

PENGARUH VARIASI MUTU JAKET BETON DAN PENAMBAHAN TULANGAN LATERAL TERHADAP KAPASITAS AKSIAL KOLOM BUJUR SANGKAR

Ida Bagus Dharma Giri, Ida Bagus Rai Widiarsa dan I Made Pramana Hadibratha

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Udayana

Email: guidha82@gmail.com

ABSTRAK: Penelitian terkait *concrete jacketing* telah banyak dilakukan, seperti halnya penambahan tulangan sengkang dan pembesaran dimensi dengan mutu beton jaket yang sama ataupun melebihi mutu beton kolom inti. Untuk mengetahui pengaruh mutu beton jaket dan penambahan tulangan sengkang terhadap kapasitas aksial kolom, maka dalam penelitian ini dibuat kolom inti (K_{25}) dengan mutu 25 MPa dan mutu beton jaket yang bervariasi yakni 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, dengan penambahan tulangan sengkang (Kolom KJs) dan tanpa penambahan tulangan sengkang (Kolom KJ) di setiap variasi mutu beton jaket. Untuk setiap jenis perlakuan dibuat masing-masing 3 buah benda uji. Adapun kolom inti memiliki bentuk bujur sangkar dengan dimensi 80 x 80 x 320 mm dan perkuatan beton jaket diberikan dengan dimensi 160 x 160 x 300 mm. Kolom diberikan beban aksial konsentris dan dihitung perpendekannya menggunakan *dial gauge* setiap pemberian beban sebesar 20 kN. Hasil penelitian ini menunjukkan penambahan beton jaket dan tulangan sengkang mampu meningkatkan kapasitas aksial dan daktilitas kolom. Adapun peningkatan kapasitas aksial yang terjadi pada kolom K_{J20} , K_{J25} , K_{J30} , terhadap kolom K_{25} berturut-turut adalah sebesar 17,4%; 34,0%; 34,7%. Sedangkan peningkatan kapasitas aksial kolom K_{Js20} , K_{Js25} , K_{Js30} , terhadap kolom K_{25} berturut-turut sebesar 54,9%; 62,5%; 71,5%. Kolom perkuatan dengan penambahan tulangan sengkang, memiliki nilai perpendekan dan kapasitas aksial yang lebih besar dari kolom inti dan kolom perkuatan tanpa disertai penambahan sengkang. Peningkatan kapasitas aksial yang terjadi juga bertambah seiring dengan peningkatan kuat tekan beton jaket yang digunakan sebagai perkuatan.

Kata Kunci: variasi mutu, kapasitas aksial, perkuatan beton jaket

THE EFFECT OF CONCRETE JACKET QUALITY VARIATIONS AND ADDITION OF LATERAL REINFORCEMENT TO AXIAL COLUMN CAPACITY

ABSTRACT: Many researches have been carried out regarding concrete jacketing, such as the addition of stirrup reinforcement and enlargement of dimensions with the quality of the concrete jacket that is equal or exceeds the quality of the core column concrete. To determine the effect of concrete jacket quality and the addition of stirrup reinforcement to the axial column capacity, in this study, the core column (K_{25}) with 25 MPa quality and the quality of the concrete jacket varied 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, with the addition of stirrup reinforcement (KJs column) and without the addition of stirrup reinforcement (KJ column) in each variation of the quality of concrete jackets. It made 3 column for each type of treatment. The core column has a square shape with dimensions 80 x 80 x 320 mm and a concrete reinforcement jacket is given with dimensions 160 x 160 x 300 mm. The column is given concentric axial load and the shortening is calculated using a dial gauge for every 20 kN load. The results of this study indicate the addition of jacket and stirrup reinforcement concrete can increase axial capacity and column ductility. As for the increase in axial capacity that occurs in the K_{J20} , K_{J25} , K_{J30} column, the K_{25} column is respectively 17.4%; 34.0%; 34.7%. While the axial capacity increase in the K_{Js20} , K_{Js25} , K_{Js30} columns, for the K_{25} column is 54.9%; 62.5%; 71.5%. The reinforcement column with the addition of stirrup reinforcement, has a shorter value and greater axial capacity than the core column and reinforcement column without accompanying the addition of stirrups. The increase in axial capacity that occurs also increases along with the increase in the concrete compressive strength of the jacket which is used as reinforcement.

Keywords: quality variation, axial capacity, concrete jacketing.

PENDAHULUAN

Kolom dan balok adalah komponen utama dalam perencanaan suatu konstruksi gedung, dimana balok akan memikul beban dari pelat lantai, kemudian diteruskan menuju kolom hingga akhirnya beban diterima oleh pondasi. Dari kedua komponen tersebut, kolom memiliki peranan yang lebih penting dalam suatu sistem gedung, hal ini dikarenakan kolom memiliki fungsi sebagai penyangga utama beban aksial tekan vertikal. Pada kenyataan di lapangan, umumnya kolom tidak hanya bertugas menahan beban aksial vertikal, definisi kolom diperluas dengan mencakup juga tugas menahan kombinasi beban aksial dan momen lentur (Dipohusodo, 1996)

Ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada kolom, diantaranya adalah gempa bumi dan alih fungsi gedung. Indonesia merupakan wilayah yang dilalui oleh 3 lempeng besar dunia yang menyebabkan tingginya aktifitas tektonik. Hal ini tentunya berdampak pula pada tingginya risiko kerusakan bangunan yang akan terjadi. Karena beberapa alasan terkadang suatu gedung tidak difungsikan sesuai dengan awal perencanaan. Penambahan beban yang signifikan akibat beralihnya fungsi gedung dan tidak disertai dengan perkuatan komponen struktur juga menjadi faktor terjadinya kegagalan pada kolom.

Untuk mencegah terjadinya keruntuhan pada struktur kolom eksisting, maka perlu dilakukan perkuatan. Jika ditinjau dari segi ekonomis dan kemudahan dalam pengerjaan, *concrete jacketing* adalah metode yang paling tepat untuk diterapkan, melihat biaya perkuatan dengan menggunakan serat karbon, dan pelat baja yang relatif mahal dan juga perlu tenaga ahli dalam penerapannya di lapangan. Sheikh dan Uzumeri (1980) melakukan penelitian terhadap kolom pendek beton berpenampang segi empat yang dikekang dengan sengkang menyimpulkan bahwa pengekangan dapat meningkatkan daktilitas dan kekuatan kolom, semakin besar rasio volumetrik sengkang maka semakin besar juga kemampuan daktilitas kolom. Kapasitas momen lentur pada perkuatan akan bertambah jika adanya tambahan tulangan longitudinal yang menerus pada slab dan diangkur ke pondasi. Pravin and Waghmare (2011) menyatakan bahwa spesifikasi minimum yang harus dipenuhi dalam melakukan perkuatan salah satunya adalah mutu beton jaket harus lebih besar atau sama dari mutu beton *existing*.

Penelitian terkait metode *concrete jacketing* telah dilakukan oleh Teofany dan Sumajow (2015) yang melakukan perkuatan kolom dengan pembesaran dimensi dan menyatakan bahwa metode

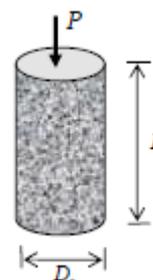
concrete jacketing mampu meningkatkan kapasitas aksial kolom, Primayanti (2018) melakukan perkuatan dengan modifikasi bentuk penampang dari kolom bujur sangkar menjadi kolom silinder dan variasi jarak sengkang dengan jenis tulangan lateral spiral dan menyatakan bahwa semakin dekat jarak antar sengkang akan menambah kapasitas aksial kolom.

Berlandaskan hal diatas, maka topik yang diangkat dalam penelitian ini adalah terkait dengan pengaruh penambahan tulangan lateral dan variasi mutu jaket beton terhadap kapasitas aksial kolom bujur sangkar. Dalam hal ini, kondisi kolom inti belum mengalami kerusakan, atau bisa disebut sebagai perkuatan jenis *strengthening*.

MATERI DAN METODE

Kuat Tekan dan Regangan pada Beton

Sifat yang paling penting dari beton adalah kuat tekan beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk dapat menerima gaya per satuan luas (Mulyono, 2003). Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya apabila kuat tekan beton tinggi, sifat-sifat lainnya juga baik (Tjokrodimulyo, 1996).



Gambar 1. Sampel uji kuat tekan beton silinder
Sumber: eprints.undip.ac.id

Adapun rumus untuk menghitung kuat tekan beton adalah sebagai berikut:

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

f'_c : kuat tekan beton (MPa)

P : beban maksimum (N)

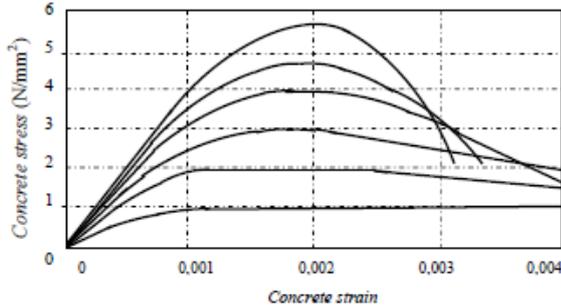
A : luas penampang benda uji (mm²)

Regangan beton saat pembebanan uniaksial dapat diketahui dengan cara mengukur nilai pemendekan arah longitudinal (regangan arah aksial) beton yang terjadi akibat pembebanan aksial, sesuai dengan Persamaan 2.

$$\epsilon_c = \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

Dimana ϵ_c merupakan regangan beton, ΔL merupakan pemendekan arah longitudinal dalam satuan milimeter dan L adalah tinggi silinder beton relatif (jarak antara 2 ring = 200 mm).

Hubungan Tegangan-Regangan Beton



Gambar 2. Hubungan tegangan-regangan beton silinder dengan pembebanan uniaksial
Sumber: Park and Paulay (1975)

Bagian awal dari kurva di Gambar 2 dapat diidealisasikan sebagai garis lurus yang menunjukkan bagian elastis dengan hubungan antara tegangan dan regangan beton masih linier. Selanjutnya kurva akan mencapai titik maksimum pada nilai tegangan karakteristik (f'_c) pada nilai regangan 0,002 untuk beton mutu tinggi dan regangan 0,001 hingga 0,0015 untuk beton mutu rendah. Setelah titik maksimum terlampaui, kurva ini akan menurun lagi hingga benda uji mengalami kehancuran. Dapat dilihat bahwa beton dengan kekuatan rendah memiliki gambaran kurva lebih datar dan regangan pada saat tercapainya tegangan puncak lebih rendah dibandingkan beton dengan kekuatan tekan lebih tinggi (Park and Paulay, 1975).

Hubungan tegangan-regangan beton tersebut dapat dinyatakan melalui persamaan Hognestad, yaitu:

$$\sigma_c = f'_c \left[\left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c'}} \right) - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_c} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Keterangan

- ϵ_c : Regangan tekan beton
- $\epsilon_{c'}$: Regangan tekan beton pada tekanan f_c'
- σ_c : Tegangan tekan beton pada regangan ϵ_c
- f'_c : Kuat tekan uniaksial beton

Kolom dengan Pengikat Tulangan Lateral

Tulangan pengikat lateral berfungsi untuk memegang tulangan pokok memanjang agar tetap kokoh di tempatnya, dan memberikan tumpuan lateral sehingga masing-masing tulangan memanjang hanya dapat tertekuk pada tempat di

antara dua pengikat. Adapun syarat yang digunakan dalam merencanakan tulangan sengkang menurut SNI 03-2847-2013 adalah ukuran tulangan lateral pada kolom menurut pasal 7.10.5.1

- a. $D \geq 10$ mm jika D longitudinal ≤ 32 mm
- b. $D \geq 13$ mm jika D longitudinal ≥ 36 mm
- c. $D \geq 13$ mm jika tulangan longitudinal dibundel

Sedangkan syarat spasi tulangan transversal komponen struktur yang menerima kombinasi lentur dan beban aksial pada sistem rangka pemikul momen khusus sesuai SNI 03-2847-2013, pasal 21.6 adalah

- a. $\frac{1}{4} x d$
- b. Enam kali diameter tulangan longitudinal.
- c. S_o yang dihitung dengan:
$$S_o = 100 + \frac{350 - hx}{3}$$
- d. Nilai s_o dari persamaan di atas tidak boleh lebih besar dari 150 mm dan tidak boleh kurang dari 100

Rasio Volumetrik

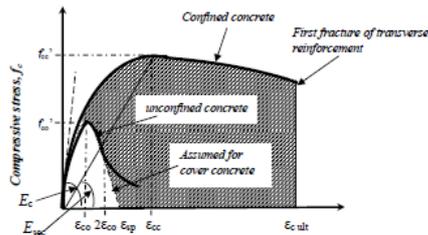
Sheikh dan Uzumeri (1980) menyebutkan semakin besar rasio volumetrik sengkang maka daktilitas dan kemampuan kolom dalam memikul beban semakin meningkat. Untuk bisa mendapatkan rasio volumetrik yang sama namun meningkatkan kemampuan daktilitas kolom dapat dilakukan dengan cara mengurangi jarak sengkang dibarengi dengan pengurangan kekakuan tulangan sengkang dengan cara memilih diameter tulangan yang lebih kecil. Adapun volumetrik rasio dapat dirumuskan pada persamaan 4.

$$\rho_s = \frac{A_s \cdot 2 \cdot (p + l)}{p \cdot l \cdot s} \times 100\% \quad (4)$$

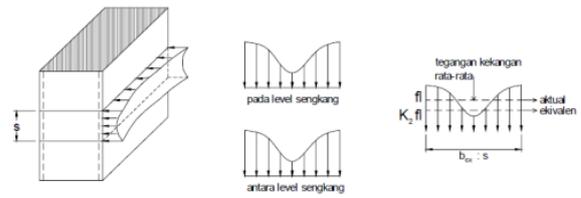
- ρ_s : rasio volumetrik sengkang
- A_s : luas penampang tulangan sengkang
- p : panjang penampang inti beton terkekang
- l : lebar penampang inti beton terkekang
- s : jarak antar sengkang dari as ke as sengkang

Teori Pengekangan Kolom

Daktilitas menunjukkan kemampuan struktur dalam menahan pengaruh deformasi akibat kondisi pembebanan yang berlebihan. Pengaruh sengkang yang berfungsi sebagai pengekan beton dapat memberikan peningkatan daktilitas. Perilaku daktil dari kolom dengan beban aksial sentris dapat dilihat dari diagram hubungan antara tegangan dengan regangan yang terjadi seperti pada Gambar 3.

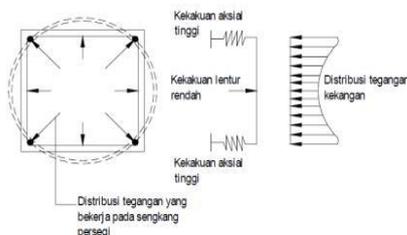


Gambar 3. Tegangan-regangan untuk beton yang terkekang dan tidak terkekang
Sumber: Mander et al. (1988)

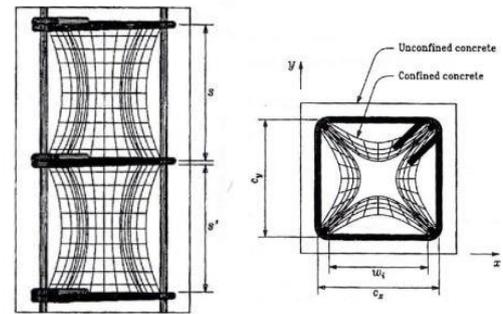


Gambar 5. Distribusi tegangan kekangan dalam arah lateral dan longitudinal
Sumber: Kurniansyah, dkk (2013)

Beberapa peneliti menggunakan pendekatan tegangan lateral ekuivalen dengan konsep tegangan kekangan pasif yang sangat bergantung pada tahanan (*restraining force*) tulangan sengkang (Mander et al. 1988). Pada sudut sengkang yang berfungsi sebagai daerah tumpuan memiliki nilai tahanan yang tinggi dan menurun pada lokasi yang menjauh pada sudut sengkang (tumpuan) sesuai dengan kekakuan lentur sengkang dan spasi antar tumpuan serta luasan penampang dan kekuatan sengkang. Jadi, penurunan nilai *restraining force* ini sebanding dengan jaraknya terhadap titik-titik tumpuan sengkang. Berdasarkan konsep *restraining force* tersebut, distribusi tegangan kekangan yang timbul pada kolom yang diberi sengkang persegi dapat dimodelkan sebagai tegangan yang tidak merata dengan distribusi tegangan merupakan fungsi dari konfigurasi tulangan sengkang, seperti diilustrasikan pada Gambar 3. Pada arah longitudinal kolom, distribusi tegangan kekangan pun diasumsikan berperilaku sama sedemikian hingga pada tulangan sengkang. Gaya yang timbul lebih besar daripada gaya kekangan yang timbul pada daerah yang letaknya jauh dari tulangan sengkang seperti terlihat pada Gambar 4. menurut Sheikh dan Uzumeri (dalam Kurniansyah, 2013) 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 5.



Gambar 4. Bentuk distribusi tegangan kekangan pada sengkang persegi
Sumber: Kurniansyah, dkk (2013)



Gambar 6. Arching Action pada beton terkekang
Sumber: Kurniansyah, dkk (2013)

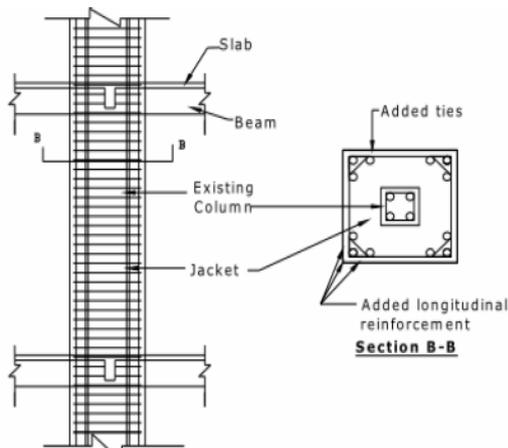
Perkuatan Kolom

Jacketing adalah metode yang paling populer digunakan untuk memperkuat kolom bangunan. Adapun jenis jacketing yang sering dijumpai adalah *steel jacketing*, *concrete jacketing*, dan polimer komposit yang diperkuat dengan serat dengan bahan tegangan tinggi seperti serat karbon dan serat fiber. Tujuan utama dari *jacketing* adalah

1. Untuk meningkatkan pengekanan pada beton
2. Untuk meningkatkan kekuatan geser
3. Untuk meningkatkan kekuatan lentur dengan penguatan serat longitudinal yang diberikan. Serat harus dipasang mengelilingi tulangan longitudinal dengan cara ditumpuk ataupun di las guna meningkatkan pengekanan pada beton dan memberikan kekuatan geser. Penggunaan metode ini sama halnya dengan memberikan tulangan spiral pada beton, yang akan memberikan efek kekang lebih baik daripada tulangan sengkang berbentuk bujur sangkar atau segi empat. Tulangan lateral tidak memberikan dampak pada kuat lentur kolom melainkan hanya sebagai pengekanan beton (Pravin and Waghmare, 2011).

Perkuatan kolom terdiri dari penambahan beton dengan penguatan tulangan kearah transversal maupun longitudinal di sekitar kolom yang ada. Penguatan ini meningkatkan kekuatan kolom aksial dan geser sementara tidak memberikan efek untuk kekuatan sambungan balok kolom. Kapasitas momen lentur akan bertambah jika adanya tambahan tulangan longitudinal yang menerus pada slab dan

diangkur ke pondasi, seperti yang ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Konstruksi untuk perkuatan kolom
Sumber: Pravin and Waghmare (2011)

Pemilihan Bahan

Pemilihan jenis dan sumber material perlu dilakukan guna mendapatkan kualitas material yang baik seperti halnya kadar lumpur yang minim dan juga ukuran agregat yang sesuai kebutuhan. Kualitas material yang baik akan meminimalisir melencengnya hasil kuat tekan beton dari kuat tekan yang direncanakan. Adapun jenis material dan sumbernya dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1 Jenis dan sumber material yang digunakan

No	Jenis material	Sumber material
1.	Semen PPC	Distributor bahan dan bangunan di Bukit Jimbaran.
2.	Agregat Halus	Pasir dari Benoa
3.	Agregat Kasar	Batu pecah yang bersumber dari Karangasem
4.	Air	Air PDAM di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran.
5	Tulangan polos diameter 6 mm	Distributor bahan dan bangunan di bukit jimbaran

Rencana Jumlah dan Dimensi Benda Uji

Benda uji yang dibuat dalam penelitian ini adalah kolom bujur sangkar dengan dimensi 80 mm x 80 mm x 320 mm (p x l x t) sebagai kolom inti dengan kuat tekan beton yang digunakan adalah f'_c 25 MPa. Untuk perkuatan, maka kuat tekan beton dibuat bervariasi mulai dari f'_c 20 MPa, f'_c 25 MPa, dan f'_c 30 MPa dengan dimensi 160 mm x 160 mm x 300 mm (p x l x t) dan diberikan tulangan sengkang dengan diameter Ø6. Untuk setiap benda uji dengan

perlakuan yang berbeda, dibuat benda uji masing-masing sebanyak 3 buah. Adapun jumlah dan dimensi benda uji yang dikerjakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rancangan benda uji

Perlakuan Kolom	Dimensi Kolom Inti (mm)	Dimensi Perkuatan (mm)	Jumlah Benda uji
K ₂₅	80 x 80 x 320	-	3
K _{J20} (Kuat tekan beton jaket 20 MPa non sengkang)	80 x 80 x 320	160 x 160 x 300	3
K _{J25} (Kuat tekan beton jaket 25 MPa non sengkang)	80 x 80 x 320	160 x 160 x 300	3
K _{J30} (Kuat tekan beton jaket 30 MPa non sengkang)	80 x 80 x 320	160 x 160 x 300	3
K _{Js20} (kuat tekan beton jaket 20 MPa dengan sengkang)	80 x 80 x 320	160 x 160 x 300	3
K _{Js25} (Kuat tekan beton jaket 25 MPa dengan sengkang)	80 x 80 x 320	160 x 160 x 300	3
K _{Js30} (Kuat tekan beton jaket 30 MPa dengan sengkang)	80 x 80 x 320	160 x 160 x 300	3

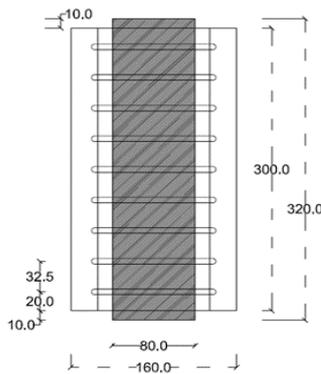
Rencana Tulangan

Jenis tulangan yang digunakan untuk perkuatan adalah tulangan sengkang dengan diameter Ø6. Tulangan sengkang akan dibentuk dengan dimensi (pxl) 12 mm x 12 mm dan diberi kawat untuk menggantikan posisi dari tulangan longitudinal yang berperan untuk mengikat tulangan sengkang. Adapun jarak sengkang yang digunakan adalah:

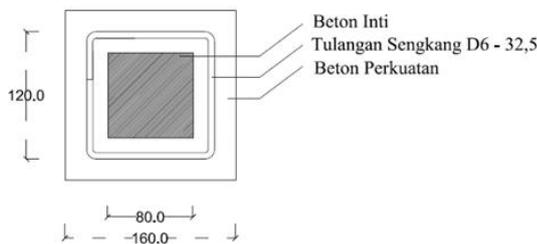
$$\begin{aligned}
 S &= \frac{1}{4} \times d \\
 &= \frac{1}{4} \times (160 - 20 - \frac{1}{2} \times 6) \\
 &= 34,25
 \end{aligned}$$

Untuk mempermudah pengerjaan maka jarak sengkang dibuat menjadi 32,5 mm, sehingga terdapat 9 tulangan sengkang pada kolom. Panjang lebih kait tulangan sengkang dengan bengkokan 90° untuk ukuran besi < D16 yakni:

$$\begin{aligned}
 6d_b &= 6 \times 6 \\
 &= 36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Dimensi dan penulangan benda uji dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Rencana dimensi dan tulangan benda uji kolom

Pengujian Kuat Tekan Kolom

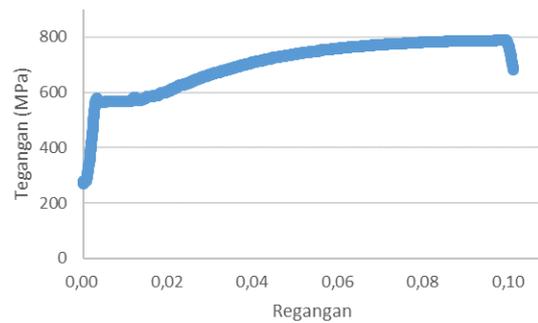
Pengujian dilakukan terhadap benda uji kolom yang diberikan perkuatan dan juga kolom tanpa diberikan perkuatan. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan mesin tekan kapasitas 2000 kN. Benda uji diberi alat pengukur perpindahan yang sudah dilengkapi dengan jarum penunjuk, selanjutnya benda uji tersebut diset pada mesin uji tekan, dengan posisi jarum sama dengan nol saat piston menyentuh permukaan benda uji.

Setelah semuanya siap, mesin tekan mulai dijalankan. Pada tiap interval 20 kN, dilakukan pembacaan pada jarum penunjuk perpindahan dan dicatat sampai pada beban ultimit, sehingga didapat nilai kuat tekannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik tulangan dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Bali dengan benda uji tulangan Ø6. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh diameter tulangan 5,63 mm, luas penampang 23,92 mm², panjang awal 520 mm, panjang akhir 567 mm, tegangan leleh 547,9 MPa dan tegangan tarik batas 765,17 MPa. Hasil pengujian tersebut ditampilkan dalam grafik pada Gambar 9.



Gambar 9. Hubungan Tegangan - Regangan Baja

Baja dapat berdeformasi elastis sampai batas tegangan lelehnya sebesar 547,9 MPa dan mulai runtuh pada tegangan ultimit 765,17 MPa seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Menurut ASTM A615M tulangan yang digunakan sebagai sengkang dalam benda uji kolom termasuk jenis tulangan grade 520 yang mempunyai tegangan leleh dan tegangan ultimit berturut-turut sebesar 520 dan 790 MPa.

Rasio Volumetrik

Berdasarkan rancangan tulangan sengkang dan dimensi benda uji kolom dapat dicari nilai rasio volumetrik dengan menggunakan persamaan 5 sebagai berikut.

$$\rho_s = \frac{A_s \cdot 2 \cdot (p+l)}{p \cdot l \cdot s} \times 100\% = \frac{0,24 \times 2 \times (12+12)}{12 \cdot 12 \cdot 3,25} \times 100\% = 2,4\% \tag{5}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan rasio volumetrik sebesar 2,4% untuk seluruh benda uji kolom yang disertai dengan penambahan tulangan sengkang.

Berat Volume Kolom

Berat volume untuk setiap perlakuan kolom yang berbeda ditampilkan pada Tabel 3. Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa berat volume rata-rata kolom Inti adalah 2285 kg/m³, sedangkan untuk kolom yang diberi jaket beton tanpa sengkang (K_J) dengan kuat tekan beton jaket 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa secara berturut-turut memiliki rata-rata berat volume yakni 2170 kg/m³, 2189 kg/m³, 2195 kg/m³. Berat volume bertambah seiring dengan meningkatnya kuat tekan rencana jaket beton. Sementara itu, untuk kolom yang diberi perkuatan jaket beton disertai penambahan sengkang (K_{Js}) dengan kuat tekan beton jaket 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa, secara berturut-turut memiliki rata-rata berat volume yakni 2283 kg/m³, 2299 kg/m³, 2276 kg/m³. Berdasarkan data pada Tabel 3, volume pada kolom K_{Js30} cenderung lebih besar dibandingkan dengan K_{Js20} dan K_{Js25} yang berpengaruh pada kecilnya nilai berat volume kolom, sehingga berat

volume rata-rata tidak selalu bertambah seiring dengan meningkatnya kuat tekan rencana.

Tabel 3. Berat Volume Kolom

Kode Benda Uji	Massa Kolom (kg)	Volume Kolom (m ³)	Berat Volume Kg/m ³	Berat Volume Rata-Rata
K ₂₅ I	4,64	0,00210	2266	2285
K ₂₅ II	4,69	0,00210	2293	
K ₂₅ III	4,70	0,00210	2295	
K _{j20} I	16,98	0,00777	2185	2170
K _{j20} II	16,83	0,00776	2169	
K _{j20} III	17,03	0,00789	2157	
K _{j25} I	17,32	0,00783	2213	2189
K _{j25} II	17,02	0,00783	2174	
K _{j25} III	17,04	0,00781	2180	
K _{j30} I	17,20	0,00786	2189	2195
K _{j30} II	16,97	0,00771	2200	
K _{j30} III	16,97	0,00772	2196	
K _{js20} I	17,58	0,00766	2294	2283
K _{js20} II	17,66	0,00779	2268	
K _{js20} III	17,82	0,00779	2289	
K _{js25} I	17,94	0,00772	2312	2299
K _{js25} II	17,64	0,00773	2282	
K _{js25} III	17,96	0,00783	2293	
K _{js30} I	17,73	0,00775	2289	2276
K _{js30} II	17,82	0,00783	2275	
K _{js30} III	17,76	0,00784	2265	

Pengujian Kuat tekan Silinder (Konsistensi)

Adapun hasil pengujian kuat tekan benda uji silinder untuk setiap dilakukannya pengecoran dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji kuat tekan silinder

Nama	Kode	Beban P (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata (MPa)
Silinder Kolom K ₂₅ untuk jaket 20 MPa	1	665	37,65	38,08
	2	680	38,50	
Silinder Kolom K ₂₅ untuk jaket 25 MPa	1	650	36,80	35,10
	2	590	33,40	
Silinder Kolom K ₂₅ untuk jaket 30 MPa	1	680	38,50	40,63
	2	755	42,75	
Silinder Untuk Jaket 20 MPa	1	545	30,85	32,08
	2	545	30,85	
	3	610	34,53	
Silinder Untuk Jaket 25 MPa	1	645	36,51	37,27
	2	665	37,65	
	3	665	37,65	
Silinder Untuk Jaket 30 MPa	1	730	41,33	41,51
	2	770	43,59	
	3	700	39,63	

Dari Tabel 4 dapat diketahui bahwa benda uji silinder yang dibuat untuk memastikan kuat tekan kolom inti (*core*) sudah memenuhi kuat tekan rencana 25 MPa dengan kuat tekan rata-rata 38,08 MPa; 35,10 MPa; 40,63 MPa. Perhitungan dilakukan untuk 2 benda uji silinder pada pengujian mutu kolom inti.

Kuat tekan silinder untuk perkuatan kolom dengan kuat tekan rencana 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa mendapatkan hasil rata-rata berturut-turut 32,08 MPa; 37,27 MPa; 41,51 MPa. Nilai kuat tekan, rata-rata bertambah sebesar 11 MPa sesuai dengan margin pada rancangan campuran (*Mix Design*).

Pengujian Kuat Tekan Kolom

Adapun hasil pengujian kuat tekan (kapasitas aksial) kolom untuk setiap perlakuan yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji kuat tekan (kapasitas) kolom

Kode Benda Uji	Beban P (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
K ₂₅ I	230	35,9	37,50
K ₂₅ II	250	39,1	
K ₂₅ III	240	37,5	
K _{J20} I	260	40,6	44,0
K _{J20} II	285	44,5	
K _{J20} III	300	46,9	
K _{J25} I	330	51,6	50,3
K _{J25} II	325	50,8	
K _{J25} III	310	48,4	
K _{J30} I	350	50,0	50,5
K _{J30} II	350	48,4	
K _{J30} III	360	53,1	
K _{Js20} I	375	58,6	58,1
K _{Js20} II	370	57,8	
K _{Js20} III	370	57,8	
K _{Js25} I	380	59,4	60,9
K _{Js25} II	380	59,4	
K _{Js25} III	410	64,1	
K _{Js30} I	430	67,2	64,3
K _{Js30} II	395	61,7	
K _{Js30} III	410	64,1	

Pada Tabel 5 dapat diketahui bahwa kolom yang memberikan rata-rata nilai kapasitas tertinggi adalah kolom dengan mutu jaket beton 30 MPa yang disertai penambahan tulangan sengkang. Sedangkan untuk kolom dengan mutu jaket beton 25 MPa dan mutu jaket beton 30 MPa tanpa penambahan tulangan sengkang memiliki nilai yang hampir sama yakni 50,3 MPa dan 50,5 MPa. Secara keseluruhan terjadi peningkatan kapasitas kolom seiring bertambahnya kuat tekan jaket yang menyelimuti kolom inti.

Tabel 6. Peningkatan kapasitas aksial kolom

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Rerata (MPa)	Peningkatan Kapasitas (%)						
		K ₂₅	K _{J20}	K _{J25}	K _{J30}	K _{Js20}	K _{Js25}	K _{Js30}
K ₂₅	37,5	-	-	-	-	-	-	-
K _{J20}	44,0	17,4	-	-	-	-	-	-
K _{J25}	50,3	34,0	14,2	-	-	-	-	-
K _{J30}	50,5	34,7	14,8	0,5	-	-	-	-
K _{Js20}	58,1	54,9	32,0	15,5	14,9	-	-	-
K _{Js25}	60,9	62,5	38,5	21,2	20,6	4,9	-	-
K _{Js30}	64,3	71,5	46,2	28,0	27,3	10,8	5,6	-

Dari Tabel 6 dapat diketahui bahwa perkuatan dengan metode *concrete jacketing* disertai penambahan tulangan sengkang mampu meningkatkan kapasitas aksial kolom. Nilai kapasitas aksial kolom K_J dengan mutu 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa meningkat terhadap kolom K₂₅ secara berturut-turut sebesar 17,4%; 34,0%; 34,7%. Nilai kapasitas aksial kolom K_{Js} dengan kuat tekan jaket beton 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa mengalami peningkatan terhadap kolom K₂₅ secara berturut-turut sebesar 54,9%; 62,5%; 71,5%. Kapasitas aksial meningkat seiring bertambahnya kuat tekan jaket beton.

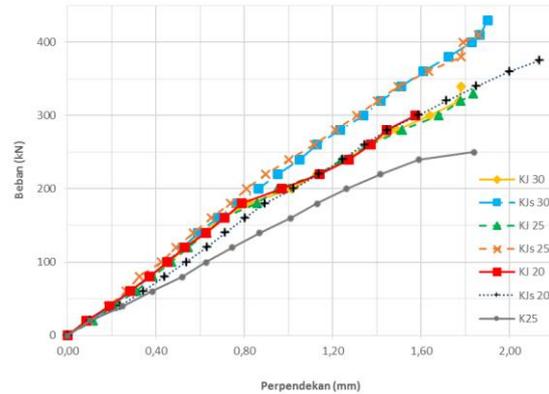
Adapun peningkatan kapasitas aksial yang terjadi pada kolom dengan penambahan sengkang (K_{Js}) terhadap kolom tanpa penambahan sengkang (K_J) pada masing-masing variasi mutu beton jaket adalah kolom K_{Js} 20 meningkat 32,0% terhadap kolom K_J 20, kolom K_{Js} 25 meningkat 21,2% terhadap kolom K_J 25, kolom K_{Js} 30 meningkat 27,3% terhadap kolom K_J 30. Melalui Tabel 6 dapat diketahui bahwa kolom K_J terjadi peningkatan kapasitas rata-rata 7,35 % pada setiap peningkatan kuat tekan beton jaket, sedangkan untuk kolom K_{Js} mengalami peningkatan kapasitas rata-rata sebesar 5,24% pada setiap peningkatan kuat tekan jaket beton.

Hubungan Beban - Perpendekan Kolom

Hubungan antara beban dengan perpendekan kolom serta nilai rata-rata perpendekan ultimit kolom ditampilkan pada Tabel 7 dan Gambar 10.

Tabel 7. Nilai rata-rata beban – perpendekan ultimit kolom

Kode Kolom	Beban Ultimit Rata-Rata	Perpendekan Ultimit Rata-Rata
K25	250	1,84
KJ20	300	1,58
KJ25	330	1,84
KJ30	340	1,78
KJs20	375	2,13
KJs25	410	1,86
KJs30	430	1,90

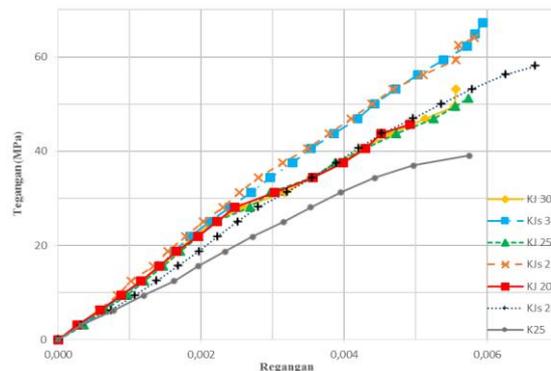


Gambar 10. Hubungan Beban – Perpendekan Kolom

Berdasarkan Gambar 10 dan Tabel 6, dapat dilihat bahwa terjadinya peningkatan kapasitas aksial antara kolom K₂₅ dengan kolom K_J. Sedangkan nilai perpendekan relatif sama untuk kolom K₂₅ dan kolom K_J karena kedua kolom tersebut memiliki berat jenis yang relatif sama untuk beton normal. Beton ringan dengan berat jenis rendah memiliki nilai perpendekan yang lebih besar daripada beton normal yang berat jenisnya tinggi, hal ini dikarenakan beton dengan berat jenis yang tinggi cenderung memiliki kuat tekan yang tinggi sehingga bersifat getas.

Dapat diamati juga bahwa terjadinya peningkatan nilai beban-perpendekan pada kolom K_{Js} terhadap kolom K₂₅ dan K_J. Hal ini dikarenakan penambahan tulangan sengkang mampu meningkatkan daktilitas kolom yang berdampak pada meningkatnya kemampuan kolom dalam menerima beban dan mengalami perpendekan. Peningkatan beban juga terjadi seiring dengan meningkatnya kuat tekan jaket beton pada kolom K_J dan K_{Js}. Sedangkan nilai perpendekan paling besar pada kolom K_{Js} terjadi pada kolom K_{Js20} yang membuktikan bahwa kolom dengan kuat tekan lebih rendah memiliki sifat lebih lentur.

Hubungan Tegangan – Regangan Kolom



Gambar 11. Hubungan Tegangan – Regangan Kolom

Tabel 8. Nilai rata-rata tegangan – regangan ultimit kolom

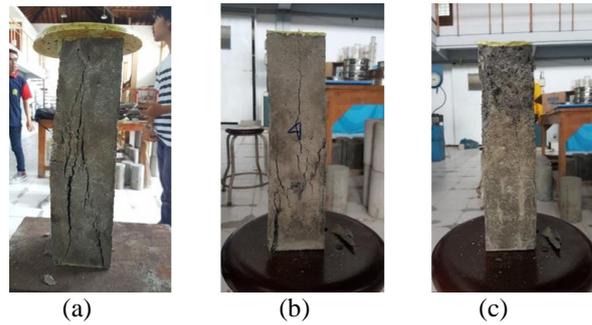
Kode Kolom	Tegangan Ultimit	Regangan Ultimit
	Rata-Rata	Rata-Rata
K25	39,06	0,0058
KJ20	45,70	0,0049
KJ25	51,17	0,0057
KJ30	53,13	0,0056
KJs20	58,07	0,0067
KJs25	64,06	0,0058
KJs30	67,19	0,0059

Berdasarkan Gambar 11 dan Tabel 8 dapat dilihat bahwa kolom K_J memiliki nilai tegangan yang cenderung meningkat seiring bertambahnya kuat tekan jacket beton. Untuk regangan, kolom K_{25} dan K_J memiliki nilai regangan yang relatif sama, hal ini dikarenakan berat jenis beton yang relatif sama untuk jenis beton normal. Jika ditinjau pada setiap jenis kolom, dapat dilihat cenderung terjadinya peningkatan regangan pada kolom yang memiliki kuat tekan lebih rendah. Sama halnya dengan hubungan beban-perpendekan, kuat tekan beton yang rendah memiliki nilai regangan yang lebih besar dari beton dengan kuat tekan tinggi yang bersifat lebih getas. dapat dilihat juga terjadinya peningkatan nilai tegangan-regangan pada kolom K_{Js} terhadap kolom K_{25} dan K_J . Hal ini dikarenakan adanya efek pengekanan yang diberikan oleh tulangan sengkang, sehingga menambah daktilitas kolom. Adapun efek pengekanan tersebut timbul dari kemampuan tulangan yang bersifat daktil dan kemampuan beton yang kuat dalam menerima tekan sehingga menjadikan kolom K_{Js} sebagai suatu komponen komposit, yang mampu meningkatkan nilai tegangan dan regangannya. Peningkatan nilai tegangan juga terjadi seiring bertambahnya kuat tekan jacket beton pada kolom K_{Js} .

Mode Keruntuhan Kolom

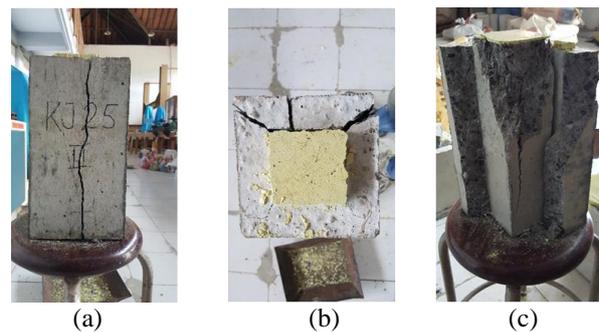
Mode keruntuhan pada kolom K25 diawali dengan adanya retak rambut pada permukaan kolom bagian atas, dan pada kondisi lain retak rambut juga mulai terlihat dari bagian bawah kolom. Seiring bertambahnya beban, retak bertambah panjang hingga mencapai bagian bawah kolom. Untuk mode keruntuhan yang sempurna, bagian yang letak kehancuran paling tinggi terjadi pada bagian tengah kolom, hal ini dikarenakan kolom tertekan melalui dua sisi yakni sisi atas dan sisi bawah sehingga terjadinya efek poisson dimana deformasi tidak hanya terjadi pada tinggi kolom, namun juga terjadi deformasi arah lateral (mengalami

pemuaiian/ekspansi) yang dapat dilihat pada bagian tengah kolom (Gambar 12).



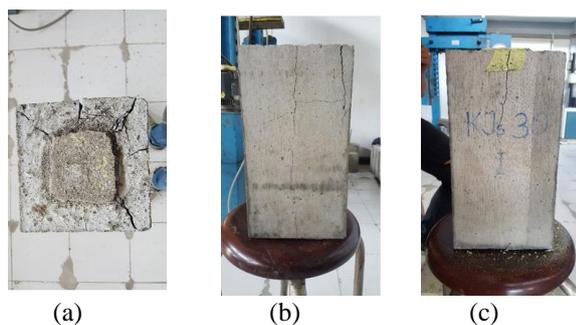
Gambar 12. Mode keruntuhan kolom K25

Beberapa benda uji lain, saat mencapai beban ultimit, kolom hanya mengalami kehancuran pada sisi atas (Gambar 12 c) hal ini dikarenakan permukaan kolom tidak merata akibat capping yang kurang baik, sehingga saat pembebanan dilakukan permukaan tidak tersentuh secara merata. Sementara itu, mode keruntuhan kolom K_J diawali dengan terjadinya retak rambut pada sisi atas kolom, yang ditampilkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Mode keruntuhan kolom KJ

Keretakan awal bervariasi mulai dari sisi diagonal perkuatan adapun yang dimulai pada bagian tengah perkuatan. Seiring bertambahnya beban, retak terjadi secara menerus hingga ke sisi bawah perkuatan, hingga sampai pada batas ultimit yang ditandai dengan terbelahnya jacket beton. Kecenderungan membelahnya jacket beton adalah pada sisi diagonal (Gambar 13 b) dan juga sisi tengah kolom (Gambar 13 a). Selain terbelahnya jacket beton, saat mencapai kondisi runtuh pada beberapa benda uji mengakibatkan terlepasnya jacket beton dari inti kolom. Hal ini dikarenakan ratanya permukaan inti kolom sehingga antara inti kolom dan jacket beton tidak menyatu dengan baik, permukaan kolom inti yang rata juga memberikan gaya gesek yang kecil terhadap jacket beton



Gambar 14. Mode keruntuhan kolom KJs

Mode keruntuhan kolom K_{Js} juga memberikan perlakuan yang sama pada kolom K_{25} dan K_J yakni diawali dengan terjadinya retak rambut pada sisi atas kolom. Retak rambut terjadi pada sisi diagonal dan juga sisi tengah jaket beton (Gambar 14 a). Saat mencapai beban ultimit, retak menjalar ke sisi bawah jaket beton, namun retak yang terjadi hanya sampai pada bagian tengah kolom saja (Gambar 14 c). Hal ini dikarenakan tulangan sengkang memiliki peran dalam memberikan efek pengekan terhadap deformasi kolom inti, sehingga antara kolom inti dan jaket beton tidak terlepas seperti halnya pada kolom K_J .

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya:

1. Penambahan kuat tekan dari jaket beton, serta tulangan sengkang dapat meningkatkan kapasitas aksial dan daktilitas kolom. Adapun peningkatan kapasitas aksial yang terjadi pada kolom K_{J20} , K_{J25} , K_{J30} , terhadap kolom K_{25} berturut-turut adalah sebesar 17,4%; 34,0%; 34,7%. Sedangkan peningkatan kapasitas aksial kolom K_{Js20} , K_{Js25} , K_{Js30} , terhadap kolom K_{25} berturut-turut sebesar 54,9%; 62,5%; 71,5%.
2. Kolom dengan perkuatan jaket beton disertai penambahan tulangan sengkang mampu menerima beban dan juga mengalami deformasi yang paling besar dari kolom K_{25} maupun K_J .
3. Mode keruntuhan kolom Inti (K_{25}) ditandai dengan terjadinya retak rambut hingga pada bagian bawah kolom, mode keruntuhan kolom perkuatan tanpa sengkang (K_J) dan kolom perkuatan dengan sengkang (K_{Js}) memiliki pola yang sama yakni adanya retak pada sisi diagonal dan sisi tengah kolom, namun jaket beton kolom K_J terlepas dari inti kolom sedangkan kolom K_{Js} hanya mengalami retak hingga bagian tengah kolom

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2013. SNI 2847:2013: *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Dipohusodo, I. 1996. *Struktur Beton Bertulang*, Cetakan Ketiga, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Kurniansyah, A., Elvira dan M. Yusuf. 2013. *Pengaruh Pengekan (Confinement) Dengan Variasi Jarak Sengkang Terhadap Peningkatan Kapasitas Kekuatan Kolom*. Prodi Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- Mander, J. B., Priestly, M. J. N., dan Park, R. 1988. *Theoretical Stress-Strain Mode for Confined Concrete*. Journal of Structural Engineering, ASCE. 114(8), 1804-1825.
- Mulyono, T. 2003. *Teknologi Beton*. Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
- Park, R., dan Paulay, T. 1975. *Reinforced Concrete Structures*. USA: John Wiley and Sons Inc.
- Primayanti, I G.A. 2018. *Pengaruh Jarak Sengkang dan Modifikasi Bentuk Penampang Terhadap Kapasitas Aksial Kolom*. (Tugas Akhir yang tidak dipublikasikan, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, 2018).
- Teofany, J. dan Sumajouw, M. 2015. *Evaluasi Kapasitas Kolom Beton Bertulang yang diperkuat dengan Metode Concrete Jacketing*. Jurnal Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado 3, 3.
- Tjokrodinuljo, K., 1996. *Teknologi Beton*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Pravin, S. and Waghmare, B. 2011. *Materials and Jacketing Technique for Retrofitting of Structures*. Acharya Shrimannarayan Polytechnic.
- Sheikh, S. A. and Uzmeri, S. M. (1980). "Strength and ductility of tied concrete columns." ASCE Journal of Structural Division, 106 (5), 1079-1102.