

PENGARUH VARIASI RASIO TULANGAN LONGITUDINAL BAMBUN DARI METODE CONCRETE JACKETING PADA KOLOM BETON MENGGUNAKAN SENGGANG BAMBUN

(The Effect of Bamboo Reinforced Concrete Jacket Method with Various Longitudinal Reinforcement Ratio on Strengthening RC Columns)

Faishal Pramudito, Indradi Wijatmiko, Christin Remayanti
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
Email : thepramudito19@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia kerap kali terjadi kegagalan struktur pada bangunan. Karena latar belakang tersebut para *civil engineer* di Indonesia melakukan riset dan berbagai macam penelitian. Sehingga berkembanglah inovasi perkuatan maupun perbaikan pada struktur-struktur bangunan seperti *concrete jacketing*, *steel bonding plat*, *carbon fibre reinforced polymer*, *self healing concrete*, melakukan eksternal *prestressing* dan lain sebagainya. Dari beberapa inovasi dan metode diatas metode jaket beton (*concrete jacketing*) adalah metode yang sangat mudah dilaksanakan. Pada penelitian kali ini, kolom asli yang diretrofit akan dipasang tulangan dan sengkang yang bermaterialkan dari bambu. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu petung untuk sengkang dan bambu apus untuk tulangan longitudinal. Ada 4 jenis kolom yang akan diteliti kali ini, yaitu kolom retrofit dengan kode A2 yang dipasang tulangan bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dengan rasio tulangan sebesar 1,23, kolom retrofit B2 yang dipasang tulangan bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 0,5 mm dengan rasio tulangan sebesar 1,23, kolom retrofit C2 yang dipasang tulangan bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 20 mm dengan rasio tulangan sebesar 2,47 dan kolom retrofit D2 yang dipasang tulangan bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dengan rasio tulangan sebesar 2,47. Penelitian kali ini membandingkan efektifitas pada pemasangan tulangan dengan rasio tulangan yang berbeda pada kolom retrofit A2 dan C2 dan juga pada kolom retrofit B2 dan D2. Kolom retrofit akan diuji menggunakan *compression test machine* dan dipasang *dial gauge* untuk membantu membaca defleksi pada kolom saat diuji. Hasil penelitian ini didapatkan bahwa kolom retrofit C2 dengan rasio tulangan 2,47 memiliki nilai kuat tekan 11,59% lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit A2 dengan rasio tulangan 1,23. Untuk nilai kekakuan dan modulus elastisitas, kolom retrofit C2 memiliki nilai 30,39% lebih besar dibandingkan kolom retrofit A2. Pada perbaikan kolom asli, kolom retrofit A2 memiliki nilai peningkatan daktilitas yang lebih besar yakni 264,07% dibandingkan dengan kolom retrofit C2 yang mengalami penurunan sebesar 46,64%. Hasil kedua tipe kolom diatas menunjukkan bahwa kolom retrofit C2 yang memiliki rasio tulangan yang lebih besar tidak memberikan efek yang signifikan untuk menambah nilai kekakuan, modulus elastisitas dan peningkatan daktilitas. Kemudian untuk penelitian kolom retrofit D2 dengan rasio tulangan 2,47 memiliki nilai kuat tekan 19,23% lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit B2 dengan rasio tulangan 1,23. Untuk nilai kekakuan dan modulus elastisitas, kolom retrofit B2 memiliki nilai 24,877% lebih besar dibandingkan kolom retrofit D2. Pada perbaikan kolom asli, kolom retrofit D2 memiliki nilai peningkatan daktilitas yang lebih besar yakni 75,47% dibandingkan dengan kolom retrofit B2 yang mengalami peningkatan daktilitas sebesar 6,75% dari kolom asli. Hasil kedua tipe kolom diatas menunjukkan bahwa kolom retrofit D2 yang memiliki rasio tulangan yang lebih besar tidak memberikan efek yang signifikan untuk menambah nilai kekakuan, modulus elastisitas dan peningkatan daktilitas

. Kata Kunci : Jaket beton, efektifitas, kuat tekam , kekakuan, modulus elastisitas, daktilitas.

ABSTRACT

We see that in Indonesia there are many structural failure happen in buildings. Starting from that background, the civil engineer in Indonesia do research and various investigation. After that, there are so many innovations in improvements and strengthening in building structures such as concrete jacketing, steel bonding plate, carbon fiber reinforced polymer, self healing concrete, performing external prestressing etc. Of the several innovations and methods above concrete jacketing method (concrete jacketing) is a very easy method implemented. In the present study, the original column will be retrofit with reinforcement and stirrup which is materialized from bamboo. The type of bamboo used is bamboo petung for stirrup and bamboo apus for longitudinal reinforcement. There are 4 types of columns to be studied this time, the retrofit column with the code A2 which fitted with bamboo reinforcement 4 pieces with size 10 x 10 mm with a reinforcement ratio by 1,23, retrofit B2 column fitted with bamboo reinforcement of 8 pieces with size 10 x 5 mm with a reinforcement ratio by 1,23, C2 retrofit columns fitted with bamboo reinforcement of 4 pieces with a size of 10 x 20 mm with a reinforcement ratio by 2,47 and retrofit column D2 which fitted with bamboo reinforcement 8 pieces with size 10 x 10 mm with a reinforcement ratio by 2,47. The study was to compare the effectiveness of the reinforcement with different reinforcement ratios in the retrofit columns A2 and C2 and also on the retrofit columns B2 and D2. The retrofit column will be tested using a compression test machine and installed a dial gauge to help read the deflection on the column when tested. The results of this study found that the retrofit column C2 with a reinforcement ratio 2,47 has a compressive strength value by 11,59% higher than the retrofit column A2 with a reinforcement ratio by 1,23. For stiffness and elasticity modulus values, the C2 retrofit column has a value by 30,39% higher than the retrofit column A2. In the original column improvement, the retrofit A2 column has a higher increased ductility value by 264,07% compared to the C2 retrofit column which decreased by 46,64%. The results of both types of columns above show that C2 retrofit column which having larger reinforcement ratios do have a quite significant effect to increase the stiffness value, elastic modulus and ductility increase. Then for research of retrofit column D2 with reinforcement ratio by 2,47 have value of compressive strength by 19,23% smaller than retrofit column B2 with reinforcement ratio by 1,23. For stiffness and elasticity modulus values, the retrofit B2 column has a value by 24,877% higher than the retrofit column D2. On the improvement of the original column, the retrofit column D2 has a higher increased ductility value by 75,47% compared to the retrofit column B2 which actually has increased ductility by 6,75% from the original column. The results of both types of columns above show that retrofit columns D2 which having larger reinforcement ratios have no significant effect to increase stiffness value, elastic modulus and increased ductility.

. Keywords: Concrete jacket, effective, compressive strength, stiffness, modulus of elasticity, ductility

PENDAHULUAN

Indonesia kerap kali terjadi kegagalan struktur pada bangunan. Hal ini merupakan masalah serius yang harus segera dibenahi. Penyebab kegagalan struktur dikategorikan menjadi 2 jenis : ulah manusia dan alam (Mardiana

Daoed, 1993). Akibat ulah manusia, bisa disengaja atau tidak. Misalnya, salah perencanaan, pelaksanaan, atau penggunaan. Ulah alam, antara lain akibat angin yang kencang yang melebihi

peraturan yang ada, atau gempa bumi yang besar, dan kebakaran.

Karena latar belakang tersebut para *civil engineer* di Indonesia melakukan riset dan berbagai macam penelitian. Sehingga berkembanglah inovasi perkuatan maupun perbaikan pada struktur-struktur bangunan seperti *concrete jacketing*, *steel bonding plat*, *carbon fibre reinforced polymer*, *self healing concrete*, melakukan eksternal *prestressing* dan lain sebagainya.

Dari beberapa inovasi dan metode diatas metode jaket beton (*concrete jacketing*) adalah metode yang sangat mudah dilaksanakan. Hal ini disebabkan karena metode jaket beton sangat efisien baik itu dari segi waktu, maupun biaya.

Metode *concrete jacketing* adalah salah satu metode perkuatan atau perbaikan beton dengan cara menyelimuti beton yang telah ada dengan beton tambahan. Hal ini membuat dimensi beton yang sebelumnya akan bertambah lebih besar setelah diperkuat dengan metode *concrete jacketing*. Beton dan tulangan digunakan untuk menyelimuti beton sebelumnya dalam metode ini.

Pada penelitian ini, pengaruh variasi dimensi tulangan dan jarak sengkang yang akan diamati terhadap keruntuhan kolom setelah diperkuat dengan metode *concrete jacketing* dengan menggunakan bahan bambu petung sebagai tulangan longitudinal dan bambu apus sebagai sengkang

TINJAUAN PUSTAKA

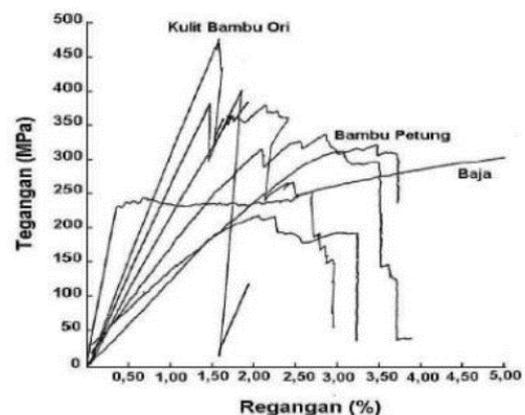
Beton merupakan bahan dari campuran antara semen, agregat halus dan kasar, serta air dengan adanya rongga-rongga udara. Campuran bahan-bahan pembentuk beton harus ditetapkan sedemikian rupa, sehingga menghasilkan beton segar yang mudah dikerjakan, memenuhi kekuatan tekan rencana setelah mengeras dan cukup ekonomis.

Beton bertulang seperti yang telah didefinisikan adalah beton yang mempunyai tulangan dan bekerja sama dalam memikul gaya-gaya. Kekuatan

beton bergantung dari berbagai faktor, sesuai dengan perbandingan unsur beton, temperature, kelembapan dan kondisi dari lingkungan (Badan Penerbit Universitas Semarang, 1999).

Dalam menahan gaya tarik, baja tulangan memiliki fungsi utama dalam struktur beton bertulang. Oleh karena itu pada struktur balok, kolom, pelat, fondasi, ataupun struktur lainnya dari bahan beton bertulang, selalu diupayakan agar tulangan longitudinal (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).

Bambu bisa dipilih sebagai tulangan alternatif sebagai pengganti tulangan baja karena merupakan produk hasil alam yang renewable, murah, mudah ditanam, pertumbuhan cepat, dapat mereduksi efek global warming serta memiliki kuat tarik sangat tinggi yang dapat dipersaingkan dengan baja (Setiwa Budi, 2010).



Gambar 1. Hubungan tegangan regangan bambu dan baja

Sumber : Morisco (1999)

Kuat Beban Aksial Kolom

Kapasitas beton yang menerima beban aksial murni dapat diperoleh dengan menjumlahkan kapasitas beton dan kontribusi baja. Sehingga dapat dirumsukan untuk kapasitas kolom pada beban sentris/aksial murni adalah :

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

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

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

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)

Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau yang biasa disebut dengan modulus young merupakan nilai yang digunakan untuk menunjukkan kekakuan suatu benda. Rumus dari modulus elastisitas adalah :

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

Dimana :

E = Modulus Elastisitas (kN/mm²)

σ = Tegangan (kN/mm²)

ϵ = Regangan

Kekakuan

Kekakuan adalah gaya yang dibutuhkan suatu elemen untuk menghasilkan suatu lendutan (Genre & Timoshenko, 1996). Rumus dari kekakuan adalah:

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

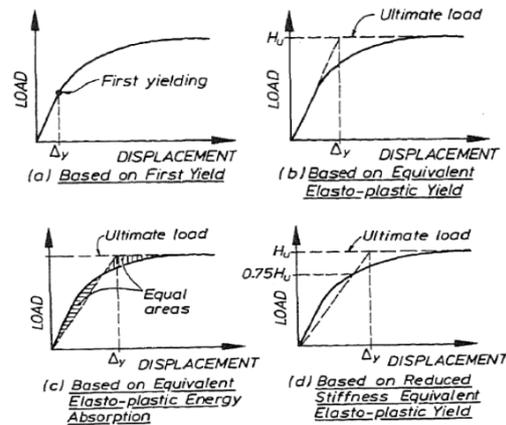
Dimana :

k = Kekakuan Struktur (kN/mm)

P = Gaya Tekan (kN)

Δ = Defleksi (mm)

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



Gambar 2. Beberapa Alternatif Pengambilan Lendutan pada Titik Leleh
Sumber : Park (1988)

Daktilitas

Daktilitas atau nama lainnya dari ketiatan adalah sifat dari suatu bahan yang memungkinkan bisa dibentuk secara permanen melalui perubahan bentuk yang besar tanpa kerusakan. Rumus dari daktilitas adalah :

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

Dimana :

μ_{Δ} = Nilai daktilitas

Δu = Deformasi *ultimate* (mm)

Δy = Deformasi leleh (mm)

Tegangan dan Regangan

Rumus tegangan adalah sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Dimana :

P = gaya tekan (kN)

A = luas tampang melintang (mm²)

Sedangkan rumus regangan adalah :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

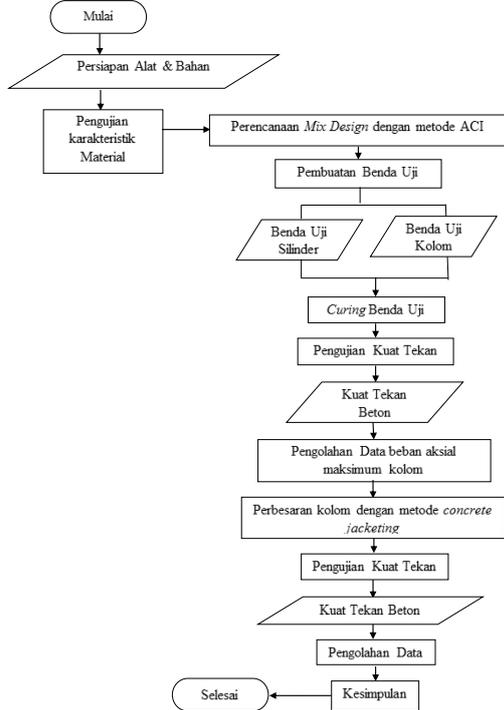
Dimana :

ΔL = perubahan panjang akibat beban (mm)

L = panjang semula (mm)

METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram alir tahapan penelitian

Dalam penelitian ini dibuat benda uji silinder memiliki ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sedangkan benda uji kolom asli memiliki ukuran penampang 12 x 12 cm dan tinggi 30 cm dan benda uji kolom retrofit dengan ukuran penampang 18 x 18 cm dan tinggi 30 cm. Untuk detail dari variasi tulangan dan jarak sengkang yang digunakan pada kolom retrofit dibuat rancangan benda uji dengan jumlah yang terdapat pada Tabel 1.

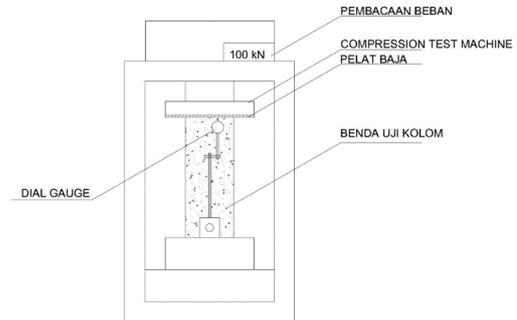
Tabel 1. Jumlah rancangan variasi benda uji

Varian	Jumlah
Benda uji silinder sampel kolom asli	3 buah
Benda uji kolom asli	12 buah
Benda uji silinder sampel kolom retrofit	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode A2	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode C2	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode B2	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode D2	3 buah

Untuk memperoleh data uji tekan kolom digunakan alat bantu video

recorder, jadi selama pengujian berlangsung juga dilakukan perekaman video yang mampu memuat nilai beban yang dibaca oleh alat uji tekan dan defleksi yang dibaca oleh *dial gauge* digital

Gambar 4. Skema pengujian benda uji kolom



HASIL PENELITIAN

Hasil Kuat Beban Aksial Kolom

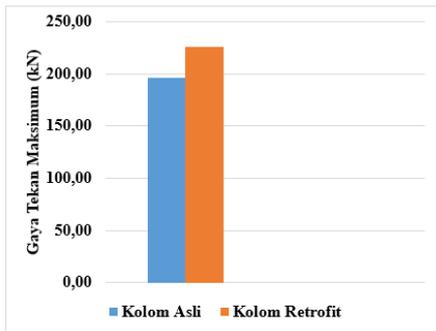
Pada penelitian kali ini dibuat sebanyak masing-masing 12 sampel untuk kolom asli maupun kolom retrofit. Tujuan dari pengujian kuat beban aksial kolom atau kuat beban aksial aktual (P_u) ini nantinya akan dibandingkan dengan kuat beban aksial kolom dan dari masing-masing variasi jarak sengkang dari kolom.

Tabel 2. Hasil Uji Gaya Tekan Kolom Asli

NO	Kode Benda Uji Kolom Asli	Gaya Tekan Beton (f'_c)	Kekuatan Nominal Kolom (P_n) Secara Teoritis	Kekuatan Maksimum Kolom (P_u) Secara Aktual
		(Mpa)	kN	kN
1	A2	18,90	262,24	191,65
2	B2	18,90	262,24	183,90
3	C2	18,90	262,24	184,50
4	D2	18,90	262,24	206,80

Tabel 3. Hasil Uji Gaya Tekan Kolom Retrofit

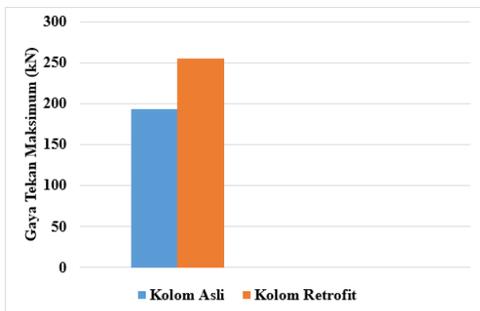
NO	Kode Benda Uji Kolom Retrofit	Gaya Tekan Beton (f'_c)	Kekuatan Nominal Kolom (P_n) Secara Teoritis	Kekuatan Maksimum Kolom (P_u) Secara Aktual
		(Mpa)	kN	kN
1	A2	13,58	342,075	196,7
2	B2	13,58	340,49	219,37
3	C2	13,58	345,233	242,37
4	D2	13,58	342,075	236,23



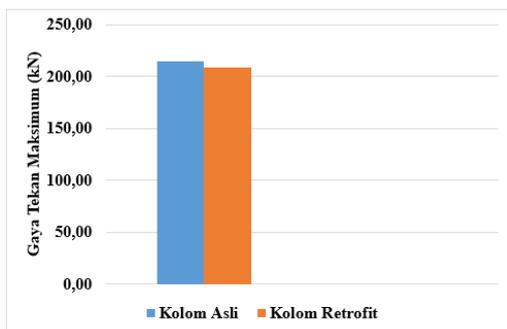
Gambar 5. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli A2 dengan kolom retrofit A2.



Gambar 6. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli B2 dengan kolom retrofit B2



Gambar 7. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli C2 dengan kolom retrofit C2



Gambar 8. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli D2 dengan kolom retrofit D2

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil kuat beban aksial maksimum dari kolom retrofit selalu lebih besar daripada kolom asli, terkecuali untuk kolom D2.

Hubungan Gaya Tekan dan Defleksi Kolom Asli dengan Kolom Retrofit

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

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

Tabel 4. Rata-rata gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolo m	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Defleksi (mm)		Kekakuan (kN/mm)	
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit
1	A2	191,7	225,9	143,74	169,39	1,24	1,16	115,84	146,38
2	B2	183,9	258,1	137,93	193,58	1,13	1,25	122,56	155,33
1	C2	184,5	255,5	138,38	191,60	0,77	0,91	180,06	210,30
2	D2	206,8	208,5	155,10	156,35	1,39	1,29	111,97	121,24

Dari hasil yang diperoleh bahwa kolom retrofit memiliki nilai kekakuan yang lebih tinggi daripada kolom asli.

Hubungan Tegangan dan Regangan Kolom Asli dengan Kolom Retrofit

Hubungan mengenai tegangan-regangan antara kolom asli dan kolom retrofit bertujuan untuk mengetahui nilai modulus elastisitas suatu benda. Semakin besar nilai modulus elastisitas suatu benda, maka benda tersebut akan semakin kaku. Namun sebaliknya, jika modulus elastisitas suatu benda semakin kecil, maka benda tersebut akan semakin elastis.

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 5. Rata-rata tegangan dan regangan 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	A2	0,0133	0,0070	0,0100	0,0052	0,0041	0,0039	2,4133815	1,355375519
2	B2	0,0128	0,0080	0,0096	0,0060	0,0038	0,0042	2,5534067	1,438279899
1	C2	0,0128	0,0079	0,0096	0,0059	0,0026	0,0030	3,7512568	1,947263905
2	D2	0,0144	0,0064	0,0108	0,0048	0,0046	0,0043	2,3326369	1,122612222

Dari hasil yang diperoleh bahwa kolom retrofit memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih rendah daripada kolom asli.

Daktilitas Kolom Asli dan Kolom Retrofit

Pembahasan mengenai daktilitas padan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai daktilitas yang terjadi pad kolom asli dan kolom retrofit. Daktilitas adalah sifat dari suatu bahan yang memungkinkan bahan tersebut berdeformasipada saat kondisi inelastic tanpa mengalami kerusakan. Hal ini diperlukan agar ketika bagian yang terkena beban besar secara tiba-tiba akan memberikan tanda-tanda kerusakan.

Dikarenakan keterbatasan kemampuan *dial gauge* pada saat pengujian, pada analisis data untuk mencari nilai daktilitas kolom asli dan kolom retrofit, penentuan nilai deformasi ultimate didapatkan dari nilai daktilitas dengan penurunan kapasitas beban aksial maksimum yang sama antara kolom asli dan kolom retrofit. Pada kasus ini peneliti menyepakati menggunakan persen beban keruntuhan yang terbesar antara kolom asli dan kolom retrofit dalam menentukan nilai deformasi ultimate.

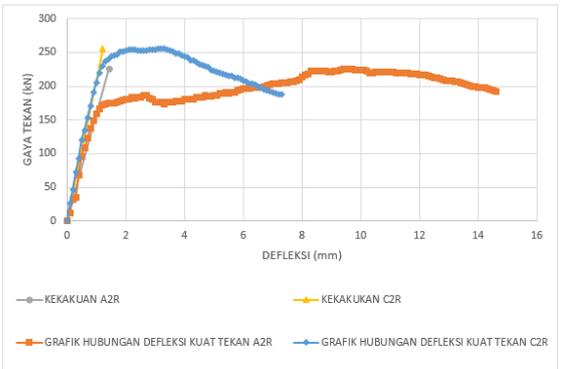
Tabel 6. Tabel daktilitas pada kolom asli dan kolom retrofit

Kolom	Gaya Tekan Max kN	Δy mm	Beban Runtuh kN	% Beban Keruntuhan	Beban Runtuh kN	Δu mm	Daktilitas	Peningkatan Daktilitas
								%
A2	Asli	191,65	1,65	137,35	71,67	163,43	4,30	264,07
	Retrofit	225,85	1,54	192,60	85,28	192,60	14,6	
B2	Asli	183,9	1,50	118,17	64,26	118,17	8	6,75
	Retrofit	258,1	1,66	153,60	59,51	165,84	9,46	
C2	Asli	184,5	1,02	122,40	66,34	135,39	11,54	-46,64
	Retrofit	255,467	1,21	187,47	73,38	187,47	7,30	
D2	Asli	206,8	1,85	127,83	61,81	147,54	8,69	75,47
	Retrofit	208,467	1,72	148,73	71,35	148,73	14,2	

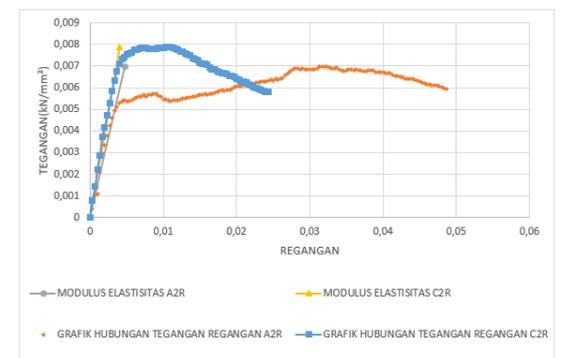
Efektifitas Kolom Retrofit A.2– C.2

Tabel 7. Perbandingan hasil penelitian kolom retrofit A.2 dengan kolom retrofit C.2

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)	Defleksi Maksimum (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	Peningkatan Daktilitas (%)
1	A2	225,9	14,6	146,38	1,36	264,07
2	C2	255,5	7,3	210,30	1,95	-46,64



Gambar 10. Grafik perbandingan hasil gaya tekan-defleksi dan hasil kekakuan kolom retrofit A.2-C.2



Gambar 11. Grafik perbandingan tegangan-regangan dan hasil modulus elastisitas kolom retrofit A.2-C.2

Dari data – data yang telah diperoleh dan di analisis, maka dapat disimpulkan kolom retrofit C.2 dengan rasio tulangan 2,47 lebih efektif dalam menambah kekakuan, modulus elastisitas

dan gaya tekan dibandingkan dengan kolom retrofit A.2 dengan rasio tulangan 1,23. Tetapi kolom retrofit A.2 jauh lebih efektif dalam meningkatkan nilai daktilitas dibandingkan kolom C.2

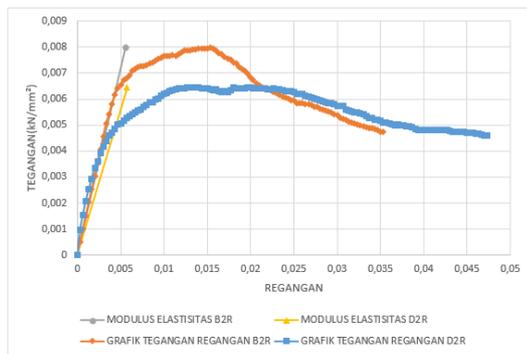
Efektifitas Kolom Retrofit B.2 – D.2

Tabel 9. Perbandingan hasil penelitian kolom retrofit B.2 dengan kolom retrofit D.2

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)	Defleksi Maksimum (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	Peningkatan Daktilitas (%)
1	B2	258,1	10,6	161,39	1,49	6,75
2	D2	208,5	14,2	121,24	1,12	75,47



Gambar 12. Grafik perbandingan hasil gaya tekan-defleksi dan hasil kekakuan kolom retrofit B.2-D.2



Gambar 13. Grafik perbandingan tegangan-regangan dan hasil modulus elastisitas kolom retrofit B.2-D.2

Dari data – data yang telah diperoleh dan di analisis, maka dapat disimpulkan pada penelitian ini kolom retrofit B.2 dan D.2 untuk rasio tulangan yang lebih besar tidak memiliki hasil yang sesuai teori yang dimana seharusnya kolom dengan rasio tulangan yang lebih besar memiliki nilai kekakuan dan modulus elastisitas yang lebih besar,

sedangkan untuk nilai daktilitas seharusnya memiliki peningkatan nilai daktilitas yang lebih kecil dibandingkan dengan kolom yang memiliki rasio tulangan yang lebih kecil. Hal ini bisa terjadi karena pada saat pengecoran, agregat tidak seluruhnya mengisi bagian kolom retrofit. Hal ini bisa mengakibatkan kolom retrofit D.2 tidak bisa berdeformasi sebesar kolom retrofit B.2 atau lebih cepat mencapai titik runtuh, dimana akan mempengaruhi pada kedaktilitan kolom.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil pengujian pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kuat tekan maksimum yang mampu diterima oleh kolom retrofit A.2 lebih besar 15,14% dibanding nilai kuat tekan maksimum kolom asli A.2, nilai kuat tekan maksimum kolom retrofit B.2 lebih besar 28,75% dibanding nilai kuat tekan maksimum kolom asli B.2, nilai kuat tekan maksimum kolom retrofit C.2 lebih besar 27,78% dibanding nilai kuat tekan maksimum kolom asli C.2 dan nilai kuat tekan maksimum kolom retrofit D.2 lebih besar 0,79% dibanding nilai kuat tekan maksimum kolom asli D.2.

2. Kolom retrofit C.2 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 20 mm dengan rasio tulangan sebesar 2,47 memiliki nilai kekakuan dan modulus elastisitas yang lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit A.2 yang dipasang 4 buah tulangan dengan rasio tulangan sebesar 1,23. Apabila dipersentasikan, kolom retrofit C.2 memiliki nilai kekakuan yang lebih besar 30,39% dibandingkan kolom A.2. Hasil ini menunjukkan bahwa pada penelitian ini kolom retrofit dengan rasio tulangan yang lebih besar membawa perubahan yang signifikan dalam

peningkatan nilai modulus elastisitas dan kekakuan.

Kolom retrofit B.2 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 5 mm dengan rasio tulangan sebesar 1,23 memiliki nilai kekakuan dan modulus elastisitas yang lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit D.2 yang dipasang 8 buah tulangan dengan nilai rasio tulangan sebesar 2,47. Sehingga dapat disimpulkan bahwa, kolom retrofit B.2 memiliki nilai kekakuan yang lebih besar 24,87% dibandingkan kolom D.2. Hasil ini menunjukkan bahwa pada penelitian ini kolom retrofit dengan rasio tulangan yang lebih besar tidak terlalu membawa perubahan yang signifikan dalam peningkatan nilai modulus elastisitas dan kekakuan.

Pada nilai peningkatan daktilitas kolom asli ke kolom retrofit, kolom D.2 lebih baik dalam meningkatkan nilai daktilitas yaitu 75,47 % dari kolom asli ke kolom retrofit dibandingkan dengan kolom B.2 yang mengalami peningkatan daktilitas sebesar 6,7% dari kolom asli.

3. Secara teori kolom dengan rasio tulangan yang lebih besarlah yang lebih mempunyai nilai kedaktilan, kekakuan dan modulus elastisitas yang lebih besar dibanding dengan kolom dengan rasio tulangan yang lebih kecil, namun pada penelitian ini kolom retrofit A.2 lebih daktil dibanding dengan kolom retrofit C.2. Begitu juga dengan kolom retrofit B.2 yang lebih kaku dan lebih besar modulus elastisitasnya daripada kolom retrofit D.2. Hal ini mungkin terjadi karena ada beberapa tulangan transversal yang berfungsi sebagai pengekang terputus, kurang menyatunya antara kolom dan tulangan atau juga bisa dikarenakan pada saat pengecoran, rongga-rongga pada beton belum terisi secara maksimal. Sehingga kolom mudah mengalami runtuh.

Saran

Saran yang bisa diberikan kepada peneliti yang ingin melanjutkan daripada penelitian ini antara lain:

1. Untuk ukuran dimensi kolom retrofit diperbesar agar mudah dalam pembuatan benda uji kolom retrofit sehingga tidak ada rongga pada kolom retrofit ketika bekisting dibuka karena pada penelitian ini jarak antara kolom asli dengan kolom retrofit terlalu kecil.
2. Perlu memakai mortar dan menggunakan metode shotcrete agar proses pengecoran seragam sehingga masuknya agregat lebih mudah.
3. Sebelum melakukan pengujian, pastikan terlebih dahulu perlengkapan yang diperlukan untuk melakukan pengujian. Karena pada penelitian ini pembacaan dial pada kolom retrofit tidak dapat terbaca secara maksimum karena karet ban yang berfungsi sebagai keping kurang bekerja secara optimal. Hal ini dikarenakan lebar karet ban dan penampang luasan kolom lebih besar penampang luasan kolom. sehingga pada waktu pengujian beban tidak menekan secara merata dan pembacaan dial tidak dapat dilakukan secara sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Wibowo A. Analisa Hubungan Tegangan-Regangan Pada Kolom Beton Bertulang Mutu Tinggi. *Rekayasa Sipil*, 10(1), 2016, pp. 71-81.
- Wibowo A , Hidayat M. H, Rochim A. Variasi Rasio Volume Tulangan Transversal dengan Inti Beton Terhadap Daktilitas Aksial Kolom Beton Bertulang. *Rekayasa Sipil*, 3(3), 2012, pp. 181-191.
- Wibowo A, Wijatmiko I, Nainggolan C.R. Bamboo Reinforced Concrete Slab with Styrofoam Lamina Filler as Solution for Lightweight Concrete Application. *MATEC Web of Conferences*, 101 (05012), 2017.
- Wibowo A, Wijatmiko I, Nainggolan C.R.

- Structural behavior of lightweight bamboo reinforced concrete slab with EPS infill panel. AIP Conference Proceedings 1887 (1), 020024, 2017.
- Wibowo A, Budio S.P, Nurlina S, Arifi E. Pengaruh Variasi Jarak Sengkang Dan Rasio Tulangan Longitudinal Terhadap Mekanisme Dan Pola Retak Kolom Bertulangan Ringan Akibat Beban Siklik. *Rekayasa Sipil* 10 (3), 168-177, 2017.
- 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.
- McCormac, J.C. 2004. *Desain Beton Bertulang*. Jilid ke-1. Sumargo, penerjemah : Sinamarta L, editor. Jakarta: Penerbit Erlangga. Terjemahan dari : *Design of Reinforced Concrete Fifth Edition*. Morisco. 1999. *Rekayasa Bambu*. Nafiri Offset. Yogyakarta.
- Nawy, G.E. 1985. *Beton Bertulang – Suatu Pendekatan Dasar*. Suryoatmono B, penerjemah. Bandung : PT. Refika Aditama. Terjemahan dari : *Reinforced Concrete – A Fundamental Approach*.
- Nurlina, S. 2008. *Struktur Beton*. Bargie Media. Malang.
- Park, R & Paulay, T. 1974. *Reinforced Concrete Structures*. New Zealand :Departement of Civil Engineering, University of Canterbury.
- Perdana, R.A.S. 2018. Pengaruh Jarak Sengkang dari Metode Jacket Beton Bertulang Bambu pada Kolom Beton Bertulang. Malang: Universitas Brawijaya
- SNI 2847-2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Tavio., Wimbadi. I., & Roro. 2011. Studi Daktilitas Kurvatur Pada Kolom Persegi Panjang Beton Infrastruktur Bertulang Terkekang Dengan Menggunakan Visual Basic 6.0. *Seminas Nasional VII Penanganan Kegagalan Pembangunan dan Pemeliharaan*. Surabaya : Institut Teknologi Surabaya.