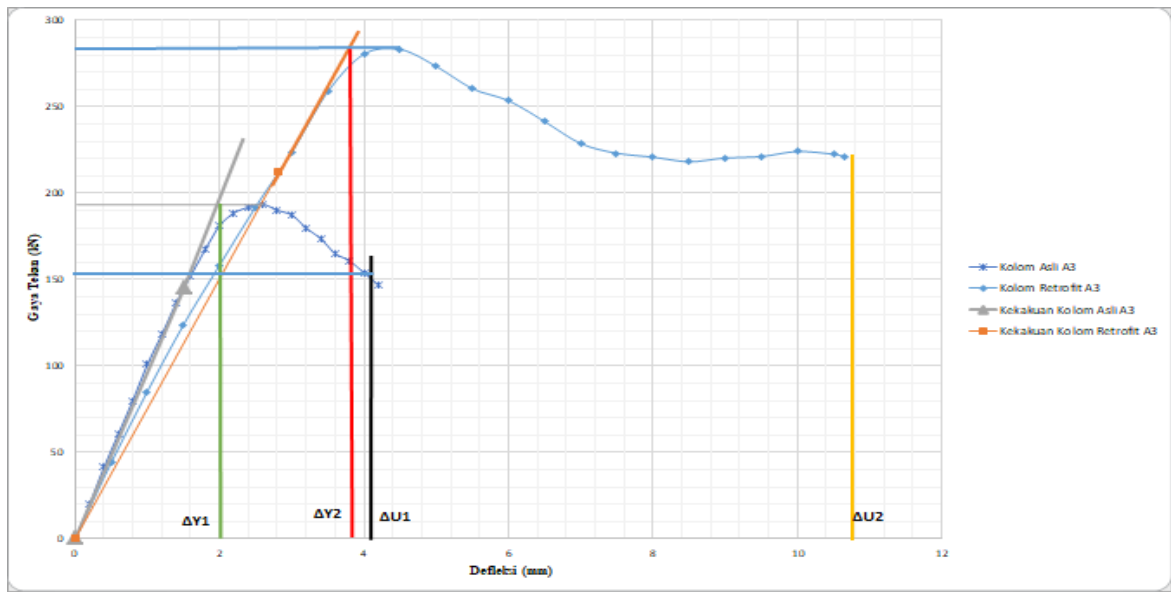
μ_{Δ} = Nilai daktilitas

Δu = Deformasi *ultimate* (mm)

Δy = Deformasi leleh (mm)

Pada analisis data untuk mencari nilai daktilitas kolom asli dan kolom retrofit, penentuan nilai deformasi ultimate didapatkan dari nilai daktilitas dengan penurunan kapasitas aksial maksimum yang sama antara kolom asli dan kolom retrofit.

4.6.1 Kolom Asli dan Kolom Retrofit A.3



Gambar 4.47 Grafik Analisis Nilai Daktilitas kolom asli A.3 dengan kolom retrofit A.3

Tabel 4.28

Tabel hasil analisis nilai daktilitas kolom asli A.3 dan kolom retrofit A.3

Kode Kolom	Beban Puncak	Beban Akhir	Rasio Beban	Rasio Terbesar	Gaya Tekan	ΔY	ΔU	Daktilitas
	kN	kN	%	%	kN	mm	mm	
	(1)	(2)	(3)= (2)/(1)*100	(4)	"(5)=(1)*(4)	(6)	(7)	(8)=(7)/(6)
A3 Asli	193.5667	146.70	75.7	78.1	151.17559	2	4.1	2.05
A3 Retrofit	283.1333	220.97	78.1		220.97	3.85	10.66	2.7688312

Contoh perhitungan daktilitas (Kolom asli A.3) :

Dik :

$$\Delta u = 4.1 \text{ mm}$$

$$\Delta y = 2 \text{ mm}$$

Dit : μ_{Δ}

Jawab :

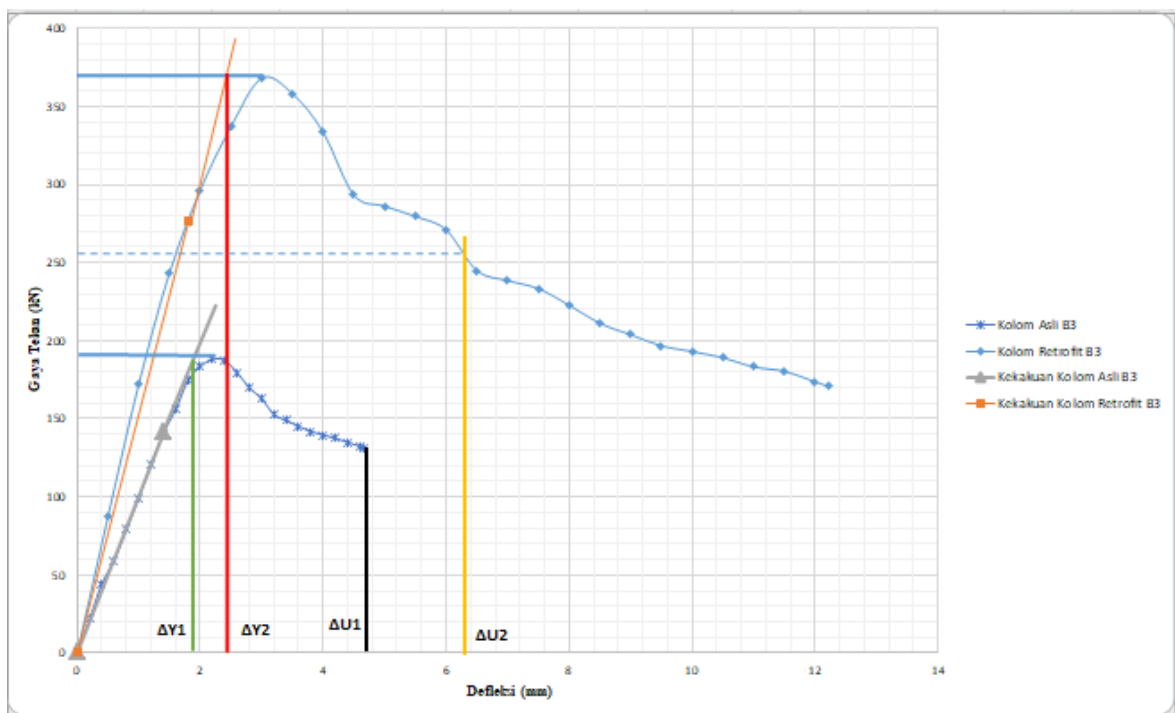
$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

$$\mu_{\Delta} = \frac{4.1}{2}$$

$$\mu_{\Delta} = 2.05$$

Nilai daktilitas didapat dari grafik hubungan kuat beban aksial dengan defleksi dan kekakuan. Dari hasil analisis daktilitas pada kolom asli dengan kolom retrofit didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli A.3 sebesar 2.05 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit A.3 sebesar 2.94, dengan persen penurunan yang sama sebesar 12.9% maka disimpulkan bahwa terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit A.3 sebesar 35.06% dari daktilitas kolom asli A.3.

4.6.2 Kolom Asli dan Kolom Retrofit A.3



Gambar 4.48 Grafik Analisis Nilai Daktilitas kolom asli B.3 dengan kolom retrofit B.3

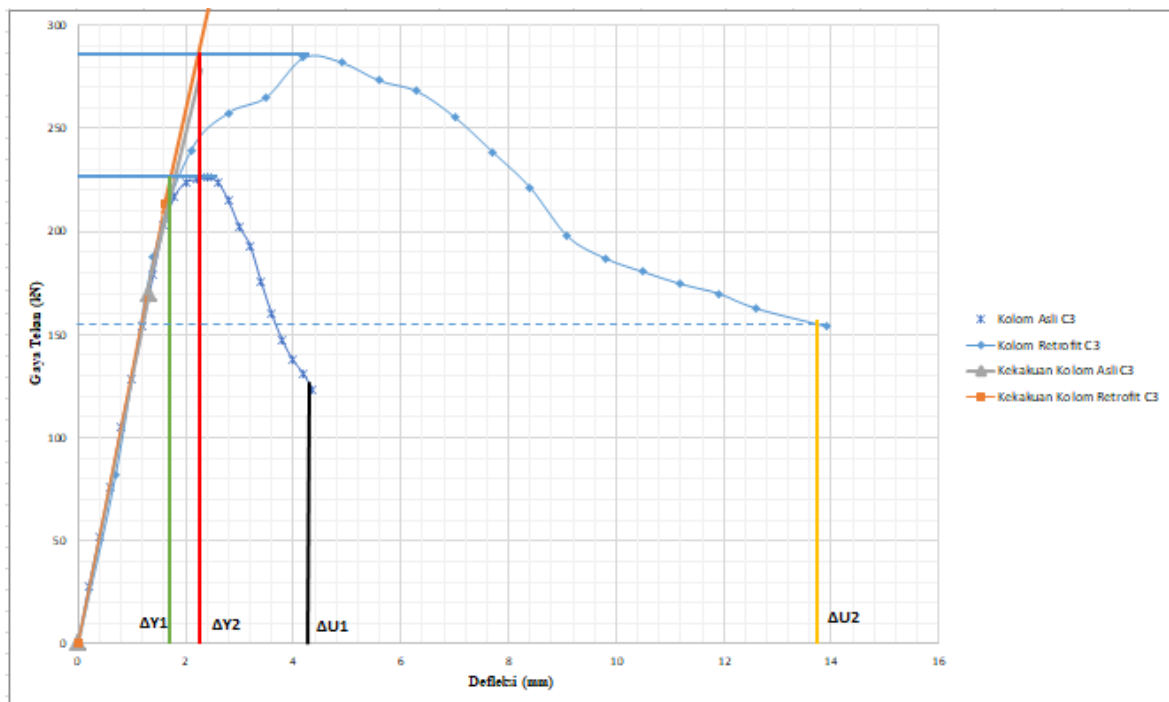
Tabel 4.29

Tabel hasil analisis nilai daktilitas kolom asli B.3 dan kolom retrofit B.3

Kode Kolom	Beban Puncak	Beban Akhir	Rasio Beban	Rasio Terbesar	Gaya Tekan	ΔY	ΔU	Daktilitas
	kN	kN	%	%	kN	mm	mm	
	(1)	(2)	(3)= (2)/(1)*100	(4)	"(5)=(1)*(4)	(6)	(7)	(8)=(7)/(6)
B3 Asli	188.2667	130.8333	69.49	69.49	130.83	1.88	4.67	2.484043
B3 Retrofit	368.1667	170.66667	46.36		255.84	2.4	6.39	2.6625

Nilai daktilitas didapat dari grafik hubungan kuat beban aksial dengan defleksi dan kekakuan. Dari hasil analisis daktilitas pada kolom asli dengan kolom retrofit didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli B.3 sebesar 2.48 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit B.3 sebesar 2.66, dengan persen penurunan yang sama sebesar 30.51% maka disimpulkan bahwa terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit B.3 sebesar 7.18% dari daktilitas kolom asli B.3.

4.6.3 Kolom Asli dan Kolom Retrofit C.3



Gambar 4.49 Grafik Analisis Nilai Daktilitas kolom asli C.3 dengan kolom retrofit C.3

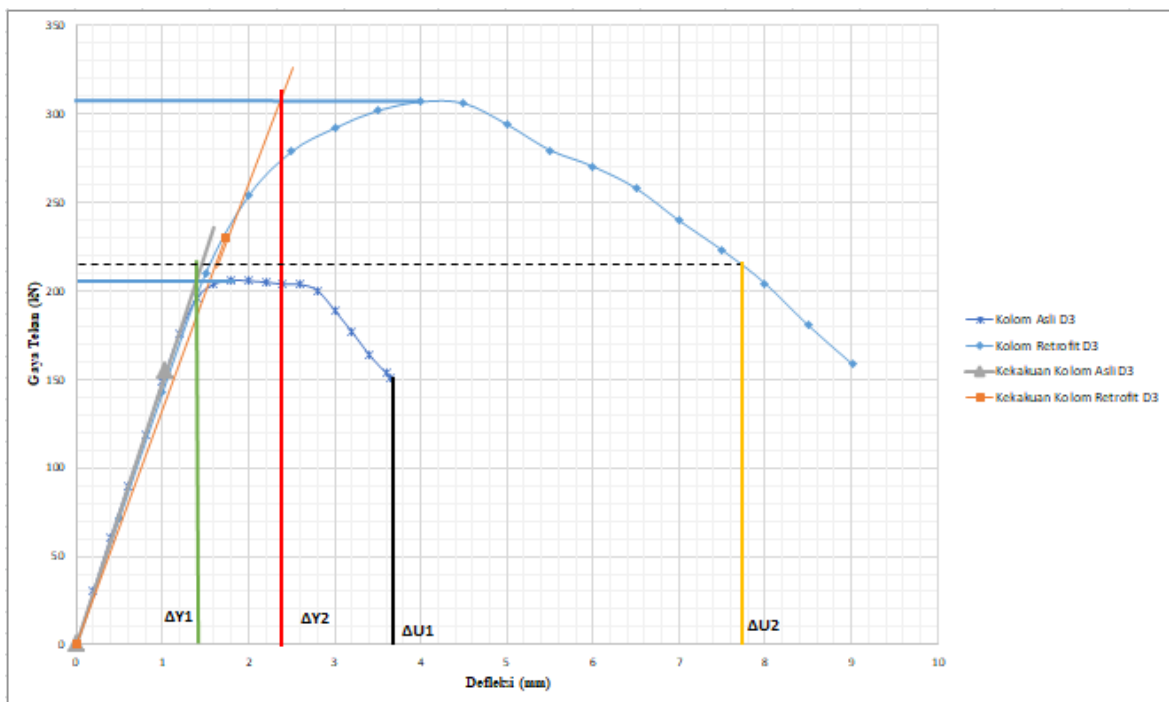
Tabel 4.30

Tabel hasil analisis nilai daktilitas kolom asli C.3 dan kolom retrofit C.3

Kode Kolom	Beban Puncak	Beban Akhir	Rasio Beban	Rasio Terbesar	Gaya Tekan	ΔY	ΔU	Daktilitas
	kN	kN	%	%	kN	mm	mm	
	(1)	(2)	$\frac{(3)}{(2)/(1)*100}$	(4)	"(5)=(1)*(4)	(6)	(7)	(8)=(7)/(6)
C3 Asli	225.97	123.23	54.54		123.23	1.88	4.36	2.319149
C3 Retrofit	284.4	153.87	54.1	54.54	155.11	2.4	13.7	5.708333

Nilai daktilitas didapat dari grafik hubungan kuat beban aksial dengan defleksi dan kekakuan. Dari hasil analisis daktilitas pada kolom asli dengan kolom retrofit didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli C.3 sebesar 2.32 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit C.3 sebesar 5.71, dengan persen penurunan yang sama sebesar 45.46% maka disimpulkan bahwa terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit C.3 sebesar 146.14% dari daktilitas kolom asli C.3.

4.6.4 Kolom Asli dan Kolom Retrofit D.3



Gambar 4.50 Grafik Analisis Nilai Daktilitas kolom asli D.3 dengan kolom retrofit D.3

Tabel 4.31

Tabel hasil analisis nilai daktilitas kolom asli D.3 dan kolom retrofit D.3

Kode Kolom	Beban Puncak	Beban Akhir	Rasio Beban	Rasio Terbesar	Gaya Tekan	ΔY	ΔU	Daktilitas
	kN	kN	%	%	kN	mm	mm	
	(1)	(2)	(3)= (2)/(1)*100	(4)	"(5)=(1)*(4)	(6)	(7)	
D3 Asli	206.03	150.57	70.08	70.08	150.57	1.8	3.64	2.022222
D3 Retrofit	306.933	158.367	51.66		215.10	2.4	7.68	3.2

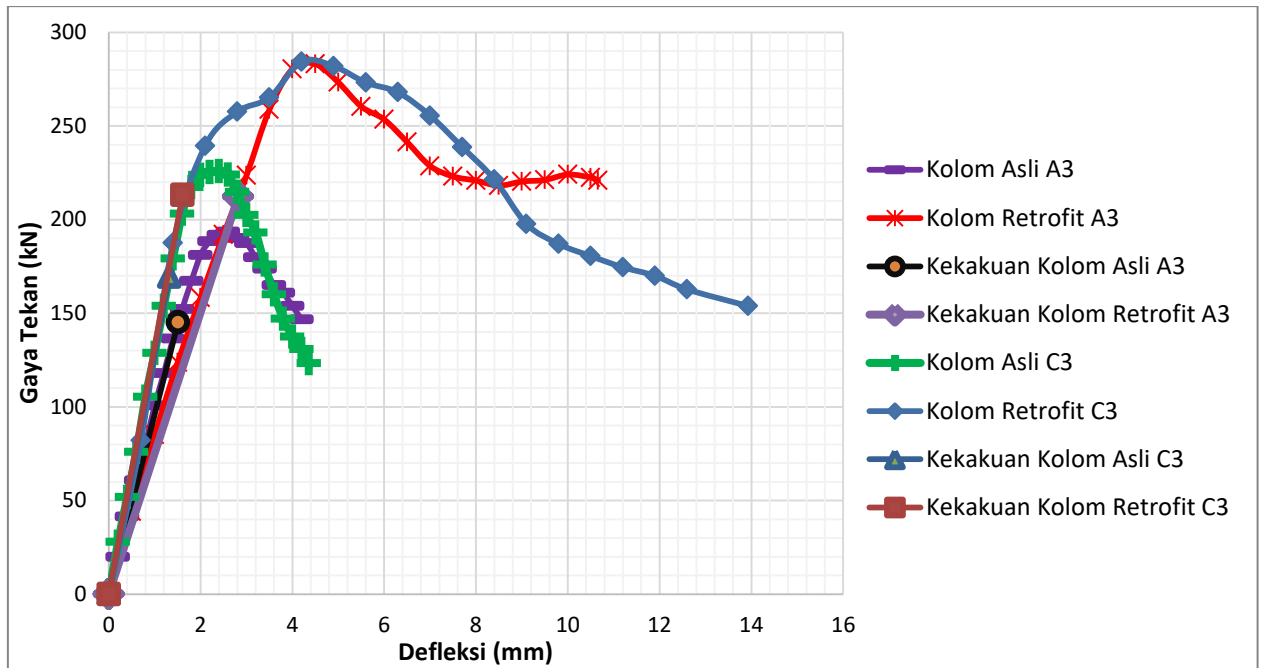
Nilai daktilitas didapat dari grafik hubungan kuat beban aksial dengan defleksi dan kekakuan. Dari hasil analisis daktilitas pada kolom asli dengan kolom retrofit didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli D.3 sebesar 2.02 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit D.3 sebesar 3.2, dengan persen penurunan yang sama sebesar 29.92% maka disimpulkan bahwa terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit D.3 sebesar 58.24% dari daktilitas kolom asli D.3.

4.7 Analisis Efisiensi Kolom Retrofit

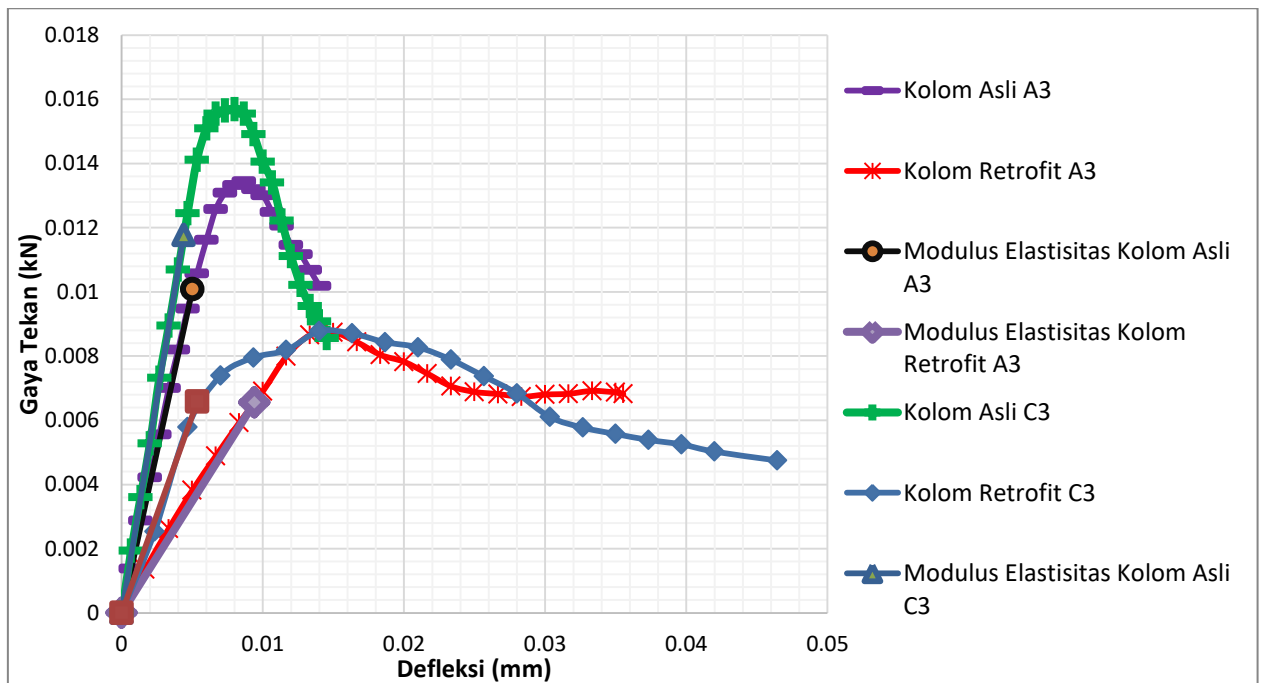
4.7.1 Analisis Efisien Rasio Tulangan Longitudinal Kolom Retrofit A.3 dengan Kolom Retrofit C.3

Setelah dilakukan pengujian dan mendapatkan hasil dari penelitian perbaikan pada kolom asli A.3 dan kolom asli C.3 dengan *metode concrete jacketing*, bahwa kolom retrofit C.3 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 20 cm dibanding dengan kolom retrofit A.3 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 10 cm dengan jarak antar sengkang yang sama besar, yaitu 9.3 cm. Dimana kolom retrofit A.3 memiliki rasio tulangan longitudinal sebesar 1.23% dan kolom retrofit C.3 memiliki rasio tulangan longitudinal sebesar 2.47%. Pada saat pengujian didapatkan bahwa terdapat perbedaan kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit C.3 lebih besar 76.27% dibanding kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit A.3. Selain itu juga, pada kolom retrofit C.3 memiliki gaya tekan maksimum 0.45% lebih besar dibanding dengan gaya tekan maksimum kolom retrofit A.3. Jika dilihat dari hasil persen perbedaan nilai gaya tekan maksimumnya, dapat diambil kesimpulan bahwa gaya tekan kolom retrofit A.3 dan kolom retrofit C.3 memiliki nilai yang sama.

Hasil analisis perbandingan kolom retrofit A.3 dengan kolom retrofit C.3 dapat dilihat pada tabel 4.32 tabel 4.33, gambar 4.51, dan gambar 4.52.



Gambar 4.51 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom retrofit A.3-C.3



Gambar 4.52 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli dengan kolom retrofit A.3-C3.

Tabel 4.32

Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit A.3 dengan C.3

No	Kode Benda Uji	Gaya Tekan Maksimum (kN)	Defleksi Maksimum (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Modulus Elastisitas(kN/mm ²)
1	A3	283.1	10.66	75.26	0.6969
2	C3	284.4	13.93	132.66	1.2284

Tabel 4.33

Tabel perbandingan hasil analisis peningkatan nilai daktilitas kolom retrofit A.3 dengan C.3

Kode Kolom	Peningkatan Daktilitas
	%
A3	35.06493506
C3	146.1391437

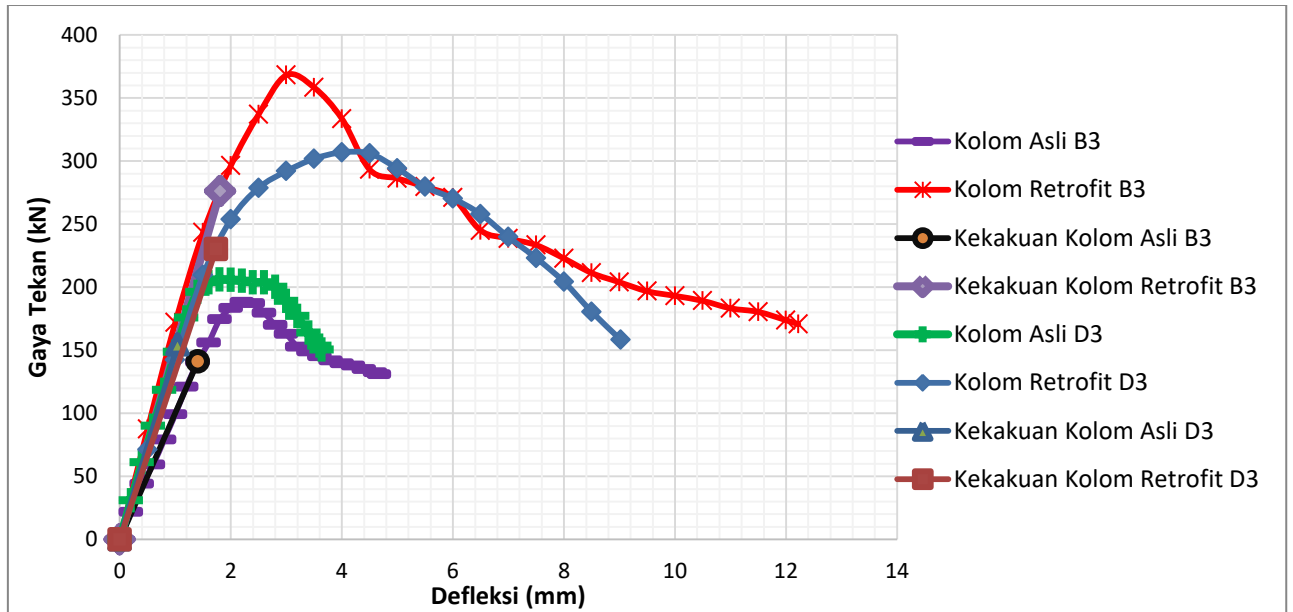
Dari data yang telah dianalisa, maka dapat disimpulkan kolom retrofit C.3 lebih efisien dibanding dengan kolom retrofit A.3. Karena nilai peningkatan daktilitas kolom retrofit C.3 lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit A.3.

4.7.2 Analisis Efisiensi rasio Tulangan Longitudiaal Kolom Retrofit B.3 dengan Kolom Retrofit D.3

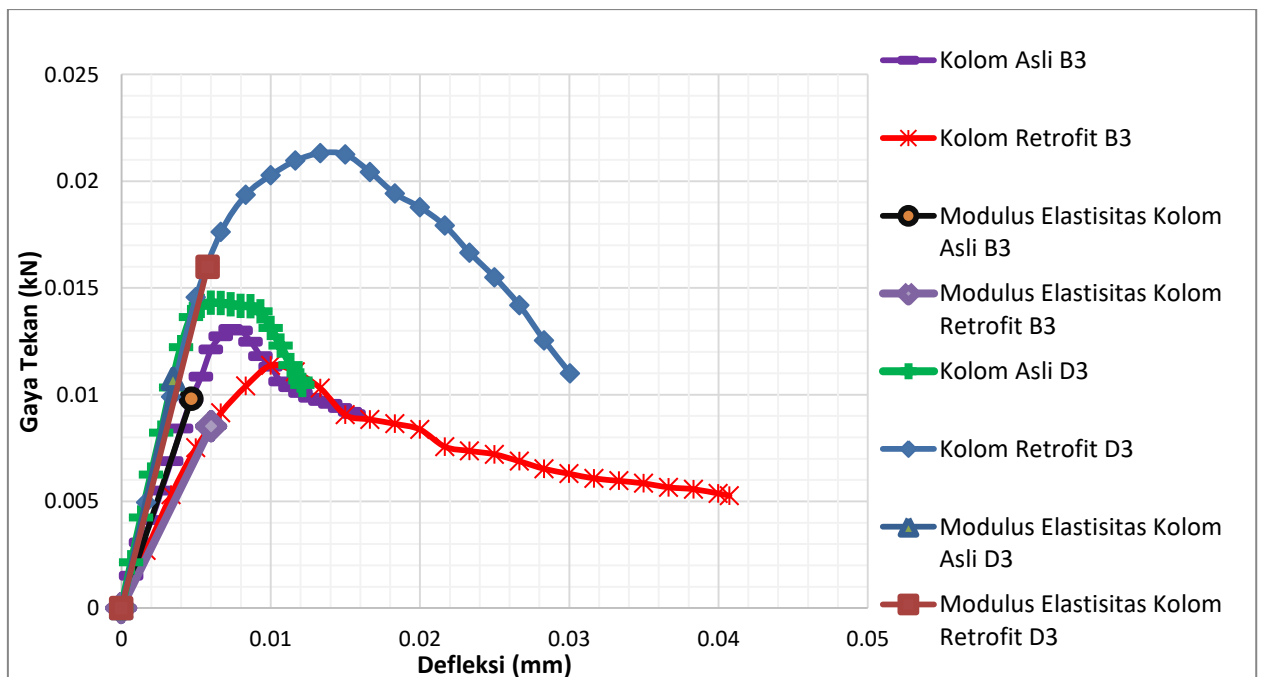
Setelah dilakukan pengujian dan mendapatkan data dari penelitian perkuatan pada kolom asli B.3 dan kolom asli D.3 dengan *metode concrete jacketing*, bahwa kolom retrofit D.3 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 10 cm dibandingkan kolom retrofit B.3 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 5 cm dengan jarak antar sengkang yang sama sebesar 9.3 cm. Dimana kolom retrofit D.3 memiliki rasio tulangan longitudinal yang lebih tinggi daripada kolom retrofit B.3. Dimana kolom retrofit B.3 memiliki rasio tulangan longitudinal sebesar 1.23% dan kolom retrofit D.3 memiliki rasio tulangan longitudinal sebesar 2.47%. Pada saat pengujian didapatkan bahwa terdapat perbedaan kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit B.3 lebih besar 13% dibanding kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit D.3. Dan pada kolom

retrofit B.3 memiliki gaya tekan maksimum 16.63% lebih besar dibandingkan dengan gaya tekan maksimum kolom retrofit D.3.

Hasil analisis perbandingan kolom retrofit D.3 dengan kolom retrofit B.3 dapat dilihat pada tabel 4.34, tabel 3.35 gambar 4.53 , dan gambar 4.54.



Gambar 4.53 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom retrofit B.3-D.3.



Gambar 4.54 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli dengan kolom retrofit B.3-D.3.

Tabel 4.34

Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit B.3 dengan D.3

No	Kode Benda Uji	Gaya Tekan Maksimum (kN)	Defleksi Maksimum (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Modulus Elastisitas(kN/mm ²)
1	B3	368.2	12.22	152.67	1.4136
2	D3	306.9	9.02	132.84	1.23

Tabel 4.35

Tabel perbandingan hasil analisis peningkatan nilai daktilitas kolom retrofit B.3 dengan D.3

Kode Kolom	Peningkatan Daktilitas
	%
B3	7.184154176
D3	58.24175824

Dari data yang telah dianalisis, maka dapat disimpulkan kolom retrofit D.3 lebih efektif dibanding dengan kolom retrofit B.3. Dikarenakan kolom retrofit D.3 mengalami peningkatan daktilitas lebih tinggi dibandingkan kolom retrofit B.3.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah didapatkan, maka diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil dari pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa nilai gaya tekan maksimum kolom retrofit A.3 lebih besar 46.27% dibanding nilai gaya tekan maksimum kolom asli A.3, nilai gaya tekan maksimum kolom retrofit C.3 lebih kecil 30% dibanding nilai gaya tekan maksimum kolom asli C.3, nilai gaya tekan maksimum kolom retrofit B.3 lebih besar 95.56% dibanding nilai gaya tekan maksimum kolom asli B.3, nilai gaya tekan maksimum kolom retrofit D.3 lebih besar 48.97% dibanding nilai gaya tekan maksimum kolom asli D.3. Sehingga secara keseluruhan dapat diambil kesimpulan bahwa penelitian tentang memberi perkuatan pada kolom ini memiliki efek terhadap peningkatan gaya tekan maksimum.
2. Kolom retrofit C.3 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 20 mm dengan jarak antar sengkang sebesar 9.3 cm dan memiliki rasio tulangan longitudinal sebesar 2.47% lebih efisien dibandingkan dengan kolom retrofit A.3 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 10 mm dengan jarak antar sengkang sebesar 9.3 cm dan memiliki rasio tulangan sebesar 1.23%. Dan dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kolom retrofit C.3 memiliki gaya tekan maksimum 0.45% lebih besar dibanding dengan gaya tekan maksimum kolom retrofit A.3. Namun, nilai kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit A.3 lebih besar 76% dibanding nilai kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit C.3. Tetapi, pada perbaikan kolom asli A dan C, kolom retrofit A.3 mengalami peningkatan daktilitas sebesar 35.04 % dibanding dengan kolom retrofit C.3 yang mengalami peningkatan daktilitas sebesar 146.14%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kolom retrofit C.3 lebih efisien dibandingkan dengan kolom retrofit A.3.
3. Kolom retrofit D.3 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 10 mm dengan jarak antar sengkang sebesar 9.3 cm dan memiliki rasio tulangan longitudinal sebesar 2.47% lebih efisien dibandingkan dengan kolom retrofit B.3 yang

dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 5 mm dengan jarak antar sengkang sebesar 9.3 cm dan memiliki rasio tulangan longitudinal sebesar 1.23%. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kolom retrofit D.3 memiliki gaya tekan maksimum 16.63% lebih besar dibanding dengan gaya tekan maksimum kolom retrofit B.3. Namun, nilai kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit D.3 lebih kecil 13% dibanding nilai kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit B.3. Selain itu, pada perbaikan kolom asli B dan D, kolom retrofit D.3 mengalami peningkatan daktilitas sebesar 58.24 % dibanding dengan kolom retrofit B.3 yang mengalami penurunan daktilitas sebesar 7.18%. Sehingga dapat disimpulkan kolom retrofit D.3 lebih efisien dibandingkan dengan kolom retrofit B.3.

4. Menurut teori, semakin besar rasio tulangan yang digunakan maka jarak antar tulangan akan semakin rapat sehingga kolom tersebut akan memiliki nilai gaya tekan maksimum, modulus elastisitas, kekakuan dan daktilitas yang semakin kecil. Kolom yang memiliki rasio tulangan longitudinal lebih tinggi akan lebih efisien dibandingkan dengan kolom yang memiliki rasio lebih rendah. Sehingga hasil dari penelitian ini semua sesuai dengan teori.

5.2 Saran

Saran yang bisa diberikan peneliti untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Ukuran dimensi kolom retrofit lebih diperbesar agar lebih mudah dalam pengecoran benda uji pada saat kolom diretrofit sehingga material yang digunakan dapat dengan mudah dimasukkan ke bakesting yang mengakibatkan berkurangnya rongga yang ada pada kolom retrofit ketika bakesting dibuka karena pada penelitian ini jarak antara kolom asli dengan kolom retrofit terlalu kecil. Sehingga tidak perlu melakukan grouting untuk menutupi rongga yang terlihat ketika bakesting dibuka.
2. Perlu penerapan metode shotcrete dengan menyemprotkan material berupa mortar atau cairan khusus ke bagian kolom yang terdapat rongga ataupun celah. Agar pengecoran seragam dan rongga yang ada bisa tertutupi.

DAFTAR PUSTAKA

- Cusson, D. dan Paultre, P. 1995. *Stress Strain Model for Confined High Strength Concrete*.
Jurnal of Structural Engineering. Vol. 121 (3), halaman 468 – 477.
- Dipohusodo, I. 1999. *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Ghavami, K. 2005. *Bamboo as Reinforcement in Struvctural Concrete Elements*. J. Cement
& Concrete Composites, elevier, 27, 637-649.
- McCormac, JC. 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.
- Nurlina, S. 2008. *Struktur Beton*. Bargie Media. Malang.
- Park,R & Paulay,T. 1974. *Reinforced Concrete Structures*. New Zealand : Departement of
Civil Engineering, University of Canterbury.
- SNI 2847-2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta:
Badan Standarisasi Nasional.
- Wonlele, Tedy., Dewi, Sri Murni., Nurlina, Siti. 2013. *Penerapan Bambu Sebagai
Tulangan Dalam Struktur Batang Beton Bertulang*. Jurnal Rekayasa Sipil. Vol.7, No.1