

# JURNAL GRADASI TEKNIK SIPIL

P-ISSN NO. 2598-9758 E-ISSN NO. 2598-8581

VOL. 6, NO. 2, DESEMBER 2022



Diterbitkan oleh  
Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat  
Politeknik Negeri Banjarmasin  
bekerjasama dengan  
Jurusan Teknik Sipil - Politeknik Negeri Banjarmasin

# **JURNAL GRADASI TEKNIK SIPIL POLITEKNIK NEGERI BANJARMASIN**

Jurnal Gradasi Teknik Sipil diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Politeknik Negeri Banjarmasin. Ruang lingkup makalah meliputi Bidang Teknik dan Manajemen dengan konsentrasi Bidang Transportasi, Geoteknik, Struktur, Keairan dan Manajemen Konstruksi. Isi makalah dapat berupa penyajian isu aktual di bidang Teknik Sipil, review terhadap perkembangan penelitian, pemaparan hasil penelitian, dan pengembangan metode, aplikasi, dan prosedur di bidang Teknik Sipil. Makalah ditulis mengikuti panduan penulisan.

## **Penanggung Jawab**

Nurmahaludin, ST, MT.

## **Dewan Redaksi**

Ketua : Dr. Fitriani Hayati, ST, M.Si.  
Anggota : Riska Hawinuti, ST, MT.  
Nurfitriah, S.Pd, MA.  
Kartini, S.T, M.T  
Mitra Yadiannur, M.Pd

## **Reviewer**

Dr. Ir. Yanuar Jarwadi Purwanto, MS. (Institut Pertanian Bogor)  
Dr. Ir. M. Azhar, M. Sc. (Institut Sains dan Teknologi Nasional)  
Dr. Ir. Endang Widjajanti, MT. (Institut Sains dan Teknologi Nasional)  
Joni Irawan, ST, MT. (Politeknik Negeri Banjarmasin)  
Yusti Yudiawati, ST, MT. (Politeknik Negeri Banjarmasin)  
Dr. Astuti Masdar, ST, MT. (Sekolah Tinggi Teknologi Payukumbuh)

## **Editing dan Tata Bahasa**

Nurfitriah, S.Pd., MA.

## **Desain dan Tata Letak**

Mitra Yadiannur, M.Pd

## **Alamat Redaksi**

Jurusan Gradasi Teknik Sipil Politeknik Negeri Banjarmasin, Jl. Brigjen H. Hasan Basri 70123  
Banjarmasin Telp/Fax 0511-3307757; Email: gradasi.tekniksipil@poliban.ac.id

## JURNAL GRADASI TEKNIK SIPIL

### DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
PENGARUH PENAMBAHAN ABU SERABUT KELAPA DAN <i>SIKACIM</i> <i>CONCRETE ADDITIVE TERHADAP KUAT TEKAN BETON</i> <i>Ana Maria Febriana, Sartika Nisumanti, Utasi Sriwijaya Minaka</i>	<b>74-81</b>
ANALISIS KEKUATAN GEDUNG TENGAH RUMAH SAKIT PENDIDIKAN UNIVERSITAS JAMBI <i>M. Nuklirullah, Dila Oktarise Dwina, Siti Inayah Natasya</i>	<b>82-92</b>
PENGARUH ANGKUTAN UMUM ONLINE TERHADAP ANGKUTAN UMUM KONVENSIONAL (STUDI KASUS ANGKUTAN ADL DAN <i>MAXIM</i> DI KOTA MALANG) <i>M.Sadillah, Andi Kristafi, Gualbertus jandu</i>	<b>93-101</b>
ANALISIS KECELAKAAN LALU LINTAS DAN PENANGANAN DAERAH RAWAN KECELAKAAN JALAN AHMAD YANI (RUAS KM 37 – KM 82) KABUPATEN BANJAR <i>Utami Sylvia Lestari, Yasruddin, Rabiatul Adawiyah</i>	<b>102-117</b>
KARAKTERISTIK TANAH GAMBUT TROPIS PADA LAHAN PERKEBUNAN SAWIT SERTA HUBUNGAN ANTARA PARAMETER <i>Melly Deslina, Haiki Mart Yupi, Raden Haryo Saputra</i>	<b>118-128</b>
RASIO PENAMBAHAN BIAYA TERHADAP PENINGKATAN KEKUATAN BETON PADA METODE CARBON FIBER REINFORCED POLYMER <i>Dedit P. Sektianto, Bernathius Julison, Antas H. Sinaga</i>	<b>129-134</b>
ANALISIS BEBAN KENDARAAN TERHADAP UMUR RENCANA PERKERASAN JALAN <i>Julindra Aidi, Sjelley Haniza, Alfian Saleh</i>	<b>135-141</b>
ANALISIS PENGGUNAAN SLAG UNTUK MEREDUKSI SEMEN PADA CAMPURAN BETON <i>Akbar Irawan, Moh Azhar</i>	<b>142-149</b>

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENGGUNAAN ZAT ADITIF  
TERHADAP NILAI KUAT TEKAN MORTAR

*Irianto, R. Rochmawati*

**150-156**

# RASIO PENAMBAHAN BIAYA TERHADAP PENINGKATAN KEKUATAN BETON PADA METODE CARBON FIBER REINFORCED POLYMER

Dedit P. Sektianto<sup>1</sup>, Bernathius Julison<sup>2\*</sup>, Antas H. Sinaga<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Sipil,, Universitas Cenderawasih, Indonesia

\*e-mail: [bjulison@gmail.com](mailto:bjulison@gmail.com)

## Abstrak

Salah satu cara untuk meningkatkan kuat tekan beton yang sudah mengeras adalah dengan metode Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). Biaya penerapan metode CFRP relatif mahal. Penelitian ini mencoba memberikan data awal sebagai acuan untuk menentukan perlu atau tidaknya penerapan metode CFRP pada suatu komponen struktur beton. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis perbandingan (rasio) antara penambahan biaya dan peningkatan kuat tekan beton menggunakan metode CFRP. Analisis yang digunakan adalah analisis statistik deskriptif, dengan menggunakan nilai rata-rata (mean) sebagai dasar perhitungannya. Penelitian ini menyimpulkan bahwa rasio antara penambahan biaya dengan kenaikan kuat tekan beton dengan metode CFRP adalah 678.615 rupiah untuk setiap penambahan 1 kg/cm<sup>2</sup> kuat tekan beton. Berdasarkan komponen struktur, rasio untuk balok, pelat, dan kolom beton adalah masing-masing 1.077.299; 1.411.709 dan 330.376 rupiah per kg/cm<sup>2</sup> untuk setiap penambahan 1 kg/cm<sup>2</sup> kuat tekan beton.

**Kata kunci**— Kenaikan kuat tekan beton, metode CFRP, penambahan biaya, rasio

## Abstract

One way to increase the compressive strength of hardened concrete is the Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) method. The cost of implementing the CFRP method is relatively expensive. This study tries to provide initial data as a reference to determine whether or not the application of the CFRP method to a concrete structural component is necessary. The purpose of this study was to analyze the comparison (ratio) between the additional cost and the increase in the compressive strength of concrete with the CFRP method. The analysis used is descriptive statistical analysis, using the average value (mean) as the basis for the calculation. This study concludes that the ratio between the additional cost and the increase in the compressive strength of concrete using the CFRP method is 678,615 rupiahs for each addition of 1 kg/cm<sup>2</sup> of concrete compressive strength. Based on the structural components, the ratio of concrete beams, slabs, and columns is 1,077,299; 1,411,709 and 330,376 rupiah per kg/cm<sup>2</sup> compressive strength of concrete, respectively.

**Keywords**— CFRP method, concrete compressive strength increment, cost addition, ratio

## I. PENDAHULUAN

Kualitas suatu bangunan, khususnya bangunan gedung dan hunian, adalah hal yang mutlak untuk keamanan, kenyamanan dan kesehatan pengguna bangunan (Abisuga, Famakin dan Oshodi, 2016). Saat

ini, berbagai macam material dapat digunakan untuk membangun gedung. Beberapa di antaranya adalah: material kayu, plastik, baja, bahan komposit dan beton bertulang (Vefago dan Avellaneda, 2013). Untuk bangunan yang kekuatan strukturnya mengandalkan beton bertulang, maka kualitas dari beton bertulang

tersebut tentu mempengaruhi keamanan, kenyamanan dan kesehatan pengguna bangunan tersebut.

Ada beberapa ukuran untuk menentukan kualitas suatu beton bertulang. Ukuran tersebut meliputi: kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, kuat belah dan kuat aus (Mahmood, 2007; Malagavelli dan Patura 2011; Wariyatno dan Haryanto, 2013). Salah satu ukuran kualitas beton bertulang yang sering digunakan dan populer di masyarakat umum adalah kuat tekan beton. Ada dua satuan yang digunakan untuk menentukan kuat tekan beton yaitu kilogram per centimeter persegi ( $\text{kg/cm}^2$ ) (PBI, 1971) dan mega pascal (MPa) (SNI, 2002). Angka mutu beton K-275 menunjukkan bahwa beton tersebut mampu menahan gaya tekan 275 kg untuk setiap sentimeter persegi luas penampangnya. Adapun angka mutu beton 25 MPa menunjukkan bahwa beton tersebut mampu menahan gaya tekan 25 Newton untuk setiap milimeter persegi luas penampangnya.

Oleh karena berbagai sebab, kekuatan beton bertulang dapat tidak memenuhi kuat tekan beton yang dipersyaratkan (Oduola, 2010). Beberapa penyebab beton bertulang tidak memenuhi kuat tekan beton yang dipersyaratkan adalah: penggunaan dan penyiapan material yang kurang baik, proses pencampuran, pengecoran, perkerasan material beton, dan proses pemeliharaan pasca pengecoran serta pembongkaran bekisting beton yang tidak sempurna (Kazaz dan Turker, 2004; Lobo, Lemat dan Obla, 2006; Nama et al, 2015; Oduola, 2010).

Kekuatan beton bertulang yang sudah mengeras dapat diperbaiki. Beberapa metode perbaikan tersebut adalah: injeksi menggunakan resin, *grouting*, mengganti tulangan, pembesaran ukuran (*jacketing*), *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* dan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* (Aslam, Sami dan Raza, 2021; Khalid-Heiza, Meleka dan Tayel, 2014; Mortazavi, Pilakoutas dan Son, 2003; Shannag et al., 2020; Van Den Einde, Zhao dan Seible, 2003).

Metode *CFRP* untuk meningkatkan kuat tekan beton bertulang cukup banyak digunakan. Hal ini disebabkan oleh pengerjaannya yang tidak memerlukan alat berat, saat pelaksanaannya tidak mengganggu pekerjaan yang lain, dan mampu meningkatkan kekuatan beton secara bermakna (Chen, Gao dan Sun, 2015; Ha, Kim dan Cho, 2008). Namun demikian, metode *CFRP* membutuhkan biaya yang relatif besar (Achmad, Respati dan Sunarno, 2016; Aprisandi, Hariyanto dan Masturoh, 2021; Prastyo et al., 2019). Biaya yang

relatif besar tersebut menjadi salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan.

Penelitian ini berupaya untuk menyediakan acuan awal dalam melakukan evaluasi tentang efisiensi penggunaan metode *CFRP* untuk perbaikan kekuatan beton. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis rasio penambahan biaya terhadap peningkatan kekuatan tekan beton yang menggunakan metode *CFRP*. Adapun data yang digunakan diambil dari Proyek Pembangunan Gedung 2 DPR Papua Tahap II yang dikerjakan pada tahun 2019.

## II. METODE PENELITIAN

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis statistik deskripsi (Peck dan Devore, 2011). Penelitian ini menggunakan nilai rata-rata *mean* sebagai alat pembanding untuk menghasilkan rasio penambahan biaya terhadap peningkatan kuat tekan beton yang menggunakan metode *CFRP*.

Dalam penelitian ini, terdapat 6 langkah analisis. Keenam langkah analisis tersebut adalah: (i) menguji kuat tekan sampel beton di laboratorium, (ii) mengonversi hasil uji kuat tekan beton ke kuat tekan beton usia 28 hari, dan menghitung rata-ratanya, (iii) melakukan uji kuat tekan beton *Hammer Test* terhadap komponen struktur beton yang telah diperkuat dengan metode *CFRP*, (iv) menghitung rata-rata peningkatan kuat tekan beton setelah diperkuat dengan menggunakan metode *CFRP*, (v) menghitung rata-rata penambahan biaya beton setelah diperkuat dengan menggunakan metode *CFRP*, dan (vi) menghitung rata-rata rasio penambahan biaya terhadap peningkatan kuat tekan beton setelah diperkuat dengan menggunakan metode *CFRP*.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas beton yang dipersyaratkan dalam proyek konstruksi ini adalah beton K-300. Kualitas tersebut menuntut bahwa beton harus mampu menahan kuat tekan sebesar 300 kg untuk setiap sentimeter persegi luas penampangnya. Untuk mengetahui kuat tekan beton terpasang yang sesungguhnya, dilakukan uji kuat tekan sampel beton di laboratorium. Adapun hasil uji tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa sampel uji beton diambil dari beton yang digunakan dari Lantai 8 hingga Lantai 15. Untuk sampel uji kolom beton, dari Lantai 8 hingga Lantai 13 diambil dari dua buah kolom, sedangkan dari Lantai 14 diambil dari satu buah kolom. Sedangkan, untuk sampel uji balok beton diambil dari

dua buah balok di Lantai 13, dan satu buah balok dari Lantai 14 dan Lantai 15. Adapun untuk sampel uji plat beton diambil dari dua buah plat di Lantai 13, dan satu buah plat dari Lantai 14 dan Lantai 15.

TABEL 1. Kuat Tekan Beton Hasil Uji Laboratorium (kg/cm<sup>2</sup>)

Nomor Lantai	Kode Komponen Struktur	Usia Beton		
		7 hari	14 hari	28 hari
Lantai 8	Kolom K.8.1	541	381	336
	Kolom K.8.2	541	216	239
Lantai 9	Kolom K.9.1	385	240	231
	Kolom K.9.2	427	349	321
Lantai 10	Kolom K.10.1	311	211	205
	Kolom K.10.2	311	236	206
Lantai 11	Kolom K.11.1	296	180	187
	Kolom K.11.2	296	204	207
Lantai 12	Kolom K.12.1	307	215	221
	Kolom K.12.2	307	245	222
Lantai 13	Balok B.13.1	311	217	211
	Balok B.13.2	315	209	208
	Plat P.13.1	310	215	208
	Plat P.13.2	314	207	205
	Kolom K.13.1	323	229	233
Lantai 14	Balok B.14.1	338	238	248
	Plat P.14.1	337	236	245
	Kolom K.14.1	315	211	241
Lantai 15	Balok B.15.1	326	269	249
	Plat P.15.1	325	267	246

Hasil uji sampel beton, seperti dapat dilihat pada Tabel 1, tidak dapat langsung digunakan untuk analisis. Hal ini disebabkan oleh perlunya mengonversi kekuatan sampel beton yang berusia 7 hari dan 14 hari ke sampel beton usia 28 hari. Hasil konversi tersebut dan nilai rata-ratanya dapat dilihat pada Tabel 2.

Seperti dapat dilihat pada Tabel 2, rata-rata kuat tekan beton riil seluruhnya adalah 223 kg/cm<sup>2</sup>, dengan simpangan baku sebesar 42 kg/cm<sup>2</sup>. Pada tabel tersebut juga dapat dilihat bahwa hanya ada 2 buah komponen struktur yang mempunyai nilai rata-rata kuat tekan betonnya sesuai dengan persyaratan, yaitu kolom K.8.1 dan kolom K.9.2. Nilai rata-rata kuat tekan beton kedua kolom tersebut adalah 341 dan 302 kg/cm<sup>2</sup>. Adapun komponen struktur lainnya memiliki nilai rata-rata kuat tekan beton berada di bawah kualitas yang dipersyaratkan (300 kg/cm<sup>2</sup>). Dengan demikian diputuskan bahwa semua komponen struktur perlu diperkuat. Setelah melalui berbagai pertimbangan, maka diputuskan untuk melakukan perkuatan beton

dengan menggunakan metode *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*.

TABEL 2. Rata-rata Hasil Uji Kuat Tekan Beton setelah Dikonversi ke 28 Hari dan Dikelompokkan menurut Komponen Strukturnya (kg/cm<sup>2</sup>)

Kode Komponen Struktur	Usia Beton (hari)			Rata-rata Kuat Tekan Beton
	7	14	28	
B.13.1	202	191	211	201
B.13.2	205	184	208	199
B.14.1	220	210	248	226
B.15.1	212	237	249	233
P.13.1	202	189	208	200
P.13.2	204	182	205	197
P.14.1	219	208	245	224
P.15.1	211	235	246	231
K.8.1	352	335	336	341
K.8.2	352	190	239	260
K.9.1	250	211	231	231
K.9.2	278	307	321	302
K.10.1	202	186	205	198
K.10.2	202	207	206	205
K.11.1	192	158	187	179
K.11.2	192	179	207	193
K.12.1	200	189	221	203
K.12.2	200	216	222	213
K.13.1	210	201	233	215
K.13.2	210	231	215	218
K.14.1	205	186	241	211
Rata-rata kuat tekan beton seluruhnya				<b>223</b>
Simpangan baku				<b>42</b>

Seluruh komponen struktur yang terdapat pada Tabel 2, diterapkan perkuatan beton dengan menggunakan metode *CFRP*. Setelah diperkuat dengan metode *CFRP*, kuat tekan beton diuji dengan menggunakan metode *Hammer Test*. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. Pada tabel tersebut tampak bahwa rata-rata kuat tekan beton untuk balok, plat dan kolom beton setelah diperkuat dengan menggunakan metode *CFRP* adalah masing-masing sebesar 658, 587 dan 781 kg/cm<sup>2</sup>. Pada tabel tersebut juga dapat dilihat bahwa untuk balok dan kolom beton, metode *CFRP* dapat menghasilkan kuat tekan beton yang lebih dari 2 kali yang dipersyaratkan (300 kg/cm<sup>2</sup>).

TABEL 3. Rata-rata Kuat Tekan Beton setelah Diperkuat dengan CFRP menurut Komponen Strukturnya (kg/cm<sup>2</sup>)

Komponen Struktur	Perkuatan CFRP
Balok	658
Plat	587
Kolom	781

Untuk mendapatkan peningkatan kuat tekan beton setelah diperkuat dengan menggunakan metode *CFRP*, maka dihitung selisih antara kuat tekan beton realisasi semula dan kuat tekan beton setelah diperkuat dengan menggunakan metode *CFRP*. Adapun hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4. Secara keseluruhan, rata-rata penambahan atau peningkatan kuat tekan beton yang terjadi setelah diperkuat dengan metode *CFRP* adalah sebesar 498 kg/cm<sup>2</sup> dengan simpangan baku sebesar 82 kg/cm<sup>2</sup> (lihat Tabel 4).

TABEL 4. Peningkatan Kuat Tekan Beton karena Diperkuat dengan Metode *CFRP* (kg/cm<sup>2</sup>)

Kode Komponen Struktur	Kuat Tekan Beton		
	Realisasi	Perkuatan <i>CFRP</i>	Peningkatan
B.13.1	201	658	457
B.13.2	199	658	459
B.14.1	226	658	433
B.15.1	233	658	426
P.13.1	200	587	387
P.13.2	197	587	390
P.14.1	224	587	363
P.15.1	231	587	356
K.8.1	341	781	440
K.8.2	260	781	521
K.9.1	231	781	550
K.9.2	302	781	479
K.10.1	198	781	583
K.10.2	205	781	576
K.11.1	179	781	602
K.11.2	193	781	588
K.12.1	203	781	578
K.12.2	213	781	568
K.13.1	215	781	566
K.13.2	218	781	563
K.14.1	211	781	570
Rata-rata peningkatan seluruhnya			<b>498</b>
Simpangan baku			<b>82</b>

Hasil dari Tabel 4 dianalisis lebih lanjut untuk memperoleh rata-rata peningkatan kuat tekan beton yang terjadi menurut komponen strukturnya. Analisis tersebut menghasilkan, bahwa rata-rata peningkatan kuat tekan beton adalah sebesar 444, 374, dan 553 kg/cm<sup>2</sup> untuk balok, plat dan kolom beton, dengan simpangan baku masing-masing adalah 14, 15 dan 44 kg/cm<sup>2</sup> (lihat Tabel 5).

TABEL 5. Rata-rata Peningkatan Kuat Tekan Beton (kg/cm<sup>2</sup>)

Komponen Struktur	Rata-rata Peningkatan	Simpangan Baku
Balok	444	14
Plat	374	15
Kolom	553	44

Perkuatan menggunakan metode *CFRP* tentu saja membutuhkan biaya tambahan. Biaya tambahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 6. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa rata-rata penambahan biaya seluruhnya adalah sebesar 301.488.950 rupiah, dengan simpangan baku sebesar 196.069.835 rupiah. Besaran simpangan baku yang lebih dari 50% nilai rata-ratanya memperlihatkan bahwa sebaran data terlalu lebar, sehingga perlu dirinci lebih lanjut berdasarkan komponen strukturnya.

TABEL 6. Penambahan Biaya Beton karena Diperkuat dengan Metode *CFRP* (rupiah)

Kode Komponen Struktur	Rencana	Pasca Perkuatan	Penambahan
B.13.1	1.053.322.132	1.569.868.986	516.546.854
B.13.2	599.813.972	821.191.195	221.377.223
B.14.1	1.553.619.120	2.210.814.508	657.195.388
B.15.1	913.553.001	1.414.564.921	501.011.920
P.13.1	785.339.145	1.352.293.938	566.954.793
P.13.2	336.573.919	579.554.545	242.980.626
P.14.1	1.202.394.624	2.044.295.759	841.901.135
P.15.1	394.606.227	834.751.076	440.144.849
K.8.1	440.851.619	654.753.523	213.901.904
K.8.2	440.851.619	654.753.523	213.901.904
K.9.1	336.483.622	519.828.111	183.344.489
K.9.2	336.483.622	519.828.111	183.344.489
K.10.1	336.483.622	519.828.111	183.344.489
K.10.2	336.483.622	519.828.111	183.344.489
K.11.1	336.483.622	519.828.111	183.344.489
K.11.2	336.483.622	519.828.111	183.344.489
K.12.1	336.483.622	519.828.111	183.344.489
K.12.2	336.483.622	519.828.111	183.344.489
K.13.1	353.583.978	536.928.468	183.344.490
K.13.2	336.483.622	519.828.111	183.344.489
K.14.1	441.341.757	523.248.230	81.906.473
Rata-rata penambahan biaya seluruhnya			<b>301.488.950</b>
Simpangan baku			<b>196.069.835</b>

Seperti dapat dilihat pada Tabel 7, menurut komponen strukturnya, rata-rata penambahan biaya untuk balok, plat dan kolom beton adalah masing-masing sebesar 474.032.846; 522.995.351 dan 180.242.706 rupiah. Adapun simpangan bakunya

masing-masing sebesar 158.049.590; 217.316.465 dan 30.422.801 rupiah untuk balok, plat dan kolom beton.

K.14.1	81.906.473	570	143.571
	Rata-rata rasio seluruhnya		<b>678.615</b>
	Simpangan baku		<b>555.305</b>

TABEL 7. Rata-rata Penambahan Biaya Beton karena Diperkuat dengan Metode CFRP (rupiah)

Komponen Struktur	Rata-rata Penambahan	Simpangan Baku
Balok	474.032.846	158.049.590
Plat	522.995.351	217.316.465
Kolom	180.242.706	30.422.801

Untuk mengetahui tingkat efisiensi dari perkuatan beton dengan menggunakan metode *CFRP*, maka perlu dihitung rasio penambahan biaya yang harus dikeluarkan terhadap peningkatan kuat tekan beton yang diterima. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 8.

Pada Tabel 8 dapat dilihat, bahwa rata-rata rasio penambahan biaya terhadap peningkatan kuat tekan beton adalah sebesar 678.615 rupiah, dengan simpangan baku sebesar 555.305 rupiah, untuk setiap peningkatan 1 kg/cm<sup>2</sup> kuat tekan beton. Besaran simpangan baku yang lebih dari 75% nilai rata-ratanya memperlihatkan bahwa sebaran data terlalu lebar, sehingga perlu dirinci lebih lanjut berdasarkan komponen strukturnya.

TABEL 8. Rasio Penambahan Biaya terhadap Peningkatan Kuat Tekan Beton dengan Metode CFRP

Kode Komponen Struktur	Penambahan Biaya (Rp)	Peningkatan Kekuatan (kg/cm <sup>2</sup> )	Rasio {Rp/(kg/cm <sup>2</sup> )}
B.13.1	516.546.854	457	1.130.794
B.13.2	221.377.223	459	481.939
B.14.1	657.195.388	433	1.519.328
B.15.1	501.011.920	426	1.177.134
P.13.1	566.954.793	387	1.465.063
P.13.2	242.980.626	390	623.779
P.14.1	841.901.135	363	2.320.949
P.15.1	440.144.849	356	1.237.045
K.8.1	213.901.904	440	486.089
K.8.2	213.901.904	521	410.679
K.9.1	183.344.489	550	333.093
K.9.2	183.344.489	479	382.746
K.10.1	183.344.489	583	314.307
K.10.2	183.344.489	576	318.354
K.11.1	183.344.489	602	304.586
K.11.2	183.344.489	588	311.839
K.12.1	183.344.489	578	317.331
K.12.2	183.344.489	568	322.602
K.13.1	183.344.490	566	323.816
K.13.2	183.344.489	563	325.880

Untuk mendapatkan rata-rata rasio menurut komponen strukturnya maka data pada Tabel 8 dianalisis lebih lanjut. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 9. Pada tabel tersebut, tampak bahwa rata-rata rasio untuk balok, plat dan kolom beton adalah masing-masing sebesar 1.077.299; 1.411.709 dan 330.376 rupiah untuk setiap peningkatan 1 kg/cm<sup>2</sup> kuat tekan beton. Adapun simpangan bakunya untuk balok, plat dan kolom beton masing-masing adalah sebesar 375.057; 608.462 dan 73.404 rupiah untuk setiap peningkatan 1 kg/cm<sup>2</sup> kuat tekan beton.

Seperti dapat dilihat pada Tabel 9, plat beton adalah komponen struktur yang membutuhkan biaya peningkatan kekuatan yang tertinggi, sedangkan balok beton adalah yang ke-2. Dengan demikian untuk menghindari pengeluaran tambahan bagi peningkatan kualitas beton yang di bawah persyaratan, pelaksanaan pekerjaan plat dan balok beton perlu dilakukan dengan lebih cermat dan sesuai dengan prosedur yang dipersyaratkan. Apabila memang dibutuhkan perbaikan atau peningkatan kuat tekan untuk plat dan balok beton, maka disarankan untuk menggunakan metode lain yang lebih efisien.

TABEL 9. Rata-rata Rasio Penambahan Biaya terhadap Peningkatan Kuat Tekan Beton dengan Metode CFRP (rupiah per kg/cm<sup>2</sup>)

Komponen Struktur	Rata-rata Rasio	Simpangan Baku
Balok	1.077.299	375.057
Plat	1.411.709	608.462
Kolom	330.376	73.404

#### IV KESIMPULAN

Rasio antara penambahan biaya dan peningkatan kekuatan beton menggunakan metode *CFRP* adalah 678.615 rupiah/(kg/cm<sup>2</sup>). Rata-rata rasio antara penambahan biaya dan peningkatan kekuatan beton menggunakan metode *CFRP* untuk balok beton adalah 1.077.299 rupiah/(kg/cm<sup>2</sup>), untuk plat beton adalah 1.411.709 rupiah/(kg/cm<sup>2</sup>), dan untuk kolom beton adalah 330.376 rupiah/(kg/cm<sup>2</sup>).

**REFERENSI**

- Abisuga, A. O., Famakin, I. O., and Oshodi, O. S. (2016). Educational building conditions and the health of users. *Construction Economics and Building*, 16(4), pp.19-34.
- Achmad, K., Respati, S. W., dan Sunarno, S. (2016). Pemanfaatan material lokal dengan perkuatan CFRP untuk penanganan longsor di wilayah Balikpapan Kalimantan Timur. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 4(2), pp.58-65.
- Aprisandi, D., Hariyanto, B., dan Masturoh, T. S. (2021). Perencanaan biaya dan waktu terhadap perkuatan struktur bangunan bertingkat dengan FRP (Fiber Reinforced Polymer). *Journal of Sustainable Civil Engineering (JOSCE)*, 3(02).
- Aslam, H. M. U., Sami, A., and Raza, A. (2021). Axial compressive behavior of damaged steel and GFRP bars reinforced concrete columns retrofitted with CFRP laminates. *Composite Structures*, 258, 113206.
- Chen, Y. X., Gao, K. W., and Sun, Y. H. (2015). Application and prospect of CFRP. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Materials Engineering and Computer Sciences (IWMECS)*, Jinan, China, October, pp.10-11.
- Ha, G. J., Kim, Y. Y., and Cho, C. G. (2008). Groove and embedding techniques using CFRP trapezoidal bars for strengthening of concrete structures. *Engineering Structures*, 30(4), pp.1067-1078.
- Kazaz, A., Ulubeyli, S., and Turker, F. (2004). The quality perspective of the ready-mixed concrete industry in Turkey. *Building and Environment*, 39(11), pp.1349-1357.
- Khalid-Heiza, A. N., Meleka, N., and Tayel, M. (2014, March). State-of-the-art review: Strengthening of reinforced concrete structures—different strengthening techniques. In *Sixth International Conference on Nano-Technology in Construction*, 6, pp.22-24.
- Lobo, C., Lemay, L., and Obla, K. (2006). Performance-based specifications for concrete. In *Building Integration Solutions*, pp.1-13.
- Mahmood, K. (2007). Factors affecting reinforced concrete construction quality in Pakistan. In *CBM-CI International Workshop*, pp.374-380. Citeseer Karachi, Pakistan.
- Malagavelli, V., and Patura, N. R. (2011). Strength characteristics of concrete using solid waste an experimental investigation. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 4(6).
- Mortazavi, A. A., Pilakoutas, K., and Son, K. S. (2003). RC column strengthening by lateral pre-tensioning of FRP. *Construction and Building Materials*, 17(6-7), pp.491-497.
- Nama, P., Jain, A., Srivastava, R., and Bhatia, Y. (2015). Study on causes of cracks and its preventive measures in concrete structures. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 5(5), pp.119-123.
- Oduola, R. O. (2010). Poor quality concrete: A major challenge in the building construction industry in Nigeria. In *Structures and Architecture-Proceedings of the 1st International Conference on Structures and Architecture*, pp.1642-1650.
- PBI (1971). *Peraturan Beton Indonesia 1971*. Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik Republik Indonesia, Bandung.
- Peck, R., and Devore, J. L. (2011). *Statistics: The exploration and analysis of data*. Cengage Learning.
- Prastyo, N.S.D, Prawesti, R., Sugiharto, S., dan Sukoyo, S. (2019). Pengaruh penambahan serbuk ban bekas terhadap parameter Marshall pada aspal beton campuran panas lapis aus AC-WC perkuatan struktur kolom dan balok akibat perubahan layout ruangan dengan metode CFRP (Studi Kasus: Pembangunan masjid As-Shohabat Tembalang). *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, 23(1), pp.29-36.
- Shannag, M. J., and Higazey, M. (2020). Strengthening and repair of a precast reinforced concrete residential building. *Civil Engineering Journal*, 6(12), pp.2457-2473.
- SNI (2002). *Standar Nasional Indonesia 03-2847-2002: Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung*. Badan Standar Nasional, Bandung.
- Van Den Einde, L., Zhao, L., and Seible, F. (2003). Use of FRP composites in civil structural applications. *Construction and Building Materials*, 17(6-7), pp.389-403.
- Vefago, L. H. M., and Avellaneda, J. (2013). Recycling concepts and the index of recyclability for building materials. *Resources, Conservation and Recycling*, 72, pp.127-135.
- Wariyatno, N. G., dan Haryanto, Y. (2013). Kuat tekan dan kuat tarik belah sebagai nilai estimasi kekuatan sisa pada beton serat kasa aluminium akibat variasi suhu. *Dinamika Rekayasa*, 9(1), pp.21-28.