

Studi Literatur Persamaan Panjang Sendi Plastis Pada Kolom Beton Struktural

Hence Michael Wuaten

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik

Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda

Email: hence@untag-smd.ac.id

Artikel Informasi

Riwayat Artikel

Diterima, 15/09/2021

Direvisi, 02/10/2021

Disetujui, 23/11/2021

Kata Kunci:

Retrofit;

Panjang sendi plastis

ABSTRAK

Gempa bumi dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan dan metode retrofit merupakan salah satu cara untuk mengembalikan kekuatan struktur yang rusak akibat gempa seperti semula. Pada struktur beton bertulang terdapat daerah sendi plastis yang diperbolehkan terjadinya deformasi plastis dan kerusakan akibat gempa, sehingga pada daerah ini harus didesain dengan benar untuk mencegah kegagalan struktur akibat gempa. Salah satu parameter yang menarik untuk dibahas adalah panjang sendi plastis yang terjadi pada kolom, dimana hingga saat ini belum ada persamaan yang berlaku seragam dan dirumuskan dalam banyak variasi, sehingga menarik untuk dilakukan studi literatur terhadap hal tersebut, sekaligus mencari kemungkinan dan peluang penelitian di masa depan pada topik ini dengan menggunakan variasi material lainnya.

ABSTRACT

Earthquakes can cause damage to buildings and the retrofit method is one way to restore the strength of structures damaged by earthquakes as before. In reinforced concrete structures there are areas of plastic joints that allow plastic deformation and earthquake damage, so in this area must be designed correctly to prevent structural failure due to earthquakes. One of the interesting parameters to discuss is the length of plastic joints that occur in the column, where until now there have been no equations that apply uniformly and formulated in many variations, so it is interesting to conduct a literature study of it, as well as looking for possibilities and opportunities for future research on this topic using other material variations.

Keywords:

Retrofit;

Plastic joint panjang



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Penulis Korespondensi:

Hence Michael Wuaten

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik

Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda

Email: hence@untag-smd.ac.id

PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan peristiwa alam, dimana terjadi pelepasan energi potensial dari dalam perut bumi akibat aktivitas pergerakan pelat tektonik dan sampai saat ini, gempa bumi merupakan fenomena alam yang belum dapat diprediksi kapan terjadinya, dimana lokasinya dan berapa besar energi yang akan dilepaskan. Gempa bumi telah menyebabkan ribuan orang meninggal baik secara langsung ataupun tidak langsung, terjadinya kerusakan pada struktur, ledakan gas, kebakaran dan dalam beberapa tahun terakhir ini, telah mengakibatkan kehilangan banyak nyawa di Jepang, China dan Indonesia (Parung, 2012). Permasalahan utama pada saat terjadinya gempa bumi adalah kerusakan dan kegagalan pada infrastruktur sipil dan salahsatu kerusakan yang dominan pada struktur akibat beban gempa, disebabkan oleh perencanaan dan daktilitas struktur yang kurang baik, dimana kedua hal ini menjadi persyaratan penting dan pertimbangan secara ekonomis, sehingga pengaruh energi gempa terhadap bangunan dapat diserap dan disebarkan melalui mekanisme inelastik, tetapi tetap dalam kondisi yang terkendali (Park dan Paulay, 1975).

Sebagai bagian dari portal, struktur kolom harus memiliki kekuatan, stabilitas dan daktilitas yang cukup, untuk dapat meneruskan beban-beban dengan aman ke tanah melalui pondasi. Selain itu, daktilitas yang terjadi pada kolom beton bertulang sangat ditentukan oleh cara dan mekanisme terbentuknya sendi plastis pada ujung-ujung kolom yang disebabkan oleh kelebihan beban pada saat terjadinya gempa bumi. Sedangkan untuk mengurangi kegagalan pada daerah sendi plastis kolom, dapat dilakukan dengan cara menambahkan jaket (*jacketing*) pada kolom, dimana untuk meminimalkan pekerjaan *jacketing* pada kolom, maka panjang daerah sendi plastis yang terjadi pada kolom harus diketahui berdasarkan pertimbangan, bahwa desain harus berbasis pada kinerja kolom dan pengaruh deformasi yang terjadi pada kolom (Jiang et.al, 2014 [3])

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Beban Gempa Pada Kolom

Kekakuan

Untuk struktur yang mengalami beban siklik, kekakuan ditetapkan sebagai kemiringan garis yang menghubungkan puncak-puncak beban maksimum arah positif dan negatif dari kurva beban dan lendutan (Tsonos, 1999) yang digambarkan dalam bentuk persamaan:

$$K = \frac{P_1 + P_2}{\Delta_1 + \Delta_2 \dots \dots \dots} \quad (1)$$

Dimana, P adalah beban yang bekerja arah lateral dan D adalah defleksi yang terjadi.

Daktilitas Kolom

Daktilitas adalah kemampuan struktur untuk berdeformasi secara *inelastis* tanpa mengalami reduksi kekuatan secara signifikan sebelum mencapai keruntuhan dan sifat daktilitas struktur menggambarkan jumlah energi yang mampu diserap oleh struktur (Park, 1989). Daktilitas struktur juga dapat didefinisikan sebagai kemampuan struktur untuk tidak mengalami keruntuhan secara tiba-tiba yang bersifat getas, tetapi masih mampu mengalami deformasi yang cukup besar pada saat mencapai beban maksimum sebelum tersebut struktur

mengalami keruntuhan (Williams et.al, 1997). Pada evaluasi struktur yang mengalami gaya gempa, nilai daktilitas yang terjadi, dinyatakan sebagai perbandingan antara lendutan saat kondisi ultimit D_u dan lendutan pada saat luluh pertama

D_y , (Williams et.al, 1997) dan dinyatakan dengan persamaan :

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana, nilai lendutan pada saat luluh pertama (Δ_y) dapat diperoleh berdasarkan aturan 3/4 (Foster dan Attard, 1997).

Disipasi Energi

Hal yang harus diperhatikan dalam desain struktur beton bertulang di daerah rawan gempa, sehingga menghasilkan desain yang memenuhi persyaratan dan pertimbangan ekonomis adalah daktilitas struktur, dimana hal ini dapat dicapai dengan cara membatasi pengaruh energi gempa yang terjadi pada struktur, agar dapat diserap dan disebarkan (disipasi) melalui mekanisme *inelastic* tetapi masih dalam kondisi yang terkendali (Park dan Paulay, 1975).

Kapasitas disipasi energi merupakan salahsatu parameter penting bagi struktur yang direncanakan dengan beban gempa yang memiliki periode ulang gempa yang lama (Legeron et.al, 2000) dan salahsatu tujuan utama dari retrofit adalah untuk meningkatkan kapasitas dari elemen struktur, dimana kapasitas dapat meningkat jika terjadi peningkatan kapasitas disipasi energi pada saat struktur mengalami gempa, tanpa terjadi penurunan kekuatan yang signifikan (Elmenschawi dan Brown, 2009).

Pada struktur yang dibebani dengan beban siklik, nilai disipasi energi dalam satu siklus (E_i) dapat dihitung berdasarkan luas area dari hubungan antara gaya lateral yang terjadi, dengan deformasi dalam bentuk kurva menutup yang disebut dengan *hysteresis loops* dan luas area *hysteresis loops* dapat dihitung dengan menggunakan pendekatan aturan trapesium banyak pias (Legeron et.al, 2000), dalam bentuk persamaan :

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta_i \frac{f(x_i) + f(x_{i-1})}{2} \dots \dots \dots (3)$$

Untuk nilai disipasi energi total (E_{total}) yang terjadi dan disipasi energi yang dinormalisasi (E_N) dapat dihitung dengan persamaan :

$$E_{total} = \sum_{i=1}^n E_i \dots \dots \dots (4)$$

$$E_N = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{H_{max} \cdot \Delta_y} \dots \dots \dots (5)$$

n adalah jumlah siklus selama pengujian dan H_{max} adalah beban lateral maksimum yang bekerja.

Sendi Plastis Pada Kolom

Mekanisme Sendi Plastis

Menurut Paulay dan Priestley (1992), Hines, et.al (2004) dan Yuan, et. al (2013) bahwa daerah sendi plastis pada struktur beton bertulang adalah tempat yang diperbolehkan terjadinya deformasi plastis dan kerusakan akibat gempa, sehingga pada daerah ini harus didesain dengan benar untuk mencegah kegagalan struktur akibat gempa (Yuan dan Wu, 2017).

Menurut Park (1989) bahwa selama terjadi gempa, daktilitas akan mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur tersebut tetap berdiri walaupun sudah berada dalam kondisi diambang keruntuhan. Struktur dengan tingkat daktilitas tertentu akan memungkinkan terjadinya sendi plastis secara bertahap pada elemen- elemen struktur yang telah ditentukan dan dengan terbentuknya sendi plastis, maka struktur akan mampu menahan beban gempa maksimum tanpa memberikan kekuatan yang berlebihan pada elemen struktur, karena energi kinetik akibat gerakan tanah dasar yang akan diterima oleh struktur akan langsung dipencarkan pada sendi plastis tersebut. Semakin banyak terbentuk sendi plastis pada suatu elemen struktur, maka semakin besar juga energi gempa yang akan dipencarkan dan setelah terjadi sendi plastis pada suatu elemen, maka lendutan dan rotasi plastis masih akan terus bertambah.

Pengekangan Pada Daerah Sendi Plastis

Daktalitas pada kolom beton bertulang sangat ditentukan oleh mekanisme terbentuknya sendi-sendi plastis pada kedua ujung kolom, khususnya pada saat terjadi gempa. Untuk mendapatkan kolom yang berperilaku daktail, dapat diperoleh dengan cara memasang kekangan dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi kekangan lateral yaitu, persentase tulangan lateral yang terpasang, kuat leleh tulangan lateral, kuat tekan beton, spasi tulangan lateral dan konfigurasi tulangan lateral khususnya pada beton bertulang dengan penampang persegi (Bayrak dan Sheik, 2002).

Menurut Wu dan Wang (2008), Wu dan Wei (2010) bahwa efektifitas dari pemasangan kekangan atau jaket pada daerah sendi plastis pada penampang bulat lebih baik dibandingkan pada penampang persegi, dimana pada penampang persegi sangat dipengaruhi oleh bentuk penampang yang tidak seragam. Sedangkan menurut Jiang, et.al (2014) cara lain yang dapat digunakan untuk mengatasi kerusakan yang terjadi pada daerah sendi plastis beton bertulang, adalah dengan memasang kekangan pada daerah tersebut, dimana pemasangan kekangan pada daerah sendi plastis memerlukan pengetahuan tentang panjang sendi plastis dan perhitungan terhadap perpindahan yang terjadi.

Panjang Sendi Plastis

Menurut Paulay dan Priestley (1992) bahwa panjang sendi plastis yang digunakan dalam perhitungan lendutan secara teoritis, merupakan panjang rotasi plastis yang menyumbangkan rotasi pada daerah sendi plastis secara fisik. Sedangkan menurut Zao et.al (2012), bahwa sendi plastis yang terjadi pada penampang kolom beton bertulang terdiri dari 3 bagian yaitu, bagian melelehnya baja tulangan, bagian hancurnya beton dan bagian kelengkungan kritis (Jiang et.al, 2014).

Menurut Jiang, et.al (2014) bahwa daerah konsentrasi kelengkungan dapat didefinisikan sebagai daerah sendi plastis, dimana untuk menentukan panjang sendi plastis bukan hal yang mudah, karena distribusi dari kelengkungan terjadi di sepanjang penampang kolom. Hingga saat ini belum ada literatur atau hasil konsensus secara global yang menetapkan dan menyepakati persamaan untuk menentukan panjang sendi plastis, dimana beberapa peneliti meyakini bahwa penulangan yang terpasang akan menyebabkan peningkatan panjang sendi plastis yang terjadi (Ozbakkaloglu and Saatcioglu, 2006), tetapi sebaliknya beberapa peneliti lain seperti Priestley, et.al (1996), Elsanadedy dan Haraoun (2005), meyakini bahwa penulangan yang terpasang akan memperkecil panjang sendi plastis yang terjadi. Selain itu, terdapat beberapa peneliti seperti Monti, et.al (2001) dan Binici (2008) yang mengabaikan pengaruh penulangan terpasang terhadap panjang sendi plastis. Sedangkan menurut Gu, et.al (2012) dan Jiang, et.al (2014) bahwa pemasangan jaket dengan FRP pada kolom beton bertulang, akan mengurangi panjang sendi plastis, dimana pengurangan yang terjadi sangat dipengaruhi oleh ketebalan jaket FRP.

Model Panjang Sendi Plastis

Penelitian awal tentang panjang sendi plastis dilakukan oleh Park dan Paulay pada Tahun 1975. Dalam penelitian tersebut, profil kelengkungan dari daerah elastis dan plastis dipisahkan, sedangkan perpindahan plastis yang terjadi pada bagian penampang, dihitung menggunakan blok persegi panjang. Dalam perhitungan tersebut, ketinggian dari blok persegi panjang dinyatakan sebagai panjang sendi plastis (L_p) dan lebar yang diambil sama dengan kelengkungan plastis yang terjadi pada daerah kritis. Berdasarkan hasil penelitian Park dan Paulay (1982), panjang sendi plastis yang terjadi pada kolom penampang persegi didefinisikan dengan persamaan di bawah ini dan h adalah lebar kolom (Goodnight, et.al, 2016) :

$$L_p = 0,4.h \dots\dots\dots (6)$$

Berdasarkan hasil pengujian secara eksperimen yang dilakukan oleh Mander (1983), kemudian mengusulkan bahwa panjang sendi plastis dipengaruhi oleh regangan yang terjadi pada penulangan yang terpasang pada kolom dengan persamaan (Goodnight, et.al, 2016) :

$$L_p = 32 \cdot \sqrt{d_{bl}} + 0,06.L_c \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

d_{bl} = diameter tulangan longitudinal kolom (mm).

L_c = tinggi kolom (mm).

Penelitian lanjutan juga dilakukan Priestley dan Park (1987) menggunakan model kolom kantiliver dan dari hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa, panjang daerah sendi plastis (L_p) pada struktur kolom beton bertulang tanpa *jacketing* pada bagian luar yang dibebani dengan beban aksial dan beban lateral, dapat dihitung berdasarkan persamaan empiris berikut ini (Priestley dan Park, 1987) :

$$L_p = 0,08.L + 6.d_b \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

L = tinggi kolom.

d_b = diameter tulangan longitudinal kolom.

Oleh Paulay dan Priestley (1992) persamaan di atas, kemudian disempurnakan dengan menambahkan parameter baru yaitu, pengaruh variasi kuat leleh baja (f_y) sehingga persamaan di atas menjadi :

$$L_p = a.L + b.d_b.f_y \dots \dots \dots (9)$$

Dimana :

L = tinggi kolom.

d_b = diameter tulangan longitudinal kolom. f_y = kuat leleh baja.

a = 0,08.

b = 0,022.

Dengan memasukan nilai a dan b, maka persamaan di atas menjadi :

$$L_p = 0,08.L + 0,022.d_b.f_y \dots \dots \dots (10)$$

Berdasarkan hasil penelitian Sheikh dan Khoiry (1993), pada model kolom yang dibebani dengan beban aksial tinggi yang hanya memperhitungkan pengaruh lebar kolom (H) dan mengabaikan semua faktor lainnya, persamaan panjang sendi plastis pada kolom dapat dihitung dengan persamaan yang lebih sederhana, yaitu :

$$L_p = 1,0.H \dots \dots \dots (11)$$

Panagiotakos dan Fardis (2001) juga mengusulkan persamaan yang hampir serupa, seperti yang diusulkan oleh Paulay dan Priestley (1992), yaitu:

$$L_p = 0,018.L + 0,021.d_b.f_y \dots \dots \dots (12)$$

Dimana :

L = tinggi kolom.

d_b = diameter tulangan longitudinal kolom. f_y = kuat leleh baja.

Menurut hasil penelitian Ho, et.al (2003) yang mengkombinasikan pengaruh gaya aksial dan pengaruh tulangan melintang yang terpasang, bahwa panjang sendi plastis dapat dihitung dengan persamaan :

$$L_p = \left[20.n^{0,5} \left(\frac{f_{cu}}{f_y} \right)^{1,5} \left(\frac{r}{r_s} \right)^{0,5} + 0,6 \right] H \dots \dots \dots (13)$$

Dimana :

n = rasio beban aksial.

r = rasio penulangan longitudinal.

r_s = rasio volumetrik penulangan melintang. f_{co} = kuat tekan beton.

H = lebar penampang kolom.

Dari hasil penelitian Berry (2006), kemudian mengusulkan persamaan yang lebih kompleks, yaitu :

$$L_p = 0,05.L + 0,1 \cdot \frac{f_y \cdot d_b}{\sqrt{f_{ca}}} \leq L/4 \dots \dots \dots (14)$$

Semua model yang digunakan untuk menyusun persamaan panjang sendi plastis di atas dihubungkan dengan dua bagian, dimana bagian pertama terkait dengan panjang kolom dan bagian kedua terkait dengan tulangan longitudinal. Pada bagian pertama diyakini sebagai efek dari distribusi momen lentur, dimana pada kolom yang lebih pendek distribusi momen lentur akan menyebabkan penurunan kelengkungan yang lebih cepat, karena panjang sendi plastis yang terjadi lebih pendek. Sedangkan, pada bagian kedua dihubungkan dengan pengaruh diameter dan tegangan leleh baja tulangan longitudinal yang terpasang pada kolom (Jiang, et.al, 2014).

Berdasarkan hasil penelitian Hines (2004), bahwa perbandingan antara panjang sendi plastis yang terjadi secara fisik (L_{pr}) dan panjang sendi plastis ekivalen (L_{pb}), dengan asumsi bahwa deformasi plastis terdistribusi secara linier merata dari atas ke bawah pada daerah sendi plastis yang terjadi secara fisik, dinyatakan dengan persamaan :

$$L_p = \frac{L_{pr}}{\gamma} + L_{pw} \dots \dots \dots (15)$$

Dimana :

$$L_{pb} = 0,022 \cdot d_b \cdot f_y \dots \dots \dots (16)$$

Priestley, et.al (2007) kemudian melakukan revisi terhadap persamaan panjang sendi plastis yang diusulkan oleh Paulay dan Priestley (1992), dimana nilai $a = 0,08$ pada persamaan tersebut, diganti dengan nilai k sebesar :

$$k = 0,2 \cdot \left(\frac{f_c}{f_y} - 1 \right) < 0,08 \dots \dots \dots (17)$$

Berdasarkan penelitian Biskinis dan Fardis (2010) diusulkan model persamaan baru untuk menentukan panjang sendi plastis untuk kondisi pembebanan siklik dan monotonik, yang kemudian diadopsi oleh *Federation Internationale du Beton* (FIB) untuk menjadi standar yang tertuang dalam FIB Model Code Tahun 2010, yaitu :

$$L_p = 0,2 \cdot H \cdot \frac{1 + \min \left[9 : \frac{L}{H} \right]}{3} \dots \dots \dots (18)$$

$$L_p = H \cdot \left[1,1 + 0,04 \cdot \min \left[9 : \frac{L}{H} \right] \right] \dots \dots \dots (19)$$

Dimana :

H = lebar kolom.

L = tinggi kolom.

KESIMPULAN

Dari studi literatur yang dilakukan dapat dilihat bahwa persamaan untuk menghitung panjang sendi plastis yang terjadi pada kolom sangat bervariasi, dimana sebagian peneliti menganggap bahwa penulangan yang terpasang berpengaruh pada panjang sendi plastis kolom, sebagian menganggap tidak berpengaruh dan sebagian menggunakan tambahan kekangan pada daerah sendi plastis dimana hal tersebut berpengaruh pada panjang sendi plastis yang terjadi.

Hingga saat ini tidak ada persamaan yang berlaku secara umum, untuk menghitung panjang sendi plastis yang terjadi pada kolom, khususnya pada kolom-kolom yang diretrofit, diperkuat dan diperbaiki akibat beban gempa. Sedangkan, untuk penelitian tentang panjang sendi plastis yang ada saat ini, masih terbatas pada parameter akibat pengaruh penulangan, penggunaan kekangan pada daerah sendi plastis dan penggunaan material fiber atau sejenisnya, sehingga terbuka peluang penggunaan material lain sebagai bahan retrofit, perkuatan dan perbaikan pada kolom beton struktural yang mengalami beban siklik untuk melihat perilaku panjang sendi plastis pada kolom tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Bayrak., Sheik, S.A., (2002), *Response Prediction by Plastic Hinge Analysis Technique*, Dep.of Civil Engineering, University of Toronto, Ontario, Canada.
- Binici, B., (2008), *Design of FRPs in Circular Bridge Column Retrofits for Ductility Enhancement*, ASCE Engineering Structural Journal 30(3), pp. 766 – 776.
- Biskinis, D., Fardis, M. N., (2010), *Flexure Controlled Ultimate Deformations of Members With Continuous or Lap Spliced Bars*, ACI Structural Concrete Journal 11(2), pp. 93 – 108.
- Elsanadedy, H. M., and Haroun, M. A., (2005), *Seismic Design Guidelines For Squat Composite-Jacketed Circular and Rectangular Reinforced Concrete Bridge Columns*, ACI Structural Journal 102(4), pp. 505 – 514.
- Elmenschawi A., Brown T., (2010), *Hysteretic Energy and Damping Capacity of Flexural Elements Constructed With Different Concrete Strengths*, Elsevier Journal of Engineering Structures 32.2010, pp. 297 – 305.
- Foster, SJ and Attard, M.M., (1997), *Experimental Tests on Eccentrically Loaded High Strength Concrete Columns*, ACI Structural Journal, May - June, pp 295 – 303.
- Gu D.S., Wu Y.F., Wu G., Wu Z.S., (2012), *Plastic Hinge Analysis of FRP Confined Circular Concrete Columns*, Elsevier Journal Construction 27 (2012), pp. 223 – 233. Goodnight J., Kowalsky M.J., Nau J.M., 2016, *Modified Plastic-Hinge Method for Circular RC Bridge Columns*, Journal Structure Engineering ASCE, pp. 1 – 12.
- Ho, J. C. M., and Pam, H. J., (2003), *Inelastic Design of Low Axially Loaded High- Strength Reinforced Concrete Columns*, ASCE Eng. Struc. J 25(8), pp. 1083 – 1096.
- Hines, E. M., Restrepo, J. I., and Seible, F., (2004), *Force Displacement Characterization of Well Confined Bridge Piers*, ACI Struc. J.101(4), pp. 537 – 548.
- Jiang C., Wu Y.F., Wu G., (2014), *Plastic Hinge Length of FRP-Confined Square RC Columns*, Journal Composite Construction, pp. 1 – 12.
- Legeron F., Paultre P., (2000), *Behavior of High Strength Concrete Columns Under Cyclic Flexure and Constant Axial Load*, ACI Struc.J, Jul - Aug, pp. 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 Const. and Build. Materials, 133 (2017), pp. 502 – 515.

- Monti, G., Nisticò, N., and Santini, S., (2001), *Design of FRP Jackets for Upgrade of Circular Bridge Piers*, ACSE Comp. Const. J. 5:2(94), pp. 94 – 101.
- Ozbakkaloglu, T., Saatcioglu, M., (2006), *Seismic Behavior of High Strength Concrete Columns Confined by Fiber-Reinforced Polymer Tubes*, ASCE Composite Construction Journal, 10:6 (538), pp. 538 – 549.
- Panagiotakos, T. B., Fardis, M. N., (2001), *Deformations of Reinforced Concrete Members At Yielding and Ultimate*, ACI Structural Journal 98(2), pp. 135 – 148.
- Park R., (1989), *Evaluation of Ductility of Structures and Structural Assemblages From Laboratory Testing*, Bull. New. Zeal. Nat. Soc. Earthq. Eng., 22(3), 155-166.
- Park R, Paulay T, (1975), *Reinforced Concrete Structures*, Jhon Wiley, New York. Parung H., (2012), *Seismic Design of Building*, Badan Penerbit UNM, Makassar. Priestley M.J.N., Park R., 1987, *Strength and Ductility of Concrete Bridge Columns Under Seismic Loading*, ACI Structural Journal, V.84 (1), pp. 61 – 76.
- Sheikh, S. A., Houry, S. S., (1993), *Confined Concrete Columns with Stubs*, ACI Structural Journal 90(4), pp. 414 – 431.
- Tsonos A.G., (1999), *Lateral Load Response of Strengthened Reinforced Concrete Beam- Column Joints*, ACI Structural Journal 96 (1), pp.46–56.
- Williams M.S., Villemure I., Sixsmith R.G., (1997), *Evaluation of Seismic Damage Indices for Concrete Elements Loaded in Combined Shear and Flexure*, ACI Structural Journal, May – June, pp. 315 – 322.
- 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 Vol. 7 No. 4, pp. 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 Yogyakarta, hal. 150 – 155.
- Wuaten H.M, Parung H., Amiruddin A.A., Irmawaty R., (2020), *Daktalitas Kolom Diretrofit Dengan Wire Mesh Akibat Beban Siklik*, Prosiding Seminar Nasional Ketekniksipilan VIII Bidang Vokasional, Politeknik Negeri Bali, hal. 1 – 6.
- Yuan F., Wu Y.F., (2017), *Effect of Load Cycling on Plastic Hinge Length in RC Columns*, Elsevier Journal of Engineering Structures 147 (2017), pp. 90 – 102.