



STUDI NUMERIK PERBANDINGAN HUBUNGAN BEBAN-DEFLEKSI PADA BALOK BETON GRADASI PENAMPANG PERSEGI DAN PENAMPANG T

Novia Maulidina Saputri¹, Roro Sulaksitaningrum²

¹Universitas Negeri Malang, email: novia.maulidina.1805236@students.um.ac.id

²Universitas Negeri Malang, email: roro.ningrum.ft@um.ac.id

Abstrak: Penelitian terhadap beton gradasi masih belum dilakukan secara menyeluruh. Pada umumnya balok beton bertulang yang lebih sering digunakan adalah balok beton bertulang penampang persegi. dalam perhitungan kekuatan balok dalam menahan lentur, didapati bahwa nilai lebar balok (b) lebih berkontribusi terhadap tegangan tekan (C) di atas garis netral balok. Sedangkan di bawah garis netral tegangan tidak dipengaruhi oleh lebar balok. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui perbandingan pengaruh bentuk penampang persegi dengan penampang T pada balok beton gradasi yang memiliki jumlah tulangan, luas penampang, mutu beton dan mutu baja yang sama terhadap hubungan beban-defleksi pada balok beton gradasi. Penelitian ini dilaksanakan dengan metode numeris menggunakan software Abaqus CAE 2020. Benda uji berupa balok beton yang digunakan tersusun dengan dua mutu yang berbeda, yaitu mutu 20 MPa dan 40 MPa. Mutu terbesar diletakkan pada serat tarik dan mutu terendah pada serat tekan. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa perbandingan terkait penampang T dan penampang persegi pada balok beton gradasi menunjukkan jika, balok T memiliki capaian beban yang lebih baik dibandingkan balok persegi dengan selisih 7,40%. Nilai defleksi pada balok beton gradasi cenderung sama dengan balok beton normal dengan mutu rendah.

Kata kunci: balok beton gradasi, perbedaan mutu, hubungan beban-defleksi

1. PENDAHULUAN

Kegiatan konstruksi yang terus ada dan bertambah mengakibatkan naiknya kebutuhan akan material beton. Direktorat Statistik Industri (2023) mencatat perkembangan pada sektor konstruksi melalui Survei Perusahaan Konstruksi Triwulan (SKTR) Triwulan I/2023 meningkat sebanyak 9,88% dari periode tahun sebelumnya. Hal tersebut memunculkan inovasi-inovasi dengan menciptakan beton yang lebih ramah lingkungan, salah satunya adalah beton gradasi. Beton gradasi adalah jenis beton inovasi yang dibuat dengan mencampurkan dua mutu beton yang berbeda untuk mengoptimalkan penggunaan semen (Pratama, dkk., 2019). Dalam beton gradasi penggunaan semen sebagai campuran beton dapat direduksi dengan cara mengoptimalkan karakteristik dari material yang digunakan sesuai dengan perilaku struktur yang telah direncanakan (Mastali, dkk., 2015).

Penelitian pada beton gradasi dengan bentuk penampang T masih belum dilakukan. Penelitian terhadap balok penampang T dan penampang persegi oleh Simanjuntak & Saragi (2016) “Perbandingan Kekuatan Balok Persegi dan Balok T dengan Luas Penampang dan Luas Tulangan yang Sama” menyimpulkan bahwa dengan luasan penampang dan tulangan yang sama, mutu beton serta mutu baja yang sama disimpulkan bahwa balok dengan bentuk penampang T memiliki momen nominal yang lebih besar dibandingkan dengan balok penampang persegi. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui perbandingan pengaruh bentuk

Live and Applied Science, Volume 5

penampang persegi dengan penampang T pada balok beton gradasi yang memiliki jumlah tulangan, luas penampang, mutu beton dan mutu baja yang sama terhadap hubungan beban-defleksi pada balok beton gradasi.

2. METODE

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode numeris menggunakan software Abaqus CAE 2020. Tujuan penelitian untuk membandingkan pengaruh bentuk penampang pada balok beton gradasi yaitu dengan balok beton gradasi penampang persegi dan penampang T. Benda uji berupa balok beton yang digunakan tersusun dengan dua mutu yang berbeda, yaitu mutu 20 MPa dan 40 MPa. Balok beton gradasi didesain dengan rasio tebal mutu 1:1, hal ini mengacu pada penelitian pendahuluan yang dilakukan oleh Gan, dkk. (2015). Sedangkan 4. Rasio dimensi penampang (b:h) yang digunakan pada balok persegi 1:2 yaitu lebar balok (b) = 150 mm; dan tinggi balok (h) = 300 mm. Sedangkan dimensi untuk balok T yang digunakan adalah lebar badan balok (bw) = 100 mm; lebar sayap efektif (bf) = 350 mm; tebal sayap efektif (hf) = 60 mm; dan tinggi balok (h) = 300 mm. Mutu terbesar diletakkan pada serat tarik dan mutu terendah pada serat tekan. Setiap benda uji didesain dengan luas penampang yang sama dengan perbedaan pada bentuk penampang. Pengujian akan dilakukan dengan metode four-point bending yang menggunakan empat titik pengujian dimana dua titik pada bagian bawah sebagai titik tumpuan dan dua titik pada bagian atas sebagai titik pembebanan. Pada penelitian ini benda uji didesain dengan menggunakan rasio bentang geser (a/d) sebesar 2,5. 7. Penulangan pada balok menggunakan tulangan geser D6 untuk semua balok kontrol dan balok gradasi dan tulangan utama D12 untuk beton kontrol mutu 20 MPa, dan D13 untuk beton kontrol mutu 40 MPa dan beton gradasi. Spesifikasi pesimen balok beton gradasi ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Spesimen Balok Beton Gradasi

Kode Benda Uji	b		h		L	D1	D1'	D2	d	a
	bf	bw	hf	h-hf						
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)						
C20-S-2.5	150		300		2090	4 ϕ 12	2 ϕ 12	ϕ 6 - 50	278	695
C20-T-2.5	350	100	60	240	2090	4 ϕ 12	2 ϕ 12	ϕ 6 - 50	278	695
C40-S-2.5	150		300		2090	4 ϕ 13	2 ϕ 12	ϕ 6 - 50	277,5	695
C40-T-2.5	350	100	60	240	2090	4 ϕ 13	2 ϕ 12	ϕ 6 - 50	277,5	695
G-S-2.5	150		300		2090	4 ϕ 13	2 ϕ 12	ϕ 6 - 50	277,5	695
G-T-2.5	350	100	60	240	2090	4 ϕ 13	2 ϕ 12	ϕ 6 - 50	277,5	695

3. HASIL

3.1. Capaian Beban

Capaian beban dan defleksi pada aplikasi Abaqus dicatat pada setiap increment. Seluruh spesimen balok beton bertulang dikelompokkan berdasarkan nilai bentang geser untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap kinerjanya. Besarnya capaian beban balok beton bertulang dalam menahan beban lentur ditinjau pada kondisi *rupture*, leleh, dan ultimit. Nilai beban yang dapat ditahan

Live and Applied Science, Volume 5

oleh balok beton bertulang didapatkan dengan membaca besarnya reaksi pada tumpuan balok. Berikut merupakan rincian capaian beban pada kondisi rupture, leleh, dan ultimit disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Rekapitulasi Capaian Beban pada Balok

Kode	Capaian Beban (N)			Rasio Beban terhadap C40		
	<i>Rupture</i>	<i>Leleh</i>	<i>Ultimit</i>	<i>Rupture</i>	<i>Leleh</i>	<i>Ultimit</i>
C20-S-2.5	122.311	122.588	124.091	0,87	0,85	0,81
C20-T-2.5	130.411	130.977	134.625	0,84	0,79	0,77
C40-S-2.5	140.962	144.018	152.299	1,00	1,00	1,00
C40-T-2.5	154.660	166.333	174.613	1,00	1,00	1,00
G-S-2.5	137.411	137.415	139.602	0,97	0,95	0,92
G-T-2.5	142.751	144.789	150.761	0,92	0,87	0,86

3.2. Capaian Defleksi

Capaian beban dan defleksi pada aplikasi Abaqus dicatat pada setiap increment. Nilai defleksi yang terjadi pada balok beton bertulang didapatkan dengan membaca besarnya reaksi pada tumpuan balok. Berikut merupakan rincian defleksi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Rekapitulasi Capaian Defleksi pada Balok

Kode	Capaian Defleksi (mm)			Rasio Beban terhadap C40		
	<i>Rupture</i>	<i>Leleh</i>	<i>Ultimit</i>	<i>Rupture</i>	<i>Leleh</i>	<i>Ultimit</i>
C20-S-2.5	1,39	1,45	1,72	0,52	0,47	0,38
C20-T-2.5	1,98	2,10	2,69	1,25	0,77	0,54
C40-S-2.5	2,66	3,09	4,52	1,00	1,00	1,00
C40-T-2.5	1,59	2,73	5,02	1,00	1,00	1,00
G-S-2.5	1,14	1,19	1,62	0,43	0,39	0,36
G-T-2.5	1,79	1,99	3,35	1,13	0,72	0,67

Selanjutnya berikut merupakan grafik hubungan beban-defleksi yang dihasilkan pada penelitian ini:

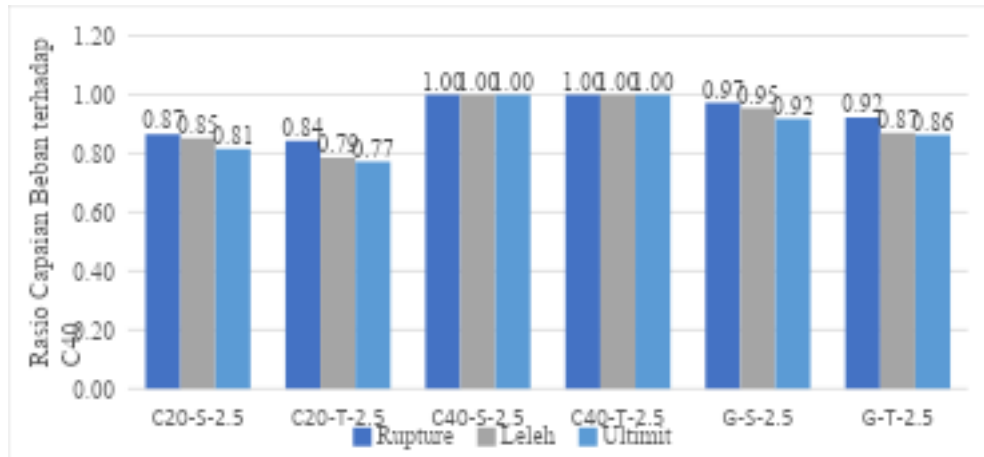
Gambar 1. Hubungan Beban-Defleksi pada Balok Beton

4. PEMBAHASAN

4.1 Capaian Beban

Berdasarkan Gambar 1, balok beton gradasi memiliki pola hubungan beban-defleksi dengan capaian beban yang berada diantara balok kontrol C20 dan C40. Penggabungan dua mutu beton pada benda uji menghasilkan balok dengan perilaku struktur yang karakteristiknya berasal dari material pembentuk. Pada Gambar 5.1 hasil capaian beban balok beton gradasi rupture, leleh, dan ultimit pada penelitian yang menunjukkan bahwa kapasitas balok beton gradasi mampu menahan sekitar 86% - 97% dari kapasitas beban yang mampu ditahan oleh balok beton normal dengan mutu yang lebih tinggi. Selain itu kinerja balok beton gradasi dalam menahan beban pada kondisi rupture cenderung ke arah kuat tekan beton yang lebih rendah yaitu pada kekuatan material di serat tarik. Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu oleh Aylie dkk. (2015); Prabowo (2019); Pratama dkk. (2019); Damayanthi dkk. (2022); Pratama (2021); Pratama dkk. (2022) yang telah membuktikan bahwa kuat tekan beton mutu rendah pada balok beton gradasi memengaruhi kapasitas beban yang dapat dicapai oleh balok. Sehingga penurunan modulus elastisitas terjadi akibat adanya disparitas mutu beton yang menyebabkan kapasitas beban balok beton gradasi menjadi lebih kecil dibandingkan dengan balok yang dicetak dengan mutu yang seragam. Pada kasus balok beton gradasi peningkatan beban juga dapat dipengaruhi oleh penggunaan tulangan yang didesain sesuai terhadap mutu beton serat tekan. Menurut Sugianto & Indriani (2017), tulangan tekan pada balok beton dapat meningkatkan lentur balok beton hingga 3%-4%. Sehingga penggunaan tulangan yang disesuaikan dengan mutu beton tertinggi ikut andil dalam capaian beban balok gradasi.

Selanjutnya, berikut adalah capaian beban balok pada setiap kondisi yang dikonversikan dalam bentuk rasio untuk memperoleh presentase capaian beban pada balok beton gradasi terhadap balok beton normal C40. Hal ini dikarenakan balok beton gradasi yang dicetak diharapkan mampu menghasilkan kinerja struktur yang mendekati balok normal dengan mutu beton yang lebih tinggi. Rasio capaian beban dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rasio Capaian Beban terhadap C40

Berdasarkan Gambar 2, balok penampang T memiliki selisih rasio capaian beban *rupture*, leleh, dan ultimit bernilai lebih besar dibandingkan dengan balok penampang persegi. Selain itu berdasarkan Tabel 2, menunjukkan bahwa peningkatan lebar badan sayap pada balok penampang T meningkatkan ketahanan struktur pada balok T dalam menahan beban. Hal ini sejalan dengan penelitian Noorhidana & Syahland (2009); Simanjuntak & Saragi (2016); Fatimah Akbar & Ridwan (2019) yang menjelaskan bahwa balok dengan penampang T memiliki capaian kapasitas beban yang lebih tinggi dibandingkan dengan bentuk penampang persegi. Sehingga meskipun memiliki jumlah tulangan, dan luas penampang yang sama balok penampang T memiliki kontribusi yang lebih besar pada gaya tekan dikarenakan balok penampang T mempunyai lebar balok yang lebih besar pada bagian yang menerima beban. Sehingga hal tersebut berpengaruh pada capaian beban balok gradasi penampang T yang lebih tinggi dibandingkan dengan capaian beban balok gradasi penampang persegi. Lebih detail presentase kenaikan beban terkait balok penampang T dan balok penampang persegi ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Presentase Kenaikan Beban antara Balok Penampang Persegi dengan Balok Penampang T

Kode Benda Uji	Capaian Beban (N)					
	<i>Rupture</i>	Selisih	Leleh	Selisih	Ultimit	Selisih
C20-S-2.5	122.311		122.588		124.091	
C20-T-2.5	130.411	6,21%	130.977	6,40%	134.625	7,82%
C40-S-2.5	140.962		144.018		152.299	
C40-T-2.5	154.660	8,86%	166.333	13,42%	174.613	12,78%
G-S-2.5	137.411		137.415		139.602	
G-T-2.5	142.751	3,74%	144.789	5,09%	150.761	7,40%

Berdasarkan Tabel 4, balok penampang T capaian beban pada saat balok mencapai kondisi ultimit lebih unggul dengan selisih 7,40% - 12,78% dibandingkan dengan balok penampang persegi. Hal ini juga terjadi pada studi kasus yang dilakukan oleh Simanjuntak & Saragi (2016), yang memberikan kesimpulan bahwa balok dengan penampang T memiliki momen nominal yang lebih besar dengan presentase sekitar 7,89% - 12,82%.

4.2 Capaian Defleksi

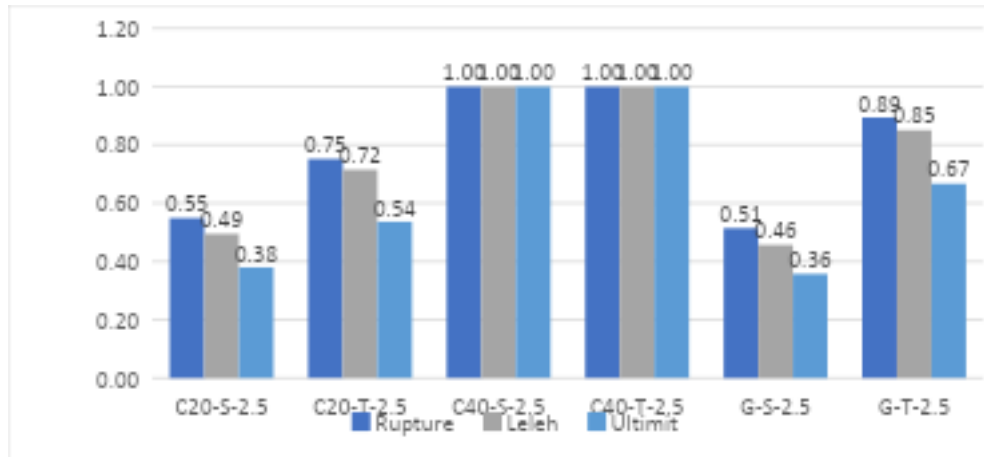
Defleksi terjadi akibat adanya pembebanan pada balok searah vertikal sehingga balok akan membentuk tegangan lentur yang searah dengan sumbu Y negatif. Nilai defleksi sebanding dengan pembebanan yang diberikan. Hal ini memungkinkan terjadinya retakan secara perlahan pada serat tarik balok. Berdasarkan Tabel 3, baik pada kondisi rupture, leleh, maupun ultimit, nilai defleksi yang terjadi pada balok penampang T lebih besar dibandingkan dengan balok penampang persegi. Hal tersebut terjadi akibat besarnya beban yang dapat diterima pada balok penampang T yang lebih besar dibandingkan dengan balok penampang persegi menyebabkan terjadinya defleksi yang lebih besar pada balok penampang T. Lebih detail presentase selisih nilai defleksi terkait balok penampang T dan balok penampang persegi ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Presentase Selisih Nilai Defleksi antara Balok Penampang Persegi dengan Balok Penampang T

Kode Benda Uji	Capaian Defleksi (mm)					
	<i>Rupture</i>	Selisih	Leleh	Selisih	<i>Ultimate</i>	Selisih
C20-S-2.5	1,39		1,45		1,72	
C20-T-2.5	1,98	29,85%	2,10	30,90%	2,69	36,18%
C40-S-2.5	2,66		3,09		4,52	
C40-T-2.5	1,59	-67,65%	2,73	-13,20%	5,02	9,84%
G-S-2.5	1,14		1,19		1,62	
G-T-2.5	1,79	36,15%	1,99	40,03%	3,35	51,73%

Selanjutnya, penggunaan mutu pada beton juga mempengaruhi nilai defleksi. Nilai defleksi sebanding dengan mutu beton, sehingga semakin besar mutu beton yang digunakan maka defleksi yang terjadi akan cenderung meningkat. Hal tersebut dikonfirmasi pada hasil nilai defleksi yang terjadi pada benda uji. Selaras dengan penelitian Salman dkk. (2018) yang mengonfirmasi bahwa defleksi meningkat seiring dengan peningkatan kuat tekan balok yang disertai dengan peningkatan kapasitas momen balok. Sementara itu, penggunaan beton gradasi menunjukkan besarnya nilai defleksi yang berada diantara balok dengan beton normal yang dicetak dengan mutu seragam. Nilai defleksi pada balok gradasi pada saat kondisi ultimit, tercatat memiliki selisih sebesar 64,27% untuk balok penampang persegi dan 33,26% untuk balok penampang T dari balok yang dicetak seragam dengan mutu yang lebih tinggi. Hal ini dapat terjadi akibat penggunaan mutu beton yang lebih tinggi pada serat tekan balok memberikan kekuatan tambahan pada seluruh penampang balok beton gradasi (Pratama dkk., 2022).

Selanjutnya, berikut adalah capaian defleksi balok pada setiap kondisi yang dikonversikan dalam bentuk rasio untuk memperoleh presentase capaian beban pada balok beton gradasi terhadap balok beton normal C40. Hal ini dikarenakan balok beton gradasi yang dicetak diharapkan mampu menghasilkan kinerja struktur yang mendekati balok normal dengan mutu beton yang lebih tinggi. Nilai defleksi pada masing-masing benda uji dikonversi dalam bentuk rasio untuk mempermudah komparasi hasil. Berikut rasio capaian defleksi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rasio Capaian Defleksi terhadap C40

Berdasarkan Gambar 3, dapat dilihat bahwa perbedaan bentuk penampang pada balok beton gradasi cenderung memiliki pola persebaran data yang sama dengan balok beton normal. Hal ini membuktikan jika perbedaan penggunaan bentuk penampang tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap capaian nilai defleksi pada balok gradasi terhadap beton normal.

5. SIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut :

a. Capaian Beban

Capaian beban maksimum pada balok beton gradasi dipengaruhi oleh mutu beton pada serat tekan. Desain penampang pada balok beton gradasi memengaruhi capaian beban yang dapat diterima oleh balok. Pada studi ini perbandingan terkait penampang T dan penampang persegi pada balok beton gradasi menunjukkan jika, balok T memiliki capaian beban yang lebih baik dibandingkan balok persegi dengan selisih 7,40%.

b. Defleksi

Nilai defleksi pada balok beton gradasi cenderung sama dengan balok beton normal dengan mutu rendah. Sementara itu, desain penampang pada balok, baik pada balok normal maupun balok gradasi menunjukkan bahwa penggunaan penampang T menghasilkan balok dengan nilai defleksi yang lebih tinggi dibandingkan penampang persegi.

6. DAFTAR RUJUKAN

- [1] Aylie, H., Gan, B. S., & Pratama, M. M. A. (2016). Effects of graded concrete on compressive strengths. *International Journal of Technology*, 7(5), 732–740. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v7i5.3449>
- [2] Damayanthi, W., Karyadi, K., Mirza, D. M., & Pratama, A. (2022). Pengaruh Dimensi Penampang dan Rasio Pembesian Lentur terhadap Kapasitas Beban Balok Beton Bertulang Berbasis Gradasi Mutu. *JURNAL BANGUNAN*, 27(2), 1–6.
- [3] Direktorat Statistik Industri. (2023). *Indikator Konstruksi, Triwulanan I-2023* (Direktorat Statistik Industri, Ed.; Vol. 17, Nomor 3). Badan Pusat Statistik.

Live and Applied Science, Volume 5

- [4] Fatimah Akbar, F., & Ridwan, M. (2019). Efek Perubahan Kapasitas Lentur Balok T Akibat Mendesain Dengan Balok Persegi. Seminar Nasional SPI-4. <https://doi.org/10.21063/SPI4.2019.o>
- [5] Gan, B. S., Aylie, H., & Pratama, M. M. A. (2015). The behavior of graded concrete, an experimental study. *Procedia Engineering*, 125, 885–891. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.076>
- [6] Mastali, M., Ghasemi Naghibdehi, M., Naghipour, M., & Rabiee, S. M. (2015). Experimental assessment of functionally graded reinforced concrete (FGRC) slabs under drop weight and projectile impacts. *Construction and Building Materials*, 95, 296–311. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.153>
- [7] Noorhidana, A. V., & Syahland, S. J. (2009). Kajian Eksperimental Pengaruh Bentuk Penampang Balok Terhadap Beban Maksimum dan Kekakuan Balok Beton Bertulang.
- [8] Prabowo, A. Y. N. (2019). Kapasitas lentur balok beton gradasi. Universitas Negeri Malang.
- [9] Pratama, M. M. A. (2021). PERILAKU LENTUR BALOK BETON GRADASI DENGAN MENGGUNAKAN TULANGAN MAKSIMUM. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 87–95.
- [10] Pratama, M. M. A., Andi, Moch. F., & Hadhinata, C. (2022). Moment-Curvature Analysis of Graded Concrete Beam with Concrete Strength Disparity Variations. *Jurnal PenSil*, 11(1), 20–35. <https://doi.org/10.21009/jpensil.v11i1.25072>
- [11] Pratama, M. M. A., Aylie, H., Gan, B. S., Umniati, B. S., Risdanareni, P., & Fauziyah, S. (2017). Effect of concrete strength gradation to the compressive strength of graded concrete, a numerical approach. *AIP Conference Proceedings*, 1887. <https://doi.org/10.1063/1.5003512>
- [12] Pratama, M. M. A., Gan, B. S., Lie, H. A., & Putra, A. B. N. R. (2019). A Numerical Analysis of The Modulus of Elasticity of The Graded Concrete. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 242, 118–120.
- [13] Pratama, M. M. A., Suhud, R. K., Puspitasari, P., Kusuma, F. I., & Rahma Putra, A. B. N. (2019). Finite element analysis of the bending moment-curvature of the double-layered graded concrete beam. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 494(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/494/1/012064>
- [14] Pratama, M. M. A., Umniati, B. S., Nindyawati, N., Margaretha, D. I., Suhud, R. K., Puspitasari, P., & Permanasari, A. A. (2021). Effect of concrete strength configuration on the structural behaviour of reinforced graded concrete beams. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1808(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1808/1/012017>
- [15] Pratama, M. M. A., Vertian, T., Umniati, B. S., & Yoh, W. H. (2019). Flexural behaviour of the functionally graded concrete beams using two-layers and three-layers configuration. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 669(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/669/1/012054>
- [16] Salman, W. D., Mansor, A., Mahmood, M., & Mansor, A. A. (2018). Article ID: IJCIET_09_10_097 of Reinforced Concrete One-Way Slabs

Live and Applied Science, Volume 5

Strengthened By Cfrp Sheets in Flexural Zone. Article in International Journal of Civil Engineering and Technology, 9(10), 1872–1881.
<http://www.iaeme.com/IJCIET/index.asp>1872<http://www.iaeme.com/ijciot/issues.asp?JType=IJCIET&VType=9&IType=10><http://www.iaeme.com/IJCIET/issues.asp?JType=IJCIET&VType=9&IType=10>

- [17] Simanjuntak, J. O., & Saragi, T. E. (2016). Perbandingan Kekuatan Balok Persegi dan Balok T dengan Luas Penampang dan Luas Tulangan yang Sama. *Jurnal Fakultas Teknik*, 2(2).
- [18] Sugianto, A., & Indriani, A. M. (2017). Pengaruh Rasio Tinggi Blok Tegangan Tekan Dan Tinggi Efektif Terhadap Lentur Balok Bertulangan Tunggal. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 5(1), 100.
<https://doi.org/10.32487/jtt.v5i1.220>