

## DISIPASI ENERGI PADA KOLOM DIJACKETING DENGAN WIRE MESH DAN SELF COMPACTING CONCRETE AKIBAT BEBAN SIKLIK

Hence Michael Wuaten<sup>1\*)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945, Samarinda, Kalimantan Timur

### Abstract

In structures located in earthquake-prone parts, energy dissipation capacity is one of the criteria that must be achieved by the structure. For old structures or built long before earthquake regulations were introduced, it becomes very vulnerable to earthquakes, so it necessitates to be anticipated to prevent collapse, and one method that can be done is by jacketing. In this subject field, testing was conducted using a cyclic load on a reinforced concrete square column measuring 300 mm x 300 mm, which jacketing using wire mesh and self-compacting concrete. From the test results, it was found that in specimens jacketed with M6 wire mesh and self-compacting concrete experienced an increase in accumulative energy dissipation by 23.32% with a relatively minor loss of strength.

**Key Words:** *column, cyclic load, energy dissipation, jacketing.*

### 1. PENDAHULUAN.

Gempa bumi adalah bencana alam yang belum dapat diperkirakan baik waktu dan lokasi kejadian dimana gempa akan terjadi, serta berapa besar energi potensial yang dilepaskan akibat fenomena alam tersebut. Gempa bumi yang bersifat merusak, mayoritas disebabkan oleh aktifitas dan pergerakan dari pelat tektonik atau yang disebut gempa tektonik. Sebagai negara yang terletak pada pertemuan pelat tektonik dan daerah seismik berisiko tinggi, hampir 80% dari wilayah Indonesia merupakan wilayah rawan gempa (Naryanto, 2008).

Gempa bumi tektonik dangkal merupakan bencana alam yang sering menimbulkan korban jiwa, dimana sebagian besar korban disebabkan oleh kegagalan atau kerusakan bangunan pada saat terjadi gempa bumi. Menurut Seible, dkk. (1997), salah satu jenis kerusakan pada elemen struktural yang harus dihindari pada saat terjadinya gempa adalah kerusakan pada kolom, karena keruntuhan kolom akan menyebabkan keruntuhan sebagian atau keruntuhan total pada struktur tersebut. Menurut Parung (2012), bahwa gempa bumi dapat menyebabkan terjadinya kerusakan yang bersifat non struktural hingga kerusakan berat, dimana perbedaan kerusakan yang dihasilkan pada struktur sangat dipengaruhi oleh besar energi gempa yang dilepaskan, massa dan kekakuan struktur, periode getar alami struktur dan kapasitas struktur untuk menyerap dan menyalurkan energi gempa tersebut. Menurut Macdonald (2008), pada elemen struktur yang terbuat dari beton struktural, bagian yang mengalami kerusakan akibat gempa dapat diperbaiki dengan struktur baru, dengan catatan bahwa

kerusakan yang terjadi merupakan kerusakan ringan. Menurut Tsonos (1999), pada bangunan-bangunan tua yang dibangun pada periode tahun 1960 sampai dengan 1970 atau bangunan yang tidak didesain berdasarkan standar dan beban gempa, gempa bumi dapat menyebabkan kerusakan yang berpotensi terjadinya kegagalan bangunan, hal tersebut karena pada bangunan yang dibangun pada era tersebut memiliki kelemahan pada desainnya, yaitu belum mengakomodir pengaruh beban lateral secara khusus dan memiliki daktilitas yang rendah. Menurut Abdullah dan Takiguchi (2003), salah satu bentuk kerusakan yang terjadi pada struktur kolom beton bertulang yang dibangun sebelum tahun 1980 adalah kerusakan geser yang bersifat getas dan lokasi terjadinya kerusakan berada pada area atau daerah perkiraan sendi plastis kolom yang penulangan atau pengekangannya tidak begitu baik. Selain itu, kerusakan juga terjadi di daerah sambungan lewatan tulangan kolom yang tidak dipasang dengan pendetailan yang baik.

Pada bangunan-bangunan tua atau bangunan yang didesain dengan menggunakan standar lama seperti SNI 1726:2002 dan SNI 1726:2012, yang didasarkan pada Peta Gempa Nasional Tahun 2010 dan dianggap memiliki kekurangan pada data observasi, menjadikan bangunan tersebut rawan terhadap kerusakan dan kegagalan bangunan apabila terjadi gempa bumi melebihi kapasitas dari bangunan tersebut. Sementara itu, standar yang berlaku saat ini adalah SNI 1726:2019 yang disusun berdasarkan Peta Gempa Nasional Tahun 2017, sehingga untuk mengatasi hal tersebut, salah satu upaya yang dapat dilakukan dengan cara perkuatan

(*strengthening*) pada elemen struktur yang ada, menggunakan material tambahan seperti dengan memasang jaket (*jacketing*) atau pembungkus beton pada kolom eksisting.

Pada umumnya kebutuhan untuk melakukan renovasi, rehabilitasi atau perbaikan struktur dapat muncul sejak awal tahap konstruksi dan berlangsung sampai akhir umur bangunan. Pada tahap konstruksi perbaikan dan rehabilitasi struktur dapat dilakukan karena pertimbangan telah terjadi kesalahan dalam desain dan terjadi kesalahan dalam pelaksanaan. Pada masa layan selama umur bangunan, perbaikan dan rehabilitasi struktur dilakukan berdasarkan pertimbangan kerusakan struktur akibat gempa bumi, kerusakan struktur akibat kebakaran, kerusakan struktur akibat ledakan, perubahan fungsi beban layan dan kebutuhan untuk menyesuaikan terhadap standar yang berlaku. Menurut beberapa peneliti seperti Ilki, dkk. (2008), Wu, dkk. (2014), Zhou, dkk. (2015) dan Panjehpour, dkk. (2016), menyatakan bahwa pemasangan perkuatan pada komponen struktur eksisting, lebih cenderung didasarkan pada faktor ekonomis dan waktu pelaksanaan perbaikan. Sedangkan menurut Ma, dkk. (2017), penambahan kekangan (*confinement*) pada kolom dapat mengembalikan (*retrofit*) kemampuan kolom dalam memikul beban yang bekerja. Beberapa peneliti lain seperti Stoppenhagen, dkk. (1995), Lehman, dkk. (2001), Lacobucci, dkk. (2003) dan Gu, dkk. (2012), menyatakan bahwa pemasangan atau penambahan kekangan (*confinement*) pada bagian luar kolom, dapat meningkatkan daktilitas dari kolom beton eksisting yang telah mengalami kerusakan sebelumnya.

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian pada kolom eksisting yang dibungkus (*jacketing*) menggunakan kombinasi antara *wire mesh* ukuran M6 dan *self compacting concrete (SCC)* dan salah satu parameter yang dapat dikaji pada struktur yang *dijacking* adalah dengan melihat kemampuannya terhadap disipasi energi yang dihasilkan akibat beban siklik yang bekerja pada spesimen. Adapun pertimbangan pemilihan *wire mesh* sebagai material *jacketing* karena material ini cukup banyak tersedia di pasaran dan dengan harga yang relatif murah, apabila dibandingkan dengan material *jacketing* lainnya. Selain itu, *wire mesh* merupakan material yang tergolong fleksibel sehingga dapat membentuk pola kekangan berbentuk persegi dan untuk pemasangan *wire mesh* dengan jumlah lapis tertentu dapat menghasilkan nilai daktilitas yang cukup tinggi serta dapat meningkatkan kuat geser kolom yang memikul beban siklik (Kadir dkk., 2016). Pemanfaatan *wire mesh* sebagai bahan *jacketing* pada kolom diharapkan dapat menjadi bahan alternatif atau bahan pengganti untuk menggantikan

material jaket yang berbahan dasar fiber, sehingga dapat secara praktis diterapkan dan digunakan untuk bangunan-bangunan publik di daerah pedalaman dengan dengan tingkat potensi dan resiko potensi gempa yang cukup tinggi. Untuk material beton yang digunakan sebagai bahan *jacketing* menggunakan *self compacting*, dengan pertimbangan bahwa material ini memiliki sifat plastis yang dapat mengalir sendiri sehingga tidak memerlukan proses pemadatan, bahan yang dihasilkan dapat lebih seragam dan stabil apabila menggunakan agregat dengan diameter maksimum sebesar 10 mm (Okamura dan Ouchi, 2003), sehingga dapat digunakan sebagai bahan *jacketing*.

Menurut Ma, dkk. (2017), metode perbaikan, retrofit dan perkuatan pada struktur kolom, dapat diklasifikasikan berdasarkan material yang digunakan sebagai bahan *jacketing* yaitu, menggunakan bahan jaket dari beton, menggunakan jaket dari baja, menggunakan bahan jaket dari lapisan *ferrocement*, menggunakan kekangan dari bahan *Fibre Reinforced Polymer* dan menggunakan bahan kombinasi. Dari sekian banyak metode yang dikembangkan untuk keperluan perkuatan dan retrofit struktur, penggunaan jaket beton (*concrete jacketing*) merupakan metode yang pertama kali digunakan untuk mengatasi kerusakan yang terjadi pada elemen beton struktural, dimana metode ini dilakukan dengan cara melapisi bagian elemen struktur yang mengalami kerusakan atau degradasi kekuatan dengan cara menambahkan lapisan penulangan dan beton yang baru sebagai jaket atau kekangan yang dipasang pada bagian luar. Secara umum efektivitas dari penggunaan jaket beton, sangat terkait pada perilaku komposit dari kedua material tersebut dalam membentuk suatu kekangan, sehingga yang perlu diperhatikan dalam metode ini adalah *interface* terhadap antar muka atau bagian permukaan beton eksisting dengan lapisan jaket beton yang baru. Untuk meningkatkan lekatan antara beton eksisting dengan lapisan jaket beton, berbagai material telah dicoba digunakan seperti penggunaan *resin epoxy* dan tambahan konektor baja. Sedangkan untuk mereduksi ketebalan lapisan jaket beton, dapat digunakan beton dengan mutu tinggi dan untuk mengatasi permasalahan pemadatan beton dapat digunakan *short concrete* dan *self compacting concrete* dan sebagai lapisan selimut atau jaket beton.

Menurut Bett, dkk. (1988), Ersoy, dkk. (1993), dan Rodrigez dan Park (1994), bahwa pemasangan *jacketing* beton pada kolom yang telah rusak akibat beban aksial dan beban lateral dapat meningkatkan kekakuan dan kapasitas kolom terhadap beban lateral yang bekerja. Menurut Eduardo dkk. (2005) bahwa efektifitas perilaku komposit pada kolom yang langsung diperkuat dengan jaket beton lebih

baik dibandingkan dengan kolom yang telah rusak kemudian mengalami perbaikan. Menurut Yuce, dkk. (2007), bahwa penggunaan *self compacting concrete* sebagai jaket tipis pada kolom sangat efektif sehingga mampu mengembalikan kekuatan dan meningkatkan daktilitas dari kolom tersebut.

Untuk beton struktural yang didesain di daerah dengan resiko gempa yang cukup tinggi, salah satu hal yang harus menjadi perhatian adalah daktilitas dari elemen struktur, dimana kondisi ini dapat terpenuhi dengan cara membatasi pengaruh dari jumlah energi gempa yang bekerja pada struktur, agar energi tersebut dapat diserap dan disebarkan (*dissipation*) melalui mekanisme *inelastic* tetapi masih dalam kondisi yang sangat terkendali (Park dan Paulay, 1975). Menurut Legeron dan Paultre (2000), bahwa kapasitas disipasi energi merupakan parameter yang sangat penting untuk struktur yang didesain terhadap beban gempa dengan periode panjang dan salah satu tujuan dari perkuatan struktur adalah untuk meningkatkan kapasitas dari elemen struktur, dimana menurut Truong, dkk. (2016), bahwa peningkatan kapasitas akan terjadi apabila terjadi peningkatan kapasitas disipasi energi pada saat struktur mengalami gempa, tanpa mengalami kehilangan kekuatan yang cukup signifikan.

Pada struktur atau elemen struktur dengan pembebanan siklik, nilai disipasi energi yang dihasilkan dalam satu siklus ( $E_D$ ) disajikan berbentuk kurva menutup seperti angka delapan yang dikenal sebagai *hysteresis loops*. Kurva ini dihasilkan dari hubungan antara gaya lateral yang bekerja, dengan deformasi yang terjadi ( $\Delta$ ) pada pada struktur atau elemen struktur dan dapat dihitung menggunakan rumus pendekatan aturan trapesium banyak pias (Truong dkk., 2016), dalam bentuk persamaan:

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta_i \frac{f(x_i) + f(x_{i-1})}{2} \quad (1)$$

Disipasi energi (E) dapat dihitung dengan persamaan:

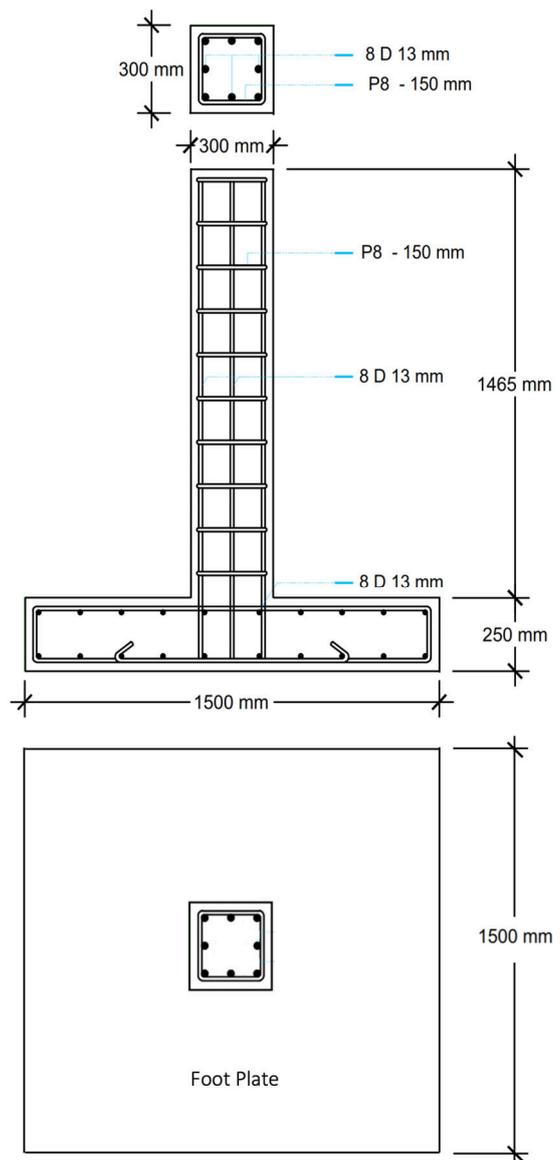
$$E = \sum_{i=1}^n E_i \quad (2)$$

Dimana,  $E_i$  adalah jumlah luasan dari kurva *hysteresis loops* yang terbentuk.

## 2. METODOLOGI

Dalam penelitian ini, spesimen uji dibuat dari beton bertulang dalam bentuk kolom bujur sangkar dengan dimensi 300 mm x 300 mm dan tinggi kolom 1465 mm dan dilengkapi dengan *foot plate* berukuran 1500 mm x 1500 mm dengan tebal 250 mm yang berfungsi sebagai pondasi spesimen atau

didudukan spesimen yang kemudian dijepit pada lantai kerja. Spesimen kolom menggunakan tulangan longitudinal berupa tulangan ulir dengan diameter 13 mm, sedangkan untuk tulangan transversal digunakan tulangan polos dengan diameter 8 mm seperti yang disajikan dalam Gambar 1 dan mutu beton untuk spesimen uji direncanakan dengan mutu 25 MPa, dengan proporsi campuran seperti disajikan dalam Tabel 1.



Gambar 1. Penulangan spesimen uji

Tabel 1. Proporsi campuran beton normal spesimen per m<sup>3</sup>

Bahan	Jumlah
Faktor air semen (w/c)	0,456
Slump (cm)	10 ± 2
Semen (kg)	286
Fly ash (kg)	122
Agregat kasar (kg)	930
Agregat halus (kg)	810
Air (liter)	185
Retarder (liter)	1,2
Superplasticizer (liter)	1,0

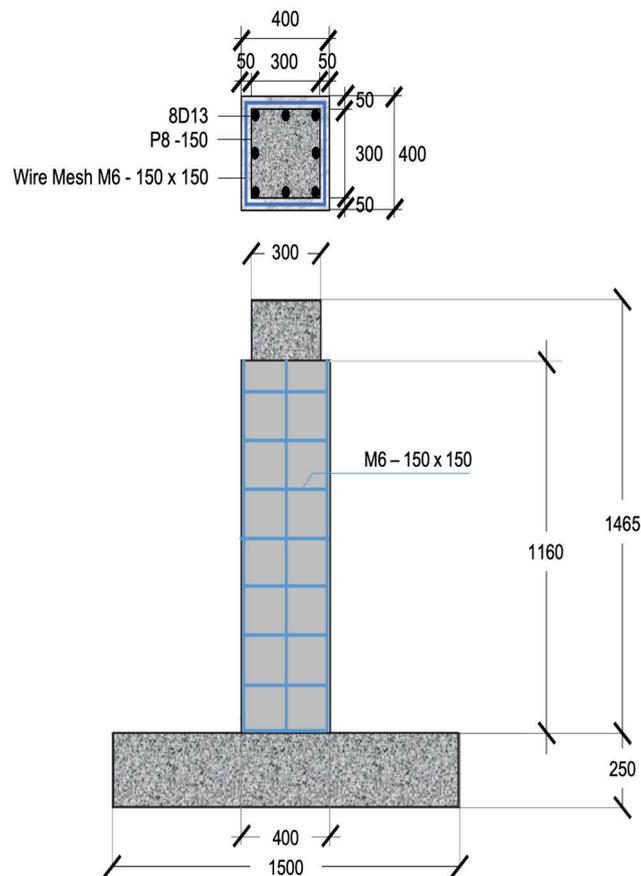
Proses pembuatan spesimen uji dilakukan dalam 2 tahap. Tahap pertama adalah pembuatan spesimen uji kolom eksisting seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1 dan tahap kedua adalah proses pemasangan *jacketing* pada kolom eksisting yang dilakukan setelah tahapan pertama selesai dan spesimen kolom eksisting telah mencapai umur 28 hari. Dalam pelaksanaan tahap kedua, spesimen kolom kemudian dijacking dengan *wire mesh* berukuran M6 dan *self compacting concrete* dengan mutu beton 25 MPa dan proporsi campuran beton seperti disajikan dalam Tabel 2. Ketebalan *jacketing* 50 mm yang dipasang pada keempat sisi spesimen, sehingga setelah selesai dijacking ukuran spesimen kolom menjadi 400 mm x 400 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dan pada Gambar 3 yang menunjukkan proses pelaksanaan *jacketing* pada spesimen kolom eksisting.

Tabel 2. Proporsi campuran beton *Self Compacting Concrete* (SCC) untuk bahan *jacketing* spesimen per m<sup>3</sup>

Bahan	Jumlah
Semen (kg)	450
Agregat kasar (kg)	852
Agregat halus (kg)	829
Air (liter)	210
Retarder (liter)	1,80
Superplasticizer (liter)	6,75

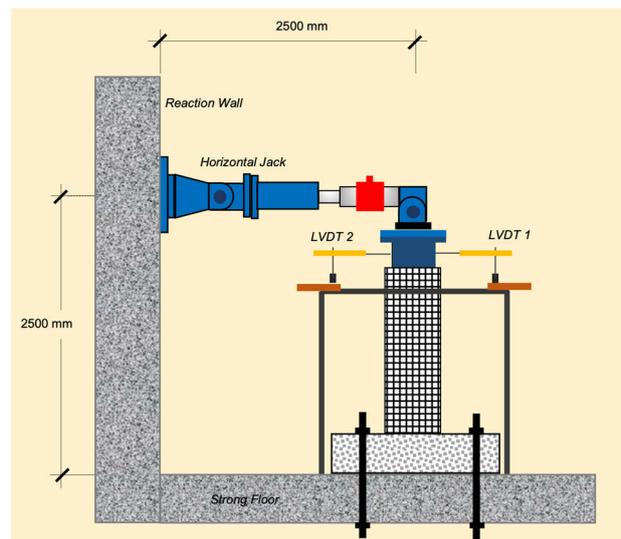


Gambar 3. Pengecoran *Jacketing* pada spesimen uji



Gambar 2. *Jacketing* spesimen uji

Pengujian spesimen dilakukan setelah spesimen berumur 28 hari setelah selesai dijacking. Spesimen uji kemudian ditempatkan pada jarak 2500 mm dari *reaction wall* dan dijepit pada *strong floor* dengan menggunakan 4 buah angkur yang dipasang pada lubang yang telah dibuat pada *foot plat* spesimen. Pada bagian muka dan belakang dari kepala spesimen ditempatkan 2 buah LVDT searah dengan arah pembebanan siklik seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Setelah *setting up* spesimen selesai dilakukan, spesimen kemudian diuji dengan beban siklik seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.



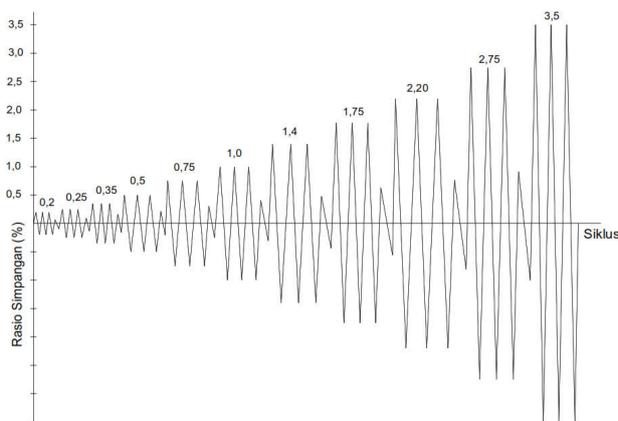
Gambar 4. *Setting up* pengujian spesimen uji

Metode pembebanan beban siklik pada spesimen menggunakan metode *displacement control* yaitu, dengan memasukan jumlah besaran *displacement* ke dalam panel alat uji siklik. Besar *displacement* dan jumlah siklus yang digunakan pada spesimen harus disesuaikan dengan pola pembebanan sesuai

ketentuan dalam SNI 7834:2012 seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 6. Selama proses pengujian dilakukan, tiga siklus penuh harus diterapkan pada setiap rasio simpangan yang meliputi fase 1 yang adalah siklus utama dan fase 2 dan 3 yang merupakan siklus stabilisasi. Rasio simpangan awal pada spesimen harus berada dalam suatu rentang perilaku elastik linear dan rasio simpangan berikutnya tidak boleh kurang dari 1,25 kali dan tidak boleh lebih dari 1,5 nilai rasio simpangan sebelumnya dan pengujian lanjutan dilakukan dengan cara menambah nilai rasio simpangan secara bertahap sampai mencapai nilai rasio simpangan minimum yaitu 0,035.



Gambar 5. Hasil setting up pengujian spesimen uji



Gambar 6. Siklus pembebanan menurut SNI 7834:2012

Selama pengujian berlangsung, perekaman dan pengambilan data hasil uji didasarkan pada data yang tersimpan pada komputer dan *data logger*, dimana data yang dihasilkan berupa besar beban siklik yang bekerja pada spesimen yang dihasilkan

oleh *hydraulic jack* dan data dari hasil pembacaan nilai LVDT yang dipasang pada spesimen.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Pengujian Material

Dari hasil pengujian terhadap material baja tulangan D13 dan P8, *wire mesh M6*, beton normal dan *self compacting concrete* didapat hasil-hasil seperti disajikan dalam Tabel 3 sampai dengan Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan

Diameter	Tegangan	
	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
D13	473,744	643,150
Ø8	377,868	420,964

Dari hasil pengujian sampel kuat tarik baja tulangan ulir ukuran 13 mm dan tulangan polos ukuran 8 mm dapat disimpulkan bahwa material yang digunakan memenuhi persyaratan tegangan leleh minimum.

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tarik *wire mesh M6*

Ukuran	Tegangan	
	$f_y$ (MPa)	$f_{y\text{ minimal}}$ (MPa)
M6	642,920	539,550

Dari hasil pengujian kuat tarik *wire mesh* ukuran M6 atau 6 mm dapat disimpulkan bahwa material yang digunakan memenuhi persyaratan tegangan leleh minimum.

Tabel 5. Hasil pengujian kuat tekan beton normal

Sampel	Kuat Tekan $f_c$ (MPa)	
	Umur 7 Hari	Umur 28 Hari
1	21,07	27,13
2	20,20	27,71
Rata-rata	20,64	27,42

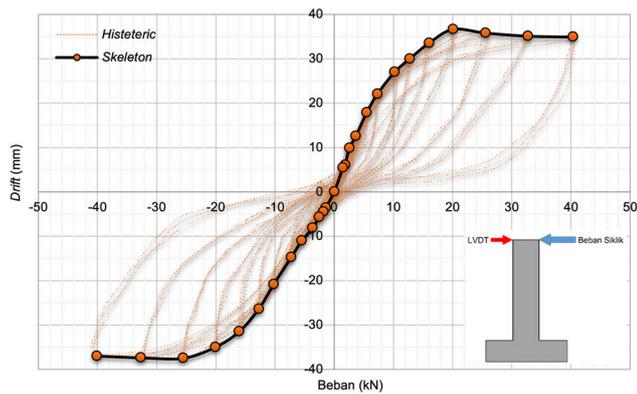
Tabel 6. Hasil pengujian kuat tekan beton SCC

Sampel	Kuat Tekan Umur 28 Hari (MPa)
1	34,33
2	33,41
Rata-rata	33,87

Dari hasil pengujian terhadap sampel uji kuat tekan beton, dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton normal dan nilai kuat tekan *self compacting concrete* memenuhi persyaratan mutu rencana sebesar 25 MPa.

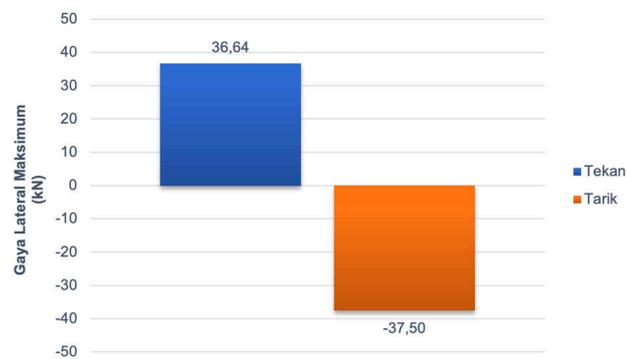
#### Hubungan Beban Lateral dan Deformasi Lateral

Hubungan antara beban lateral dan deformasi lateral yang terjadi pada spesimen dapat digambarkan dalam bentuk kurva *hysteresis loops* seperti yang disajikan pada Gambar 7 dan kekuatan spesimen pada Gambar 8.



Gambar 7. Kurva hysteresis loops spesimen uji

Pada kondisi spesimen dibebani dengan beban dorong, kurva benda uji mengalami peningkatan beban yang cukup signifikan sampai *drift ratio* 2,75% dan setelah itu kurva benda uji mengalami peningkatan yang tidak signifikan dan lebih cenderung mendatar sampai *drift ratio* 5,73%. Pada kondisi spesimen dibebani dengan beban tarik, kurva benda uji mengalami peningkatan beban yang signifikan sampai *drift ratio* 3,5% dan setelah itu kurva mengalami hasil peningkatan yang tidak signifikan dan lebih cenderung mendatar sampai *drift ratio* 5,73%.



Gambar 8. Kekuatan spesimen uji

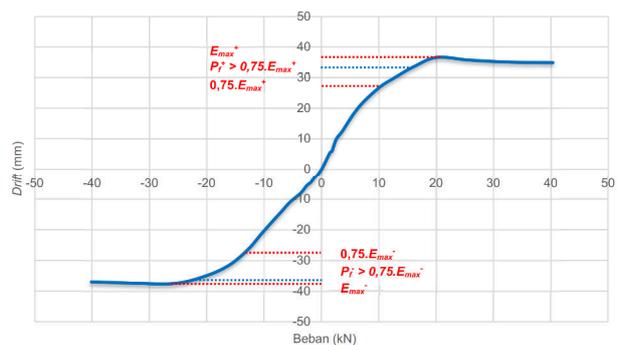
Dalam kondisi ini, spesimen tidak mengalami penurunan kekuatan sampai akhir pengujian pada *drift ratio* 5,73% dan bentuk kurva *hysteresis loops* yang dihasilkan lebih gemuk. Selain itu, tidak terjadi penurunan kekakuan relatif pada spesimen secara signifikan baik dalam kondisi dibebani dan tidak dibebani, sehingga tidak terjadi efek *pinching* dan kondisi spesimen lebih mengarah kepada kondisi yang lebih stabil dengan kemampuan disipasi energi yang lebih besar, serta mampu mencapai nilai simpangan minimum yang dipersyaratkan sebesar yaitu sebesar 3,5% tanpa terjadi penurunan kekuatan pada spesimen.

Berdasarkan kurva *hysteresis loops* pada Gambar 7, dimana pada awal pembebanan akibat beban dorong spesimen berperilaku linier elastis sampai beban mencapai 30 kN atau pada *drift ratio* 1,75%.

Sedangkan akibat beban tarik, spesimen berperilaku linier elastis sampai beban mencapai 26,4 kN atau pada *drift ratio* 1,75%. Akibat terjadinya penambahan dan peningkatan beban siklik secara bertahap yang bekerja spesimen, kemudian terjadi perubahan perilaku pada spesimen secara bertahap dari perilaku gradien linier menjadi perilaku non linier, dimana hal ini menunjukkan suatu pola atau perilaku inelastis pada saat spesimen mencapai zona pasca leleh yang menyebabkan terjadinya perubahan kekakuan lateral pada spesimen. Apabila dibandingkan dengan kolom yang tidak *dijacking* dengan *wire mesh* ukuran M6 dan *self compacting concrete* terjadi peningkatan kekuatan sebesar 46,68% terhadap kapasitas beban dorong dan 37,87% terhadap kapasitas beban tarik (Wuaten dkk., 2021), peningkatan kapasitas pada spesimen yang *dijacking* terhadap beban siklik disebabkan adanya penambahan luas penampang pada spesimen yang mengakibatkan terjadinya peningkatan kekuatan pada spesimen.

### Degradasi Kekuatan Spesimen

Menurut SNI 7834:2012, bahwa untuk spesimen yang diuji dengan beban siklik, dipersyaratkan agar tidak mengalami degradasi kekuatan, dimana kondisi ini dapat terjadi apabila nilai gaya puncak ( $P_f$ ) pada spesimen kurang dari 75% nilai beban lateral maksimum ( $E_{max}$ ) pada arah pembebanan yang sama. Untuk evaluasi degradasi kekuatan pada spesimen, nilai gaya puncak diambil sama dengan nilai beban maksimum dan hasil analisis disajikan dalam Gambar 9 dan Tabel 7.



Gambar 9. Degradasi spesimen uji

Tabel 7. Persyaratan degradasi kekuatan spesimen

Beban	$E_{max}$ (kN)	$P_f$ (kN)	$D$ (%)	Persyaratan $P_f > 0,75.E_{max}$
Dorong	36,64	34,90	4,749	Terpenuhi
Tarik	37,50	37,00	1,333	Terpenuhi

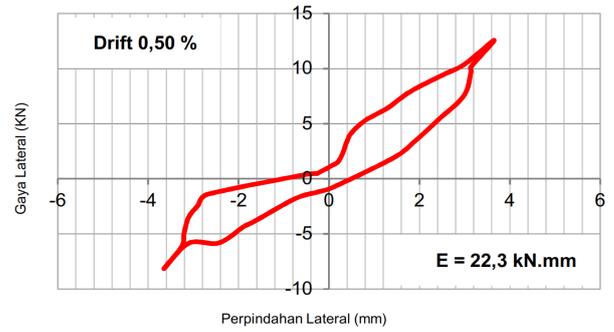
Degradasi kekuatan yang terjadi pada spesimen lebih kecil dari 0,25 dari nilai gaya puncak yang bekerja pada spesimen, sehingga spesimen memenuhi persyaratan degradasi kekuatan.

### Luas Loops dan Disipasi Energi

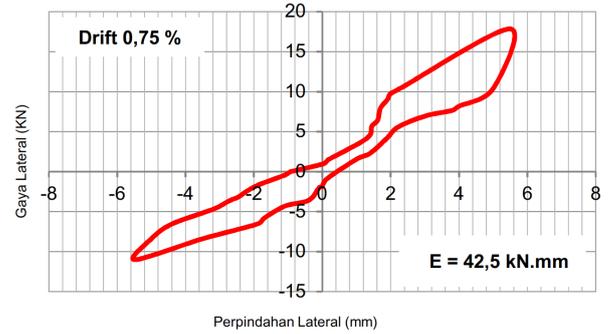
Luasan *loops* pada setiap siklus pembebanan dapat dihitung berdasarkan jumlah selisih nilai *displacement* yang terjadi dikalikan dengan nilai beban rata-rata, dimana hasil perhitungan luasan *loops* disajikan dalam Tabel 8 dan Gambar 10 sampai dengan Gambar 22.

Tabel 8. Luas loop

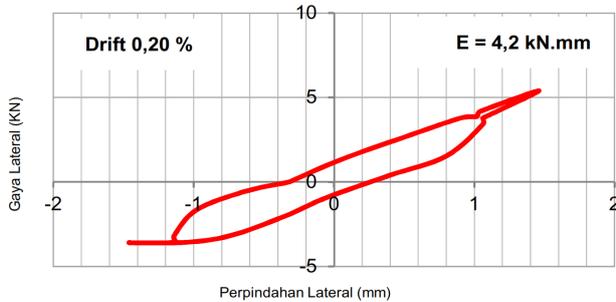
Siklus	Drift (%)	Luas Loop (kN.mm)		
		Fase 1	Fase 2	Fase 3
1	0,20	4,20	3,00	2,40
2	0,25	5,30	5,20	5,10
3	0,35	9,70	7,00	6,90
4	0,50	22,20	17,60	16,00
5	0,75	42,50	35,50	30,60
6	1,00	69,50	54,10	45,70
7	1,40	129,20	119,00	113,60
8	1,75	200,90	195,80	190,80
9	2,20	326,60	313,40	310,60
10	2,75	473,90	450,40	343,20
11	3,50	729,20	675,80	674,20
12	4,48	1057,70	961,40	932,10
13	5,73	1563,60	1447,90	1411,00



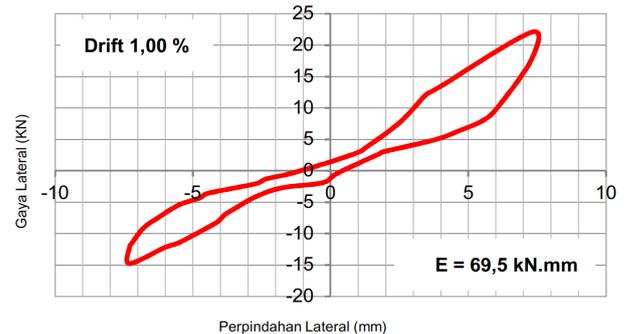
Gambar 13. Luas loop siklus 4



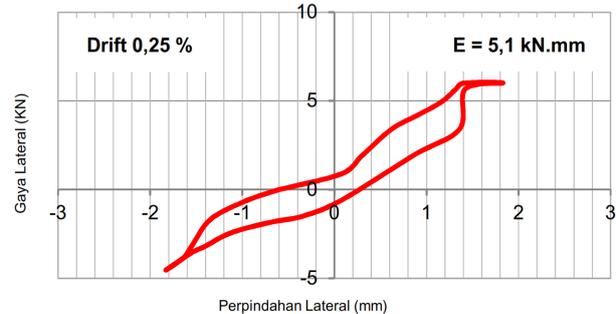
Gambar 14. Luas loop siklus 5



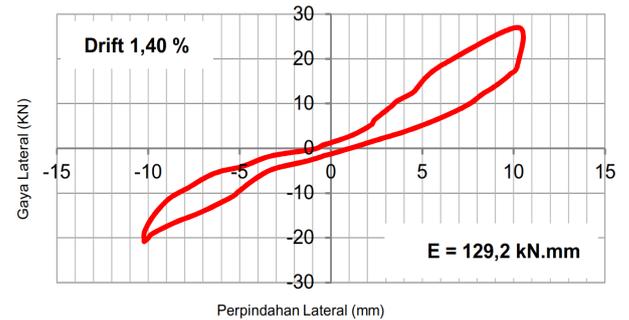
Gambar 10. Luas loop siklus 1



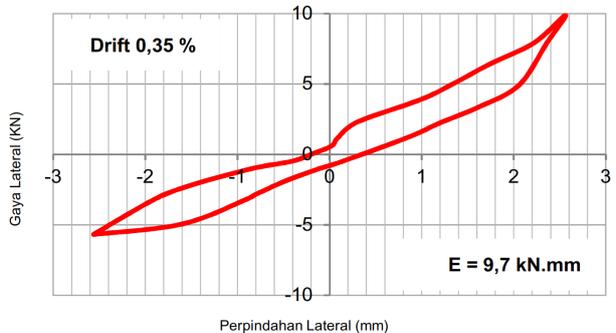
Gambar 15. Luas loop siklus 6



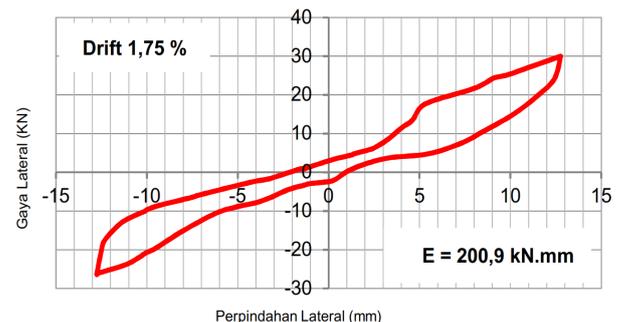
Gambar 11. Luas loop siklus 2



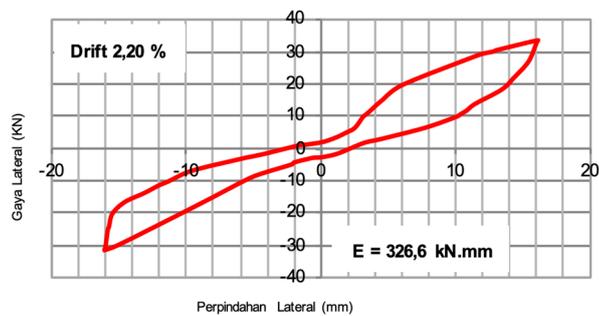
Gambar 16. Luas loop siklus 7



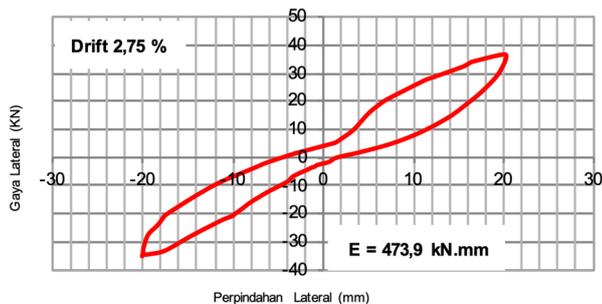
Gambar 12. Luas loop siklus 3



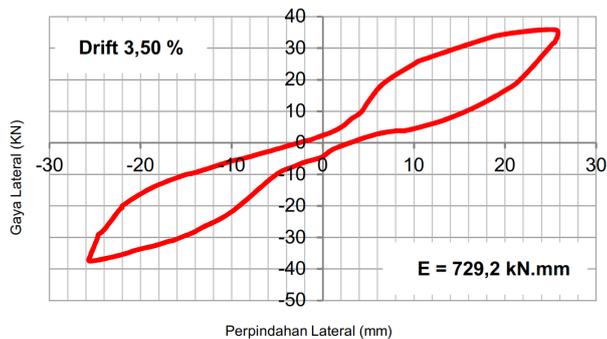
Gambar 17. Luas loop siklus 8



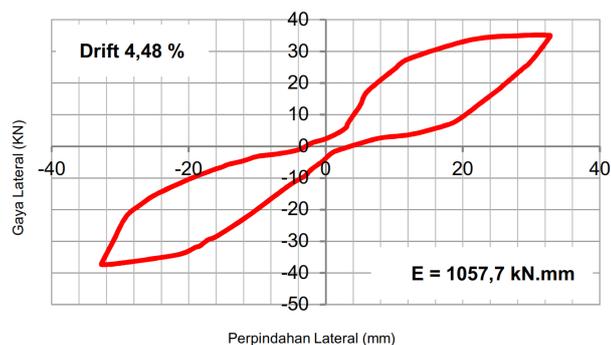
Gambar 18. Luas loop siklus 9



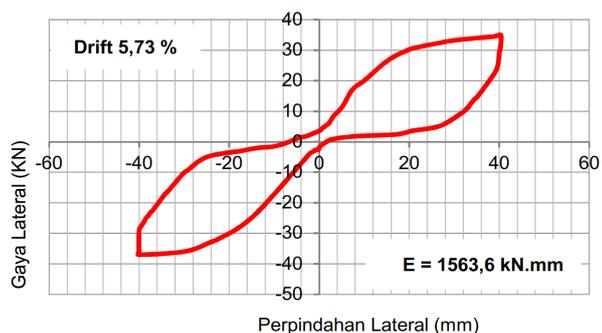
Gambar 19. Luas loop siklus 10



Gambar 20. Luas loop siklus 11

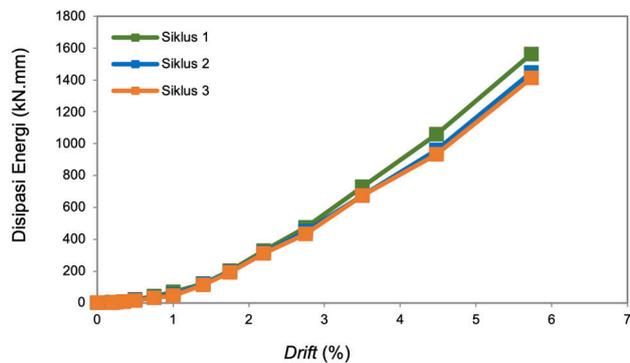


Gambar 21. Luas loop siklus 12

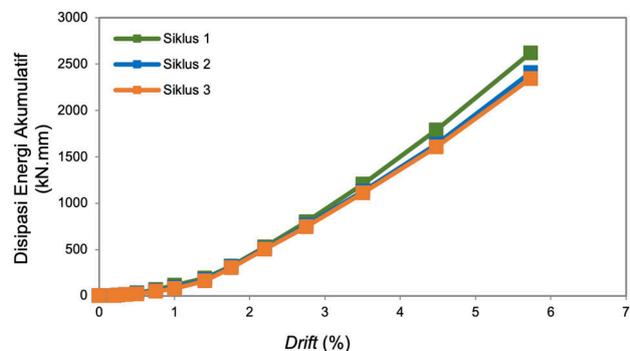


Gambar 22. Luas loop siklus 13

Luasan *loop* (Tabel 8) dibuat dalam bentuk grafik disipasi energi seperti disajikan dalam Gambar 23. Sedangkan nilai disipasi energi akumulatif merupakan penjumlahan luas *loop* dari nilai luasan *loop* siklus pertama sampai siklus terakhir seperti disajikan pada Gambar 24.



Gambar 23. Disipasi energi pada spesimen



Gambar 24. Disipasi energi akumulatif pada spesimen

Nilai disipasi energi yang terjadi pada spesimen untuk semua siklus relatif kecil pada awal *drift ratio* 0,20% sampai *drift ratio* 0,50% dan mulai mengalami peningkatan yang signifikan mulai *drift ratio* 0,75% sampai *drift ratio* 5,73%. Apabila dibandingkan dengan kolom yang tidak *dijacking* dengan menggunakan *wire mesh* M6 dan *self compacting concrete* terjadi peningkatan kapasitas disipasi energi pada *drift ratio* 3,5% sebesar 26,96% (Wuatun, dkk. 2021). Secara akumulatif nilai disipasi energi pada kolom yang di *jacking* dengan *wire mesh* ukuran M6 dan *self compacting concrete* cenderung mengalami peningkatan terhadap peningkatan level simpangan, tetapi jumlah disipasi energi cenderung mengalami pengurangan untuk setiap siklus pengulangan pada setiap level simpangan. Kondisi tersebut terjadi karena perkembangan retak pada setiap level simpangan yang sama relatif lebih stabil, sehingga kondisi tersebut tidak memunculkan terbentuknya pola retak yang baru, melainkan hanya terjadi penambahan lebar retak di lokasi pola retak yang sudah terbentuk sebelumnya. Apabila dibandingkan dengan kolom yang tidak *dijacking* dengan *wire mesh* M6 dan *self compacting concrete* terjadi peningkatan

kapasitas disipasi energi akumulatif pada *drift ratio* 3,5% sebesar 23,32% (Wuaten, dkk. 2021).

### Disipasi Energi Relatif

Untuk mengontrol tingkat kestabilan struktur atau elemen struktur yang diuji dengan beban siklik pada level simpangan maksimum, maka SNI 7834:2012 mensyaratkan bahwa rasio disipasi energi relatif ( $\beta$ ) atau nilai disipasi energi aktual dibagi dengan nilai disipasi energi ideal yang dihasilkan tidak boleh kurang dari 0,125 yang dihitung berdasarkan nilai siklus ketiga pada akhir pembebanan pada spesimen. Adapun hasil analisis rasio disipasi energi relatif pada spesimen disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Persyaratan rasio disipasi energi relatif

Drift Akhir (%)	Disipasi Energi (kN.mm)			
	Ideal	Aktual	Relatif	Ket
5,73	3419,825	1411,039	0,413	Terpenuhi

Nilai rasio disipasi energi relatif didapat lebih besar dari 0,125, hal ini berarti bahwa pada spesimen yang *dijacketing* dengan *wire mesh* M6 dan *self compacting concrete* memiliki kemampuan untuk menjaga stabilitasnya sebelum spesimen mengalami keruntuhan.

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *wire mesh* ukuran M6 yang dikombinasikan dengan *self compacting concrete* mutu 25 MPa dapat meningkatkan kapasitas disipasi energi sebesar 26,96% dan kapasitas disipasi energi akumulatif sebesar 23,32% pada kolom eksisting, sehingga dapat dijadikan sebagai bahan jaket alternatif maupun bahan pengganti *jacketing* berbasis fiber, dengan pertimbangan lebih mudah ditemukan di pasaran, harga lebih murah dan lebih praktis dalam pengerjaan dan pemasangan di lapangan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan kepada Lembaga Pengembangan Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Republik Indonesia yang telah mendukung melalui Beasiswa Unggulan Dosen Indonesia Dalam Negeri dan Laboratorium Riset Gempa Universitas Hasanuddin Makassar.

## REFERENSI

Abdullah D., Takiguchi, K., 2003, *An Investigation into the Behavior and Strength of Reinforced Concrete Columns Strengthened with Ferrocement Jackets*, Cement Concrete Composite 25, pp.233-242.  
 Badan Standarisasi Nasional Indonesia, *SNI 7834:2012 Metode Uji Dan Kriteria Penerimaan Sistem Struktur Rangka*

*Pemikul Momen Beton Bertulang Pracetak Untuk Bangunan Gedung*, BSN, Jakarta.  
 Bett, B. J., Klingner, R. E., Jirsa, J. O. (1988). *Lateral Load Response of Strengthened and Repaired Reinforced Concrete Columns*, ACI Structural Journal, Vol. 85 (5), 499 – 508.  
 Eduardo N. B. S., Fernando A. B., Vitor D. S., (2005), *Reinforced Concrete Jacketing Interface Influence on Monotonic Loading Response*, ACI Structural Journal, Vol.102 (2), 252 – 257.  
 Ersoy U., Tankut A. T., & Suleiman R. (1993). *Behavior of Jacketed Columns*, ACI Structural Journal, 90, 288–293.  
 Gu D. S., Wu Y. F., Wu G., & Wu Z. S. (2012). *Plastic Hinge Analysis of FRP Confined Circular Concrete Columns*, Elsevier Journal of Construction and Building Materials 27 (2012), 223 – 233.  
 Ilki A, Peker O, Karamuk E, Demir C, & Kumbasar N. (2008). *FRP Retrofit of Low and Medium Strength Circular and Rectangular Reinforced Concrete Columns*, J. Mater. Civ. Eng. 20 (2), 169 – 188.  
 Kadir A, Satyarno I, Suhendro B, & Triwiyono A. (2016). *Perilaku Kolom Yang Diperkuat Kombinasi Wire Rope dan Wire Mesh*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2016, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.  
 Lacobucci R. D., Sheikh S. A., & Bayrak O. (2004). *Retrofit of Square Concrete Columns with Carbon Fiber Reinforced Polymer for Seismic Resistance*, ACI Structural Journal 100 (6), 785 – 794.  
 Lehman D. E., Gookin S. E., Nacamuli A. M., & Moehle J. P. (2001). *Repair of Earthquake Damaged Bridge Columns*, ACI Struct. J. 98 (3), 233 – 238.  
 Legeron F. & Paultre P. (2000). *Behavior of High-Strength Concrete Columns under Cyclic Flexure and Constant Axial Load*, ACI Structural Journal 97 (4), 591 – 601.  
 Ma C. K., Apandi N. M., Yung S. C. S., Hau N. J., Haur L. W., Awang A. Z., & Omar W. (2016). *Repair and Rehabilitation of Concrete Structures Using Confinement A Review*, Elsevier Journal of Construction and Building Materials, 133 (2017), 502 – 515.  
 Macdonald S. (2008). *Concrete: Building Pathology*, John Wiley & Sons, New York, USA.  
 Naryanto, H. S. (2008). *Analisis Potensi Kegempaan dan Tsunami di Kawasan Pantai Barat Lampung Kaitannya Dengan Mitigasi dan Penataan Kawasan*, Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia, 10 (02), 71 - 77.  
 Okamura H. & Ouchi M. (2003). *Self Compacting Concrete*, Journal of Advanced Concrete Technology, 1 (1), 5 – 15.  
 Panjehpour M., Farzadnia N., Demirboga R., & Ali A. A. A. (2016). *Behavior of high-strength concrete cylinders repaired with CFRP sheets*, J. Civ. Eng. Manage. 22 (1), 56 – 64.  
 Park R & Paulay (1975). *Reinforced Concrete Structures*, Jhon Wiley, New York.  
 Parung H., 2012., *Seismic Design of Building*, Badan Penerbit UNM, Makassar.  
 Rodriguez M. & Park R. (1994). *Seismic Load Tests on Reinforced Concrete Columns Strengthened by Jacketing*, ACI Structural Journal, 94, 150 – 159.  
 Seible F., Priestley M. J. N., Hegemier G. A., & Innamorato D. (1997). *Seismic Retrofit Of RC Columns with Continuous Carbon Fiber Jackets*, Journal of Composites for Construction, May, 52 – 62.  
 Stoppenhagen D. R., Jirsa J.O, & Wyllie L.A (1995). *Seismic Repair and Strengthening of a Severely Damaged Concrete Frame*, ACI Struct. J. 92 (2), 177 – 187.  
 Tsonos A. G. (1999). *Lateral Load Response of Strengthened Reinforced Concrete Beam-Column Joints*. ACI Structural Journal 1999 : 96(1), 46–56.

- Truong G. T., Kim J. C., & Choi K. K. (2017). *Seismic Performance of Reinforced Concrete Columns Retrofitted by Various Methods*, Elsevier Journal of Engineering Structures, 134 (2017), 217 – 235.
- Wu Y. F., Yun Y., Wei Y., & Zhou Y. (2014), *Effect of Predamage on the Stress-strain Relationship of Confined Concrete Under Monotonic Loading*, J. Struct. Eng. 140 (12) 04014093.
- Wuaten H. M., Parung H., Amiruddin A. A., Irmawaty R., (2021). *Performance of Retrofitted Square Reinforced Concrete Column using Wire Mesh and SCC Subjected to Cyclic Load*, Civil Engineering Journal, 7 (4), 720 – 729.
- Wuaten H. M., Parung H., Amiruddin A. A., Irmawaty R., (2021). *Kekakuan Kolom Persegi Beton Bertulang Diretrofit Dengan Wire Mesh Akibat Beban Siklik*, Prosiding Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur Abad 21, Universitas Gadjah Mada, 150 – 155.
- Yuce S.Z., Ercan Y., Yilmaz B., Kivanc T., & Karadogan F. H. (2007). *Local Thin Jacketing For The Retrofitting of Reinforced Concrete Columns*, Struct. Eng. Mech. 27 (5), 589 – 607.
- Zhou Y. W., Liu X. M., Sui L. L., Xing F., & Zhou H. J. (2015). *Stress-strain Model for Fibre Reinforced Polymer Confined Load Induced Damaged Concrete*, Mater. Res. Innov. 19 (sup6) S6 – S12.