

ANALISIS PERBANDINGAN *PCI GIRDER EXISTING* DENGAN *PCU GIRDER* PADA PROYEK JEMBATAN UTAMA KALI PESANGGRAHAN

Agisna Reza Firmadi¹⁾, Budiono²⁾, Titik Penta Artiningsih³⁾

ABSTRAK

Pembangunan Jembatan Utama Kali Pesanggrahan adalah salah satu bagian dari Proyek Jalan Tol Cinere – Jagorawi Seksi III, untuk menghubungkan jalan tol Cinere – Kukusan dengan jalan tol Cinere – Serpong yang sudah dibangun sebelumnya untuk mengurangi kemacetan lalu lintas dari Jabodetabek menuju Tangerang/Bandara. Dengan panjang efektif ±132,2 m dan terdiri dari 4 bentang *Prestressed Concrete I (PCI)* yang menggunakan sistem kontruksi beton prategang. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan *PCU girder* sebagai pembanding *PCI girder existing* sehingga didapatkan penampang yang lebih ekonomis dari segi desain dan biaya. Untuk metode penyelesaiannya sendiri digunakan metode perhitungan menggunakan batasan teori dari SNI T-12 2004, ACI 318R-14 dan T.Y.Lin Ned. 1981.

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa *PCU girder* lebih mahal daripada *PCI girder*, dengan luas total *PCU girder* sebesar 257,340 m², sedangkan luas total *PCI girder* 186,362 m². Jumlah girder hasil desain dari *PCU girder* adalah 7 buah dengan jarak antar girder 3,1 m, sedangkan *PCI girder* berjumlah 9 buah dengan jarak antar girder 2,3 m. Kedua girder menggunakan *Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 GRADE 270*. Untuk hasil desain dari *PCU girder*, digunakan 4 tendon dan 76 strands, sedangkan *PCI existing* menggunakan 3 tendon dan 57 strands. Biaya total *PCU girder* adalah sebesar Rp 1.923.870.953,20, sedangkan *PCI girder* sebesar Rp 1.811.268.807,79 dengan kenaikan sebesar 6,22%. Oleh sebab itu diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap segi waktu, (seperti lamanya *erection*) dan kemudahan pelaksanaan sebagai bahan perbandingan, dapat dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan dimensi *PCU Girder* yang berbeda dan diharapkan bagi perencana jembatan untuk memperhatikan kehilangan gaya prategang agar tidak mendekati batas kehilangan yang diizinkan.

Kata kunci : Beton Prategang, PCI Girder, PCU Girder

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan merupakan suatu konstruksi atau bangunan yang berfungsi untuk menghubungkan antara dua bagian jalan yang terputus karena adanya suatu rintangan. Ada banyak tipe jembatan, seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan yang pada mulanya jembatan dibuat menggunakan kayu kemudian membuat jembatan dengan beton dan berkembang menjadi beton prategang.

Menurut SNI 2847:2019, beton prategang adalah beton bertulang dimana tegangan dalam diberikan untuk mereduksi tegangan tarik potensial dalam beton yang dihasilkan dari beban, karena hal tersebut beton prategang dapat mengurangi efek lendutan akibat beban di

atasnya, serta mengurangi volume material dan beban struktur.

Desain awal yang direncanakan pada proyek Jembatan Utama Kali Pesanggrahan menggunakan *PCI girder*, sehingga penulis ingin mendesain ulang menggunakan alternatif lain sebagai pembanding dari perencanaan awal dan bahan pembelajaran.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.2.1 Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk merencanakan *PCU girder* sebagai pembanding *PCI girder existing*.

1.2.2 Tujuan Penelitian

Mendapatkan penampang yang lebih ekonomis dari segi desain dan biaya

1.3 Batasan Masalah

Adapun yang menjadi batasan masalah sebagai berikut :

1. Struktur beton prategang yang ditinjau adalah PCI girder dengan bentang 30,8 m yang dipasang antara A1 – P1 (P1A dan P1B) pada Jembatan Utama Kali Pesanggrahan
2. Data perhitungan umum yang digunakan sesuai dengan data yang berasal dari perhitungan desain *PCI girder* Jembatan Utama Kali Pesanggrahan, untuk data yang belum ada ditentukan sendiri secara wajar.
3. Sistem penegangan dengan cara *post-tension*.
4. Tidak merencanakan perkerasan dan desain jalan pendekat jembatan.
5. Tidak melakukan perencanaan terhadap analisis waktu pelaksanaan.
6. Hanya membandingkan kedua *girder* dari segi desain dan biaya.
7. Metode perhitungan menggunakan Batasan teori. SNI T-12 2004, ACI 318R14 dan T.Y.Lin Ned. 1981.

II. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Jembatan

Lokasi jembatan yang dipakai sebagai bahan perencanaan berada di Kecamatan Sawangan, Kota Depok. Berikut ini gambar yang menunjukkan lokasi jembatan :



Gambar 2.1 Lokasi Jembatan

2.2 Metode Penelitian

Perencanaan jembatan diawali dengan pengambilan data sekunder jembatan *existing*. Data sekunder ini diperoleh dari PT. PP Presisi Tbk sebagai *main contractor*. Data yang diperoleh adalah seperti lebar jembatan, panjang jembatan dan data pendukung lainnya, yang kemudian akan digunakan sebagai acuan desain struktur girder jembatan. Langkah selanjutnya adalah dengan melakukan perhitungan dan perencanaan jembatan dengan

desain jembatan U girder. Perhitungan dan perencanaan dilakukan dengan tahap – tahap berikut :

1. Perencanaan model *girder* jembatan.
2. Perhitungan pembebanan jembatan berdasarkan SNI 1725-2016.
3. Perhitungan gaya prategang, momen dan lendutan
4. Gambar hasil desain.

2.3 Pengumpulan Data

Dalam perencanaan jembatan ini data diperoleh dari PT. PP Presisi. Adapun data – data yang digunakan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut :

- a. Data dimensi *girder*
- b. Jenis material *girder*
- c. Desain respon spektra
- d. Berat jenis dan besar beban yang digunakan
- e. Peraturan – peraturan terkait perencanaan

Data *existing girder* :

- Panjang girder : 30,8 m
- Luas girder : 0,6723 m²
- Jarak antar girder : 2,3
- Lebar jembatan : 20,75 m
- Tebal plat lantai jembatan : 0,25
- Tebal lapisan aspal : 0,05 m
- Mutu Beton, f_c' : 49,8 MPa
- Jenis Strand: *PC Strand* Ø 12,7 mm *Grade 270* dengan standar JIS-3536 atau ASTM-416
- Jumlah Strand : 76 Strands
- Jumlah Balok : 9 Buah

2.4 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan setelah data – data yang dibutuhkan terkumpul. Selanjutnya langkah – langkah yang dilakukan oleh penulis sebagai berikut :

1. Perencanaan Desain Awal Jembatan
Penulis melakukan Perencanaan desain awal jembatan yang meliputi hal – hal sebagai berikut :
2. Menentukan dimensi *girder*
 - a. Penentuan dimensi *girder* didapat dari rumus sebagai berikut : $h = L/20$
 - b. Menentukan material jembatan
3. Perhitungan Jenis Pembebanan
 - a. Berat sendiri
 - b. Beban mati tambahan

- c. Beban lalu lintas
- d. Beban aksi lingkungan
- 4. Analisis Struktur

Pada tahap ini, penulis menentukan beban dan kombinasi beban apa saja yang akan diberikan kepada struktur dengan menggunakan *software Excel*.
- 5. Analisa Penampang

Tahap ini dilakukan untuk mengetahui tegangan yang bekerja pada penampang dan dikontrol terhadap tegangan ijin dengan menggunakan *software Excel*.
- 6. Desain Gaya Prategang dan Layout Tendon

Penulis melakukan desain gaya prategang dalam dua tahap, yaitu perhitungan kehilangan gaya prategang penampang terhadap ES, CR, SH dan RE. Untuk kehilangan gaya prategang yang diizinkan adalah sebesar 20% untuk pasca tarik.

Tabel 2.1 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan Gaya Prategang	Pratarik (%)	Pasca tarik (%)
Perpendekan elastik dan lenturan balok	4	1
Rangak beton	6	5
Susut beton	7	6
Relaksasi baja	8	8
Kehilangan total	25	20

Sumber : Lin & Burms.1981

- 7. Perencanaan Tulangan Geser

Selain didesain terhadap lentur, balok prategang juga perlu didesain terhadap geser.
- 8. Perhitungan lendutan

Tahap ini dilakukan untuk mengetahui besarnya lendutan pada *girder* dengan menggunakan *software Excel*.
- 9. Perbandingan Harga

Setelah mendapat hasil perhitungan yang aman girder dihitung harganya dengan menggunakan *software Excel*. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut akan dilakukan analisis perbandingannya. Perbandingan yang ditinjau adalah biaya total sesuai dengan spesifikasi desain.
- 10. Penggambaran Hasil Desain

Girder yang telah didesain kemudian ditampilkan dalam bentuk gambar Teknik, menggunakan *software AutoCAD*

III. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

3.1 Perencanaan Desain Awal Jembatan

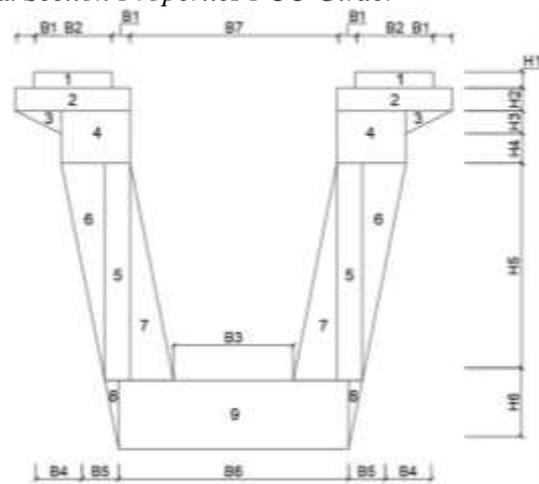
Tentukan tinggi profil dengan rumus :

$$h = \frac{L}{20} = \frac{30,8}{20} = 1,54 \text{ m}$$

Dicoba menggunakan profil 165

3.2 Perhitungan Struktur PCU Girder

a. *Section Properties PCU Girder*



Gambar 3.1 Dimensi PCU rencana

Letak titik berat, $y_b = (\Sigma A \times y) / \Sigma A = 0,785 \text{ m}$

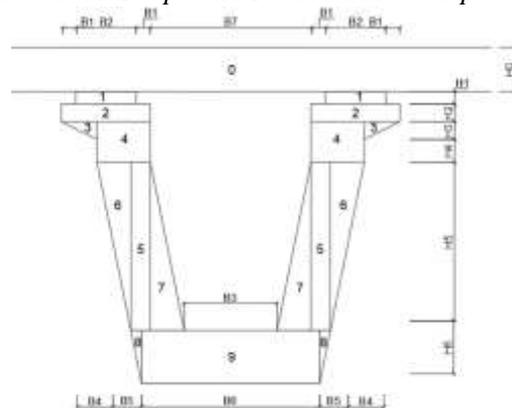
$y_a = h - y_b = 0,865 \text{ m}$

$I_x = 0,317 \text{ m}^4$

$W_a = I_x / y_a = 0,366 \text{ m}^3$

$W_b = I_x / y_b = 0,403 \text{ m}^3$

b. *Section Properties PCU Girder Composite*



Gambar 3.2 Dimensi PCU rencana komposit

$$y_{bc} = (\sum A_c \times y) / \sum A_c = 1,075 \text{ m}$$

$$y_{ac} = h - y_{bc} = 0,613 \text{ m}$$

$$i_{xc} = 0,564 \text{ m}^4$$

$$W_{ac} = i_{xc} / y_{ac} = 0,920 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = i_{xc} / (y_{ac} - h_0) = 1,555 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = i_{xc} / y_{bc} = 0,524 \text{ m}^3$$

3.3 Analisis Pembebanan

Tabel 3.1 Beban pada balok prategang

Jenis Beban		kNm
Berat balok		3609,196
Berat sendiri	MS	5709,764
Mati tambahan	MA	418,825
Lajur "D"	TD	4540,074
Rem	TB	61,427
Angin	EW	119,529
Gempa	EQ	1685,362

3.4 Lintasan Inti Tendon

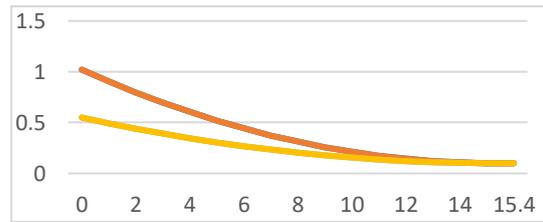
Posisi masing – masing tendon diperoleh dari rumus :

$$Z_i = Z_i' - 4 \times f_i \times \frac{x}{L^2} \times (L - x)$$

Tabel 3.2 Posisi masing – masing kabel

Jarak X m	Trace Z0 (m)	Posisi masing masing cable			
		z1	z2	z3	z4
0	0,785	1,021	1,021	0,550	0,550
1	0,699	0,905	0,905	0,493	0,493
2	0,619	0,797	0,797	0,441	0,441
3	0,544	0,697	0,697	0,392	0,392
4	0,476	0,605	0,605	0,347	0,347
5	0,413	0,520	0,520	0,305	0,305
6	0,355	0,443	0,443	0,268	0,268
7	0,304	0,374	0,374	0,234	0,234
8	0,258	0,313	0,313	0,204	0,204
9	0,218	0,259	0,259	0,178	0,178
10	0,184	0,213	0,213	0,155	0,155
11	0,156	0,175	0,175	0,137	0,137
12	0,133	0,145	0,145	0,122	0,122
13	0,117	0,122	0,122	0,111	0,111
14	0,106	0,108	0,108	0,104	0,104

15	0,100	0,101	0,101	0,100	0,100
15,4	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100



Gambar 3.3 Grafik Lintasan Kabel

3.5 Kehilangan Gaya Prategang

Berdasarkan hasil analisis diperoleh kehilangan prategang sebagai berikut :

- Akibat Perpendekan Elastis Beton (ES) : 40,649 MPa
- Akibat Rangkak Beton (CR) : 6,535 MPa
- Akibat Susut Beton (SH) : 7,730 MPa
- Akibat Relaksasi Baja (RE) : 129,763 MPa
- Kehilangan Gaya Prategang Total :
 $ES + CR + SH + RE = 184,677 \text{ MPa}$
 $\frac{184,677}{1395} \times 100\% = 13,239\% < 20\%$
 (Memenuhi Syarat)

3.6 Kontrol Tegangan Terhadap Kombinasi Pembebanan

Tegangan ijin tekan beton, $-0,45 \times f_{ci}' = -22410 \text{ kPa}$

Tegangan ijin tarik beton, $0,50 \times \sqrt{f_{ci}'} = 111,580 \text{ kPa}$

Tabel 3.3 Kombinasi pembebanan untuk tegangan ijin

Aksi/Beban	Simbol	Kombinasi Pembebanan		
		1	2	3
A Aksi Tetap				
Berat Sendiri	MS	X	X	X
Beban Mati Tambahan	MA	X	X	X
Susut dan Rangkak	SR	X	X	X
Prategang	PR	X	X	X
B Aksi Transien				
Beban Lajur "D"	TD	X	X	
Gaya Rem	TB	X	X	
C Aksi Lingkungan				
Beban Angin	EW		X	
Beban Gempa	EQ			X

Tabel 3.4 Kontrol Tegangan

Teg	Kombinasi (kPa)			Ket
	1	2	3	
fac	-7625,902	-7755,780	-4457,275	OK
f'ac	-6298,458	-6375,328	-4423,057	OK
fbc	-511,085	-283,117	-6072,833	OK

3.7 Kontrol Lendutan Terhadap Kombinasi Pembebanan

Lendutan maksimum yang diijinkan berdasarkan RSNI T-12-2004, $\delta = L/800 = 0,039$ m

Tabel 3.5 Kontrol Lendutan

Lend	Kombinasi (m)			Keterangan
	1	2	3	
δ	0,0222	0,0228	0,0094	< L/800

3.7 Kontrol Momen Ultimit Terhadap Kombinasi Pembebanan

Kapasitas momen balok, $M_u = \Phi \times M_n = 22251,537$ kNm

Tabel 3.6 Kombinasi pembebanan untuk momen ultimit balok

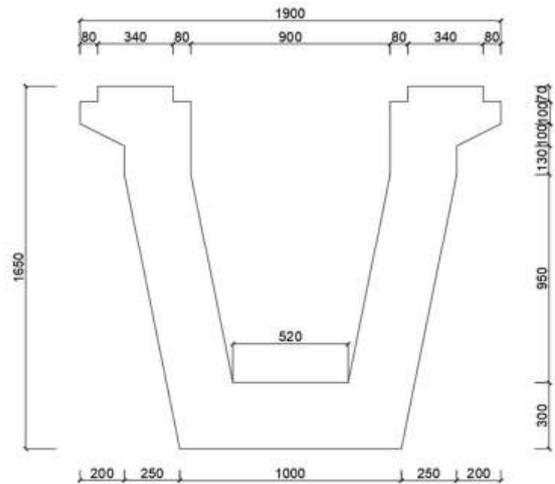
Aksi/Beban	Faktor	Daya layan Momen	Kondisi ultimit
		M (kNm)	Mu (kNm)
A. Aksi tetap			
Berat sendiri	1,3	5709,764	7422,694
Berat Mati tambahan	2	418,825	837,649
Susut dan rangkai	1	1,304	1,304
Prategang	1	-8642,795	8642,795
B. Aksi transien			
Beban Lajur "D"	2	4540,074	9080,148
Gaya rem	2	61,427	122,854
C. Aksi lingkungan			
Beban angin	1,2	119,529	143,434
Beban gempa	1	1685,362	1685,362

Tabel 3.7 Kontrol Momen Ultimit

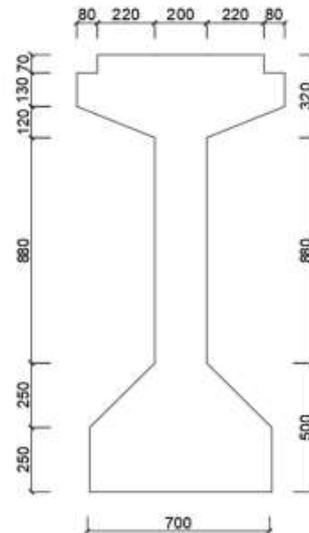
Momen Ultimit	Kombinasi (kNm)			Ket
	1	2	3	
M _{xx}	8821,853	8965,287	1304,213	OK

3.8 Perbandingan Girder

a. Segi Desain



Gambar 3.4 Penampang PCU Girder



Gambar 3.5 Penampang PCI Girder (kanan)

Diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 3.8 Perbandingan dalam segi desain

Tipe	PCU	PCI
Tinggi	H-165 (1,65 m)	H-170 (1,70 m)

Luas penampang	1,1936 m ²	0,6723 m ²
Mutu beton girder	K 600	K 600
Jumlah girder	7	9
Jarak antar girder	3,1 m	2,3 m
Kabel prestress	Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 GRADE 270	Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 GRADE 270
Jumlah tendon	4	3
Jumlah strands	76	57

b. Segi Biaya

Tabel 3.9 Perbandingan dalam segi biaya

Tipe	PCU	PCI
Harga Total	Rp 1.923.870.953, 20	Rp 1.811.268.807, 79

Berdasarkan tabel diatas dapat diperoleh kenaikan harga sebesar :

$$\frac{1.923.870.953,20 - 1.811.268.807,79}{1.811.268.807,79} \times 100\% = 6,22\%$$

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. *PCU girder* yang digunakan adalah *PCU H-165* dengan luas penampang 1,194 m² dan mutu beton yang digunakan adalah K 600. Kehilangan gaya prategang yang terjadi sebesar 13,239% dan girder mampu memikul momen sebesar 8821,853 kNm pada kombinasi beban – 1.
2. Jumlah *girder* hasil desain dari *PCU girder* adalah 7 buah dengan jarak antar girder 3,1 m, sedangkan *PCI girder* berjumlah 9 buah dengan jarak antar girder 2,3 m.
3. Kedua *girder* menggunakan *Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 GRADE 270*. Untuk hasil desain dari *PCU girder*,

digunakan 4 tendon dan 76 strands, sedangkan *PCI existing* menggunakan 3 tendon dan 57 strands.

4. Biaya total *PCU girder* adalah sebesar Rp 1.923.870.953,20, sedangkan *PCI girder* sebesar Rp 1.811.268.807,79 dengan kenaikan sebesar 6,22%
5. Berdasarkan hasil analisis, *PCU girder* lebih mahal daripada *PCI girder*, dengan luas total *PCU girder* sebesar 257,340 m², sedangkan luas total *PCI girder* 186,362 m²

4.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap segi waktu, (seperti lamanya *erection*) dan kemudahan pelaksanaan sebagai bahan perbandingan.
2. Dapat dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan dimensi *PCU Girder* yang berbeda.
3. Bagi perencana jembatan perlu memperhatikan kehilangan gaya prategang agar tidak mendekati batas kehilangan yang diizinkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete (318-14)*, *ACI Standard and Report*, Detroit, 2014
2. Astuti, Anita Puji, *Analisis Perbandingan PCI Girder Terhadap PCU Girder Existing pada Proyek Pembangunan Flyove Martadinata Bogor*, Universitas Pakuan, Bogor, 2020
3. Badan Standarisasi Nasional, *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (RSNI T-12-2004)*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2004
4. Badan Standarisasi Nasional, *Pembebanan untuk Jembatan (SNI 1724:2016)*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2016
5. Badan Standarisasi Nasional, *Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa (SNI 2833:2016)*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2016
6. Gilbert, R. I., N. C. Mickleborough, *Design of Prestressed Concrete*, Taylor & Francis e-Library, Oxfordshire, 2004
7. Lin, T. Y., H. Burns, *Desain Struktur Beton Prategang, Edisi Ketiga Jilid 1*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1988

8. Masnul, Cut Retno, *Analisa Prestress (Post-Tension) pada Precast Concrete U Girder “Studi Kasus pada Jembatan Flyover Amplas”*, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2009
9. Nawy, Edward G., *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar, Edisi Ketiga Jilid 1*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2001
10. Putra, Bastya Pratama, Yunalia Muntafi, Suharyatmo, *Studi Perbandingan Penggunaan PCU Girder dan PCI Girder pada Struktur Atas Jembatan Jurang Gempal*, Jurnal Teknisia, Volume XXII, No. 1, 2017
11. Saputro, Cahyo Dita, Wira Setiawan, *Analisis Perbandingan Biaya Berdasarkan Penggunaan Struktur PC-I Girder dan PC-T Girder pada Jembatan Kandal*, Kabupaten Dompu, Jurnal Karkasa, Vol. 8, No. 2, 2022
12. Soetoyo, *Konstruksi Beton Pratekan*, 2002
13. Struyk, Ir. H. J., Prof. Ir. K.H.C.W. Van Der Veen, *Jembatan*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1995

BIODATA PENULIS

- 1) Agisna Reza Firmadi Alumni (2019) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pakuan. agisnarezafirmadi@gmail.com.
- 2) Ir. Budiono., MT. Staf Dosen Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Pakuan.
- 3) Dr. Ir. Titik Penta Artiningsih, M.T. Staf Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Pakuan.