

Perencanaan ulang Jembatan Jetak Bojonegoro menggunakan struktur PCI – Girder dan penerapan *Building Information Modelling* (BIM) 5D

Ivory Quthub Manar^a, Siti Husnul Hotimaha^a, Asri Nurdiana^a, Bambang Setiabudia^a

^a Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Indonesia

Corresponding Author:

Email: potensi@live.undip.ac.id

Keywords:

BIM, Bridge, Microsoft Project, Autodesk Revit, Autodesk Navisworks

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *The Jetak Bridge in Bojonegoro, originally a Steel Box Girder type, was redesigned using a Precast Concrete I-Girder (PCI-Girder) system to improve safety and serviceability. The new design applies BIM 5D for integrated analysis, covering structural calculation, 3D modelling, scheduling, and cost estimation. Structural planning refers to SNI 1725:2016 and related standards. The redesigned bridge has a 50 m span and 19.3 m width, supported by PCI-Girders and pile foundations. Analysis results confirm that the structure meets strength, stability, and serviceability requirements. The BIM 5D workflow produced reliable outputs for quantity take-off, cost, and project duration. The estimated construction cost is IDR 30.36 billion with a duration of 40 weeks. This study highlights that BIM 5D enhances accuracy, transparency, and efficiency in bridge planning and implementation.*

Copyright © 2026 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Jembatan berperan penting dalam mendukung mobilitas masyarakat dan distribusi barang. Pemilihan sistem bentang dan metode konstruksi menjadi faktor kunci efektivitasnya. Salah satu alternatif yang banyak digunakan ialah *Precast Concrete I-Girder* (PCI-Girder), dengan keunggulan mutu beton terkontrol, percepatan konstruksi, serta kemampuan menjangkau bentang menengah–panjang.

Seiring kemajuan teknologi, *Building Information Modeling* (BIM) hadir sebagai pendekatan terintegrasi yang mencakup pemodelan 3D, waktu (4D), dan biaya (5D), sehingga perencanaan lebih efisien, akurat, dan transparan. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengkaji redesain Jembatan Jetak di Kabupaten Bojonegoro menggunakan struktur PCI-Girder berbasis BIM 5D, mencakup analisis struktur, pemodelan digital, serta integrasi jadwal dan biaya.

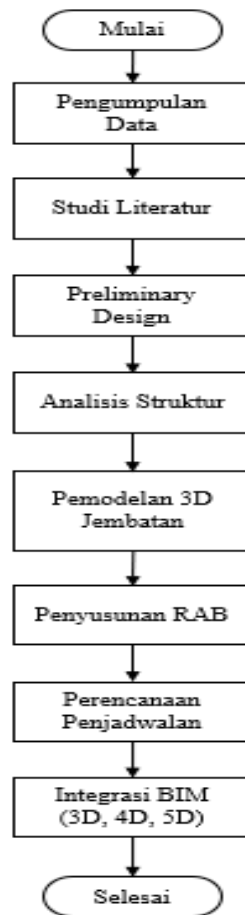
2. DATA DAN METODE

Gambaran Proyek dan Data Teknis

Proyek Penggantian Jembatan Jetak di Kabupaten Bojonegoro merencanakan ulang jembatan eksisting tipe Steel Box Girder dengan bentang 50 m dan lebar 19,5 m. Perubahan dilakukan untuk meningkatkan kapasitas dan kenyamanan, termasuk penyesuaian dimensi serta sistem struktur. Desain baru memiliki lebar 19,3 m dengan bahu 2 m, lajur 3,5 m dan 2,75 m per arah, serta trotoar 1,4 m di kedua sisi. Struktur utama diganti menjadi PCI-Girder setinggi 2,1 m dengan bentang 50 m dan panjang elemen 50,8 m. Konfigurasi dan sistem baru ini diharapkan meningkatkan kapasitas, mempermudah konstruksi, dan sesuai standar geometrik serta kebutuhan lalu lintas terkini.

Alur Tahapan Perencanaan

Metodologi yang digunakan dalam perencanaan ulang Jembatan Jetak berbasis *Building Information Modeling* (BIM) 5D disusun secara sistematis dan digambarkan melalui diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Perencanaan

Acuan Regulasi dan Standar Teknis

Perencanaan ulang Jembatan Jetak mengacu pada standar nasional untuk menjamin keamanan, fungsionalitas, dan keandalan struktur. Acuan yang digunakan antara lain: SNI 1725:2016 tentang pembebanan jembatan, SNI 2833:2016 tentang pembebanan gempa, SNI T-12-2004 tentang struktur beton jembatan, SNI 1729:2015 tentang spesifikasi baja struktural, serta SNI 8460:2017 tentang perencanaan geoteknik fondasi. Dengan dasar tersebut, perencanaan mencakup struktur utama, pondasi, hingga elemen pelengkap, sehingga kinerja jembatan sesuai ketentuan nasional.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Struktur Atas

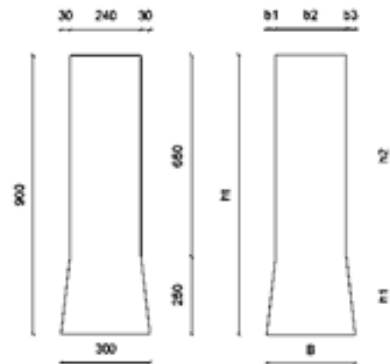
Struktur atas Jembatan Jetak menyalurkan beban lalu lintas ke struktur bawah melalui sistem PCI-Girder setinggi 2,1 m dengan bentang 50,8 m yang menopang pelat lantai kendaraan. Beban mati tambahan berasal dari parapet beton sebagai penghalang pejalan kaki, railing baja *hollow* untuk keselamatan, serta lampu PJU sebagai fasilitas penunjang.

Parapet

Parapet sebagai penjaga utama area pedestrian direncanakan parameter materialnya sebagai berikut:

- | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|------------------------|
| a) Kuat tekan beton rencana, | f_c' | = 25 MPa |
| b) Berat jenis beton, | γ_{beton} | = 25 kN/m ³ |
| c) Kuat leleh baja tulangan, | f_y | = 420 MPa |
| d) Kuat tarik maksimum baja tulangan, | f_u | = 540 MPa |

Lalu, adapun parameter dimensi pada struktur dengan direncanakan selimut beton 40 mm dan tinggi efektif 847,5 mm dengan panjang tinjauan per 1 meter. Adapun desain parapet ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Parapet

Beban tumbukan kendaraan terhadap parapet, direncanakan terhadap kriteria Kinerja 4 pada SNI 1725:2016 pasal 11, yakni gaya tumbukan horizontal (P) sebesar 220 kN. Dengan asumsi titik aplikasi tumbukan (h) kendaraan atau *bumper* truk mengenai pada parapet yakni 0,75 meter.

- a) Momen *ultimate* terjadi = $P \times h \times$ faktor pembebanan KUAT I = $220 \times 0,75 \times 1,8$ = 297 kNm
 b) Geser *ultimate* terjadi = $P \times$ faktor pembebanan KUAT I = $220 \times 1,8$ = 396 kN

Luas tulangan pokok yang diperlukan adalah 2830,65 mm² dengan diameter tulangan yang digunakan adalah D25 dengan jarak 150 mm. Untuk tulangan susut direncanakan 50% dari tulangan pokok. Kemudian, kapasitas geser menunjukkan hasil memenuhi dari geser *ultimate* yang terjadi ($\phi V_c = 706,25$ kN) sehingga tidak diperlukan tulangan geser tambahan.

Railing

Railing profil tabung persegi (HSS) dengan dimensi 100 x 100 x 5 mm dan mutu baja 240 MPa juga direncanakan sebagai pengaman dari area pedestrian dengan titik peletakan adalah paling ujung dari jembatan. Tiang utama dari railing dirancang mampu menahan beban hidup sebesar 250 kg dengan panjang antar segmen yakni 1,25 meter, ini melebihi dari yang disyaratkan menurut SNI 1725:2016 (sebesar 1kN/m).

- a) Momen *ultimate* terjadi, M_u = 0,97 kNm
 b) Geser *ultimate* terjadi, V_u = 3,08 kN

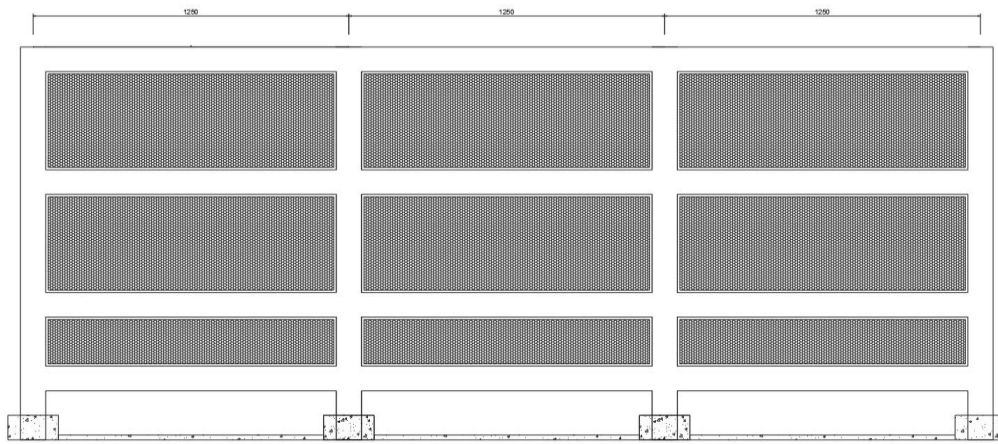
Menurut AISC 360-16, untuk profil tabung persegi (HSS) atau hollow $\lambda_p = 1.12 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ dan $\lambda_r = 1.4 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$, hasil menunjukkan penampang kompak dengan hasil $b/t < \lambda_p$. Lalu, hasil momen dan geser nominal dari profil adalah sebagai berikut:

- a) Momen nominal berdasarkan penampang penuh yang mengalami plastis (yield) secara menyeluruh, $M_{n1} = 14,44$ kNm
 b) Momen nominal berdasarkan lateral-torsional buckling (kapasitas momen nominal dikalikan faktor penguatan (*overstrength*)), $M_{n2} = 18,29$ kNm.
 c) Geser nominal (V_n) adalah 273,6 kN

Nilai "Mn" digunakan yang paling terkecil yakni sebesar 14.44 kNm karena penampang lebih dulu mencapai kapasitas plastis sebelum efek penguatan plastis berlaku. $\phi M_n = 0.9 \times M_n = 13$ kNm $> M_u = 0,97$ kNm (**aman**). Untuk $\phi V_n = 0,75 \times V_n = 205,20$ kN $> V_u = 3,08$ kN (**aman**). Kontrol lendutan (δ) dan tegangan (σ) sebagai berikut:

- a) $\delta_{\text{terjadi}} = 0,003$ m dengan $\delta_{\text{izin}} = 0.0042$ (**aman**)
 b) $\sigma_{\text{terjadi}} = 19,1$ MPa dengan $\sigma_{\text{izin}} = 144$ MPa (**aman**)

Adapun desain *railing* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain Railing

Lampu Penerangan Jalan Umum (PJU)

Direncanakan lampu PJU bertata letak 1 sisi jalan per-jalur pulang/pergi dengan tinggi tiang 8 meter dan jarak antar tiang adalah 7 meter. Data lainnya yang dibutuhkan untuk perhitungan *lumens* adalah sebagai berikut:

- a) Nilai luminasi, E = 13 lux
- b) Lebar 1 jalur, B = 8,4 meter
- c) Sudut penerangan lampu = 13°
- d) *Overhung* lampu = 1,5 meter

Koefisien bagian:

$$\text{Arah ke jalan, } HS = \frac{\text{lebar 1 jalur} - \text{overhung}}{h_{\text{tiang}}} = \frac{8,4 - 1,5}{8} = 1$$

$$\text{Arah ke pedestrian, } SS = \frac{\text{overhung}}{h_{\text{tiang}}} = \frac{1,5}{8} = 0,2$$

Koefisien utilisasi cahaya baik ke arah jalan (HS) maupun pedestrian (SS) merupakan parameter penting dalam desain pencahayaan luar ruang. Gambar 4 merupakan grafik yang mengacu pada referensi IESNA (*Illuminating Engineering Society of North America*), memperlihatkan pengaruh rasio lebar jalan terhadap tinggi tiang (*Street Width / Mounting Height*) terhadap distribusi cahaya.

Dengan mengetahui nilai koefisien ini, efisiensi pencahayaan dapat dianalisis sesuai kebutuhan visual pengguna jalan dan pejalan kaki. Dari kurva di bawah ini diperoleh $U_1 = 0,3$ (arah jalan) dan $U_2 = 0,05$ (arah pedestrian), sehingga $U = U_1 + U_2 = 0,35$. Sehingga perhitungan *lumens* dapat dilanjutkan sebagai berikut:

$$E = \frac{F \times U \times M \times K}{B \times S}$$

Keterangan,

M : Faktor utama = 75%

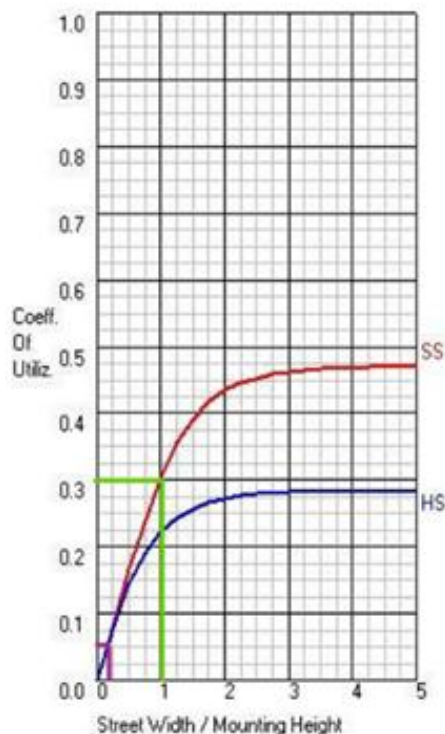
K : Koefisien flux lampu menyala = 75%

$$13 = \frac{F \times 0,35 \times 75\% \times 75\%}{8,4 \times 8}$$

$$13 = \frac{0,197 \times F}{67,2}$$

$$F = 4437,34 \text{ lumens,}$$

Cek syarat batas minimum lumens/watt, mengacu pada Spesifikasi Khusus Interim: Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJU-TS) yakni sebesar 130 lumens/watt. Maka, daya = $\frac{F}{130} = \frac{4437,34}{130} = 34,1 \approx 35$ watt



Gambar 4. Grafik IESNA

Pelat Lantai

Struktur pelat lantai Jembatan Jetak direncanakan sebagai berikut:

- a) Tebal pelat lantai jembatan, $t_{slab} = 0.30$ m
- b) Tebal lapisan aspal, $t_{aspal} = 0.05$ m
- c) Tinggi muka air genangan, $t_{air} = 0.05$ m
- d) Jarak antar girder, $s = 1.85$ m
- e) Lebar total melintang jembatan, $B = 19.30$ m
- f) Bentang jembatan (tumpuan-tumpuan), $L = 50.00$ m
- e) Kuat tekan beton rencana, $fc' = 35$ MPa
- f) Berat jenis beton, $\gamma_{beton} = 25$ kN/m³
- g) Kuat leleh baja tulangan, $fy = 420$ MPa
- h) Kuat tarik maksimum baja tulangan, $fu = 540$ MPa

Berdasarkan perhitungan beban-beban yang ada serta disesuaikannya dengan SNI 1725:2015. Tabel 1 adalah rekapitulasi komponen beban pada pelat lantai.

Tabel 1. Rekapitulasi Komponen Beban Pada Pelat Lantai

No	Komponen Beban	Kode	Arah Beban	Hasil	Satuan
1	Beban mati sendiri pelat lantai	MS	Q (merata)	7.5	kN/m
2	Beban mati tambahan				
	Lapisan aspal	MA	Q (merata)	1.1	kN/m
	Air genangan	MA	Q (merata)	0.49	kN/m
	Parapet/dudukan PJU	MA	P (terpusat)	6.75	kN
	Tiang PJU + lampu	MA	P (terpusat)	0.88	kN
	Railing	MA	P (terpusat)	1.07	kN
3	Beban transien				
	Beban lalu lintas akibat truk "T"	TT	P (terpusat)	157.5	kN
	Beban khusus akibat pejalan kaki	TP	Q (merata)	5.5	kN/m
	Beban angin pada kendaraan	EWL	P (terpusat)	6.76	kN/m

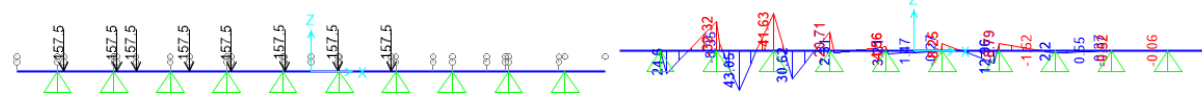
Tahap berikutnya adalah proses pemodelan dan penempatan beban pada struktur menggunakan SAP2000. Setiap komponen beban yang telah direkap akan diinput dan diaplikasikan pada wilayah struktur yang relevan, baik secara merata pada area pelat maupun terpusat pada titik-titik tertentu,

sesuai dengan karakteristik bebannya. Untuk pengaplikasian beban lalu lintas akibat truk "T" digunakan 2 model seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Analisa Struktur Model I

Hasil: Momen tumpuan sebesar 41,63 kNm dan momen lapangan 43,05 kNm



Gambar 6. Analisa Struktur Model II

Hasil: Momen tumpuan sebesar 41,68 kNm dan momen lapangan 43,04 kNm

Dari kedua model pengaplikasian beban lalu lintas akibat truk "T" sehingga didapatkan momen tumpuan $M_{MAX} = 43.50$ kNm (model I) dan momen lapangan $M_{MAX} = 43.05$ kNm (model II). Hasil total momen tumpuan dan lapangan dari seluruh beban yang ada kemudian dilakukan pemfaktoran pembebanan sesuai dengan SNI 1725:2016. Untuk penulangan digunakan pemfaktoran pembebanan kuat I. Dihasilkan sebagai total momen seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Total Momen *Ultimate* Kondisi Tumpuan dan Lapangan pada Pelat Lantai

Komponen Beban	Kode	Momen	Momen	Fk	Mu	Mu Lapangan
		Tumpuan (kNm)	Lapangan (kNm)		Tumpuan (kNm)	(kNm)
	a	b	c	d	e = b x d	f = c x d
Beban mati sendiri pelat lantai	MS	6.58	1.49	1.3	8.55	1.9
Lapisan aspal	MA	0.39	0.27	2	0.78	0.54
Air genangan	MA	0.43	0.10	2	0.86	0.20
Parapet	MA	0.51	0.13	2	1.02	0.26
Tiang PJU + lampu	MA	0.07	0.02	2	0.14	0.04
Railing	MA	1.31	0.33	2	2.62	0.66
Beban lalu lintas akibat truk "T"	TT	41.68	43.04	1.8	75.02	77.47
Beban khusus akibat pejalan kaki	TP	4.83	1.21	1.8	8.69	2.18
Beban angin pada kendaraan	EWL	6.41	6.3	-	0.00	0.00
Jumlah					97.70	83.29

Kuat I menghasilkan momen maksimum yang dijadikan acuan untuk menentukan kebutuhan tulangan lentur.

- a) Momen ultimit tumpuan = 97.70 kNm, untuk penulangan lentur negatif
- b) Momen ultimit lapangan = 83.29 kNm, untuk penulangan lentur positif

Dengan direncanakan selimut beton pelat lantai sebesar 50 mm, tebal efektif 242 mm dan panjang tinjauan per-satu meter maka perencanaan penulangan dihasilkan seperti yang pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Penulangan Pelat Lantai

No.	Arah Penulangan	Profil Tulangan	Luas Tulangan
1	Penulangan tumpuan		
	Tulangan lentur negatif	D16-150 mm	As = 1258,40 mm ²
	Tulangan susut negatif	D13-150 mm	As' = 50% x As
2	Penulangan lapangan		
	Tulangan lentur positif	D16-150 mm	As = 1341 mm ²
	Tulangan susut positif	D13-150 mm	As' = 50% x As

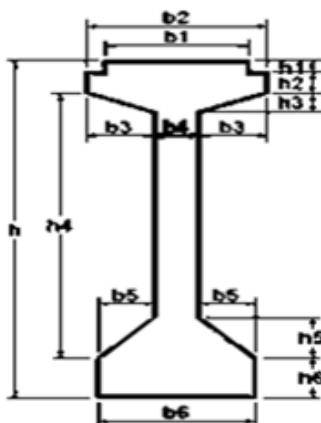
PCI Girder

Perhitungan dimulai dengan menentukan data dimensi PCI-Girder yang digunakan sebagai elemen utama struktur. Dimensi ini mencakup lebar dan tinggi penampang pada tiap bagian, serta tinggi total

girder. Data awal ini menjadi dasar dalam analisis kapasitas struktur seperti yang disajikan pada Tabel 4, sedangkan geometri PCI Grider ditunjukkan pada Gambar 7.

Tabel 4. Data Dimensi PCI-Girder

Kode	Lebar (m)	Kode	Tebal (m)
b1	0,064	h1	0,07
b2	0,8	h2	0,13
b3	0,3	h3	0,12
b4	0,2	h4	1,65
b5	0,25	h5	0,25
b6	0,7	h6	0,25
h			2,1



Gambar 7. Geometri PCI-Girder

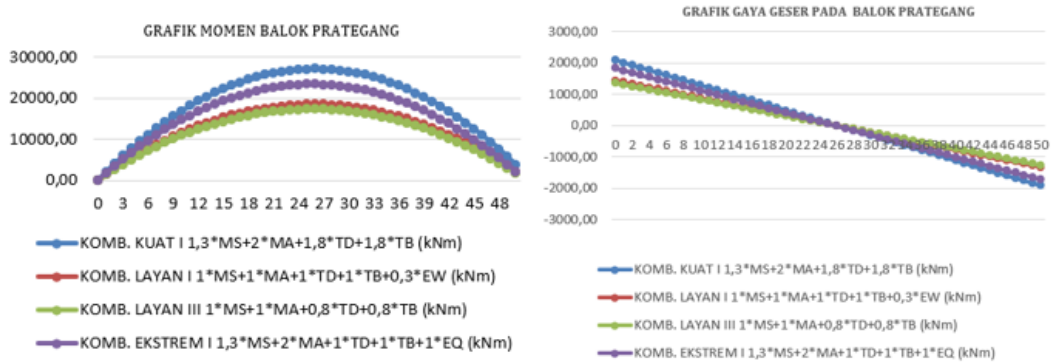
Direncanakan PCI Girder bentang total 50,8 meter dengan parameter mutu material sebagai berikut:

- a) Kuat tekan beton (f_c') sebesar 50 MPa
- b) Kuat tekan beton pada keadaan awal/saat transfer (f_c'') sebesar 40 MPa
- c) Tegangan izin beton saat penarikan, untuk tekan $0,60 * f_c'$ dan tarik $0,5 * \sqrt{f_c'}$
- d) Tegangan izin beton pada keadaan akhir, untuk tekan $0,60 * f_c'$ dan tarik $0,5 * \sqrt{f_c'}$
- e) Strands tipe uncirated 7 wire strands ASTM A - 416 grade 270 dengan tegangan leleh 1580 MPa dan kuat tarik 1860 MPa. Adapun hasil rekapitulasi momen gaya geser pada balok prategang disajikan pada Tabel 5.

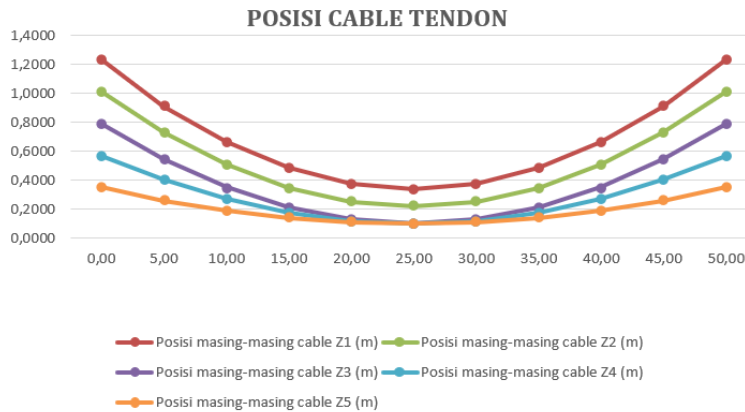
Tabel 5. Hasil resume momen dan gaya geser pada balok prategang

Jenis Beban	Kode Beban	Q	P	M
		(kN/m)	(kN)	(kNm)
Balok prategang	Balok	19,19	-	-
Berat pelat	Pelat	13,88	-	-
Berat sendiri	MS	38,70	-	-
Mati tambahan	MA	2,94	-	-
Lajur "D"	TD	13,32	81,4	-
Gaya rem	TB	-	-	77,81
Angin	EW	1,01	-	-
Gempa	EQ	8,214	-	-

Grafik momen dan geser ditampilkan untuk memperlihatkan distribusi gaya sepanjang bentang girder akibat kombinasi pembebanan. Hasil ini digunakan sebagai acuan dalam menentukan kebutuhan tendon prategang dan posisi kabel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Grafik Momen dan Geser



Gambar 9. Denah Tendon dan Posisi Cable

Perencanaan posisi kabel dilakukan dengan memperhatikan kebutuhan momen yang harus ditahan. Selain itu, dihitung pula akumulasi kehilangan prategang akibat friksi, pemendekan elastis, dan relaksasi tendon. Hasil menunjukkan kehilangan berada dalam batas aman. Adapun akumulasi kehilangan prategang disajikan pada Tabel 6.

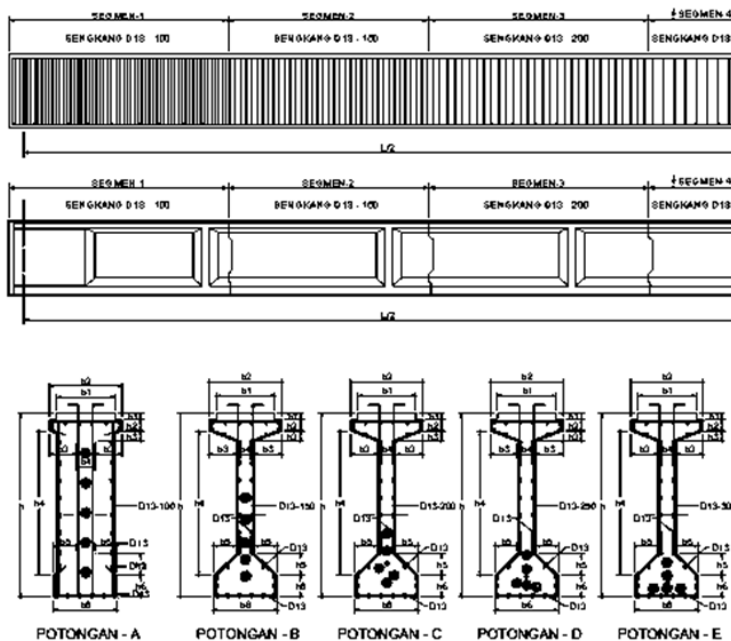
Tabel 6. Akumulasi Kehilangan Prategang

Gaya	kN	Kehilangan Prategang	%UTS
Pj	14852,54	Anchorage Friction	74,07%
Po	14406,96	Jack Friction	71,85%
Px	14062,48	Elastic Shortening	70,13%
Pi	13954,29	Relaxation of Tendon	69,59%
Peff	13677,53		68,21%
Kehilangan Prategang Total =			11,12%

Dari Tabel 6 rekapitulasi dan akumulasi kehilangan prategang, hasil menunjukkan kehilangan prategang berada dibawah dari perkiraan rencana awal yakni sebesar 15% (aman). Sebagai langkah akhir, dilakukan perencanaan jarak tulangan geser (sengkang) berdasarkan hasil analisis gaya geser pada tiap titik sepanjang bentang. Rekapitulasi jarak sengkang ditampilkan untuk memastikan kapasitas geser girder terpenuhi seperti yang disajikan pada Tabel 7 dan Gambar 11 merupakan desain tulangan dan jarak sengkang PCI-Girder.

Tabel 7. Rekapitulasi Jarak Sengkang PCI-Girder

X (m)	Jarak Sengkang D13			X (m)	Jarak Sengkang D13		
	Tinjauan Geser I	Tinjauan Geser II	Jarak		Tinjauan Geser I	Tinjauan Geser II	Jarak
0	70	70	100	26	3423965	3136492	300
1	95	94	100	27	679745	622686	300
2	125	122	100	28	113158	103672	300
3	161	155	150	29	44348	40639	300
4	204	195	200	30	23308	21365	300
5	256	243	200	31	14214	13035	300
6	317	300	300	32	9477	8696	300
7	391	368	300	33	6702	6153	300
8	480	450	300	34	4938	4538	300
9	586	548	300	35	3750	3449	300
10	715	666	300	36	2911	2680	300
11	872	810	300	37	2298	2119	300
12	1065	988	300	38	1838	1697	300
13	1306	1209	300	39	1484	1372	300
14	1610	1488	300	40	1206	1117	300
15	2001	1846	300	41	985	915	300
16	2513	2316	300	42	807	751	300
17	3202	2947	300	43	662	617	200
18	4156	3821	300	44	542	508	300
19	5531	5081	300	45	443	416	300
20	7613	6988	300	46	361	340	300
21	10982	10074	300	47	292	277	200
22	16965	15555	300	48	235	224	200
23	29167	26733	300	49	186	179	200
24	60516	55449	300	50	146	141	150
25	189595	173691	300				



Gambar 11. Desain Tulangan dan Jarak Sengkang PCI-Girder

Diafragma

Dimensi diafragma dirincikan sebagai berikut dengan catatan lebar dari diafragma merupakan panjang segmental (S):

- a) Diafragma tengah direncanakan tebalnya sebesar 20 cm dengan tinggi 165 cm dan lebarnya 165 cm. Banyak diafragma tengah adalah 9 buah x 7 baris sehingga total kebutuhan diafragma tengah adalah 63 buah.
- b) Diafragma ujung direncanakan tebalnya sebesar 40 cm dengan tinggi 190 cm dan lebarnya 125 cm. Banyak diafragma ujung adalah 9 buah x 2 bagian sehingga total kebutuhan diafragma ujung adalah 18 buah.

Diafragma pada jembatan dihitung hanya berdasarkan beban sendiri karena fungsinya sebagai elemen pengaku, bukan pemikul beban lalu lintas. Sehingga diketahui berat sendiri (QMS) diafragma adalah sebagai berikut:

- a) Diafragma tengah = $0,2 \times 1,65 \times \text{Berat jenis beton} = 8,25 \text{ kN/m (merata)}$
- b) Diafragma ujung = $0,4 \times 1,9 \times \text{Berat jenis beton} = 19,00 \text{ kN/m (merata)}$

Gaya geser *ultimate* (Vu) dapat ditentukan dengan rumus $0,5 \times \text{QMS} \times S \times \text{Faktor KUAT I}$, sedangkan momen *ultimate* ditentukan dengan rumus $1/12 \times \text{QMS} \times S^2 \times \text{Faktor KUAT I}$. Adapun rekapitulasi geser dan momen ultimate pada diafragma disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi Geser dan Momen *Ultimate* pada Diafragma

Tipe	Geser Ultimate, Vu (kN)	Momen Ultimate, Mu (kNm)
Diafragma Tengah	8,85	2,43
Diafragma Ujung	15,44	3,22

Direncanakan selimut beton kedua tipe diafragma sebesar 40 mm dengan tebal efektif sebesar 1602 mm untuk diafragma tengah 1849 mm untuk diafragma ujung. Dihasilkan kebutuhan tulangan yang diperlukan sebagai berikut (tebal diafragma menjadi lebar tinjauan) seperti yang disajikan pada Tabel 9.

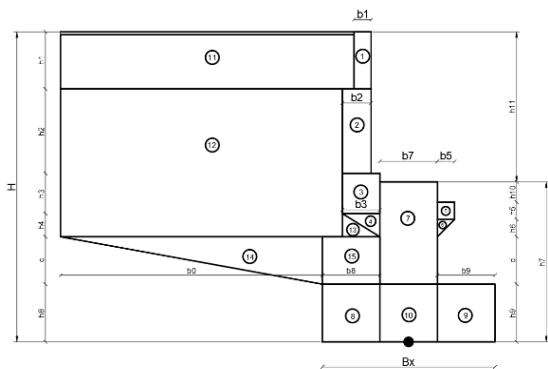
Tabel 9. Rekapitulasi Kebutuhan dan Profil Tulangan Diafragma

Tipe	Luas Tulangan Perlu (As)	Jumlah Tulangan	Tahanan Geser
Diafragma Tengah	1069,2	6 D16	Mencukupi
Diafragma Ujung	2470,3	8 D22	Mencukupi

3.2. Struktur Bawah

Abutment

Abutment direncanakan untuk menahan beban vertikal, horizontal, serta momen dari berbagai kombinasi beban, dengan pengecekan stabilitas terhadap guling, geser, dan eksentrisitas. Adapun geometri abutment ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Geometri *Abutment*

Tabel 10. Dimensi Abutment A1 & A2 Jembatan Jetak

NOTASI	(m)	NOTASI	(m)
h1	0,990	b0	4,550
h2	1,462	b1	0,300
h3	0,700	b2	0,500
h4	0,400	b3	0,650
h5	0,300	b5	0,300
h6	0,300	b7	1,000
h7	2,773	b8	1,000
h8	1,000	b9	1,000
h9	1,000	H	5,375
h10	0,350	Bx	3,000
h11	2,600	By	19,300
c	0,823		
d	0,823		

- a) Tebal *wing wall*, $hw = 0,60 \text{ m}$
b) Panjang melintang bersih *backfill abutment*, $Ba = By - (2 * 0,6) = 18,10 \text{ m}$

Direncanakan bahan timbunan dan/atau *backfill abutment* dengan data berikut:

- a) Material = Granular (non-kohefif)
b) Sudut geser, $\phi = 35^\circ$
c) Kohesi, $c = 0,00 \text{ kPa}$
d) Berat jenis, $\gamma_{\text{tanah}} = 17,00 \text{ kN/m}^3$

Tabel 11 adalah hasil resume gaya vertikal, gaya horizontal dan momen akibat aksi atau beban yang ada pada *abutment*.

Tabel 11. Resume Gaya Vertikal, Horizontal dan Momen yang Diterima *Abutment*

Kode	Vertikal		Horizontal		Momen	
	P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	
Berat Sendiri Struktur Atas	MS					
- Beton pracetak		4874,26		0,00		
- Beton cor di tempat		4816,57		0,00		
Berat Sendiri Struktur Bawah	MS					
- Beton pracetak		0,00		0,00		
- Beton cor di tempat		4722,93		-3903,70		
Beban Mati Tambahan	MA	1076,18		0,00		
Tekanan Tanah	TA		2915,29		3189,08	
Beban Lajur	TD	3535,95		0,00		
Beban Pedestrian	TP	140,00		0,00		
Gaya Rem	TB		125,00		896,88	
Temperatur	TG		604,20		671,88	
Beban Angin pada Struktur	EWS	77,18		88,20	0,00	1171,88
Beban Angin pada Kendaraan	EWL			22,05		172,54
Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	1076,70			0,00	
Beban Gempa Arah Horizontal	EQh		2321,51	2067,20	4116,03	3665,15
Tekanan Tanah Dinamis	TTEQ		2750,39		9855,56	
Gesekan	BF		1189,38		3428,97	

Tabel 12 merupakan rekapitulasi kombinasi beban tak terfaktorkan atau beban real yang diterima *pilecap* (eksentrisitas = 0)

Tabel 12. Rekapitulasi Kombinasi Beban Tak Terfaktorkan Pada *Pilecap*

Keadaan Batas	Vertikal	Horisontal		Momen	
	P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
Kuat I	19165,89	4833,86	0,00	4283,10	0,00
Kuat III	15567,11	4708,86	88,20	3386,22	1171,88
Ekstrem I	20242,59	9301,56	2067,20	17582,81	3665,15
Daya Layan I	19243,06	4833,86	110,25	4283,10	1344,42

Tabel 13 merupakan hasil pengecekan stabilitas abutment terhadap guling pada arah memanjang jembatan (eksentrisitas ujung *pilecap* arah x)

Tabel 13. Hasil Cek Stabilitas Abutment Terhadap Guling Arah X

Keadaan Batas	Penahan	Pengguling	SF	Keterangan
	ΣM_w (kN.m)	ΣM_x (kN.m)		
a	b	c	e = b/c	f
Kuat I	-41051,23	4283,10	9,584	OK, SF > 1,5
Kuat III	-31126,17	3386,22	9,192	OK, SF > 1,5
Ekstrem I	-34395,39	17582,81	1,956	OK, SF > 1,5
Daya Layan I	-29398,67	4283,10	6,86	OK, SF > 1,5

Tabel 14 merupakan hasil pengecekan stabilitas abutment terhadap guling pada arah melintang jembatan (eksentrisitas $\frac{1}{2}$ * lebar abutment)

Tabel 14. Hasil Cek Stabilitas Abutment Terhadap Guling Arah Y

Keadaan Batas	Penahan	Pengguling	SF	Keterangan
	ΣM_w (kN.m)	ΣM_y (kN.m)		
a	b	c	e = b/c	f
Kuat I	209466,74	-	-	My = 0
Kuat III	145615,49	1171,88	124,26	OK, SF > 1,5
Ekstrem I	166647,53	3665,15	45,47	OK, SF > 1,5
Daya Layan I	147108,77	1344,42	109,42	OK, SF > 1,5

Tabel 15 merupakan hasil pengecekan stabilitas abutment terhadap geser pada arah memanjang jembatan

Tabel 15. Hasil Cek Stabilitas Abutment Terhadap Geser Arah X

Keadaan Batas	Gaya Real/Tak Terfaktor			SF (tanah eksisting)	Keterangan
	ΣP (kN)	ΣH_P (kN)	ΣT_x (kN)		
a	b	$c = b * B_x * B_y + \Sigma P * \tan \Phi$	d	e = c/d	f
Kuat I	19165,89	13420,10	4833,86	2,78	OK, SF > 1,5
Kuat III	15567,11	10900,21	4708,86	2,31	OK, SF > 1,5
Ekstrem I	20242,59	14174,01	9301,56	1,52	OK, SF > 1,5
Daya Layan I	19243,06	13474,14	4833,86	2,79	OK, SF > 1,5

Tabel 16 merupakan hasil pengecekan stabilitas abutment terhadap geser pada arah melintang jembatan

Tabel 16. Hasil Cek Stabilitas Abutment Terhadap Geser Arah Y

Keadaan Batas	Gaya Real/Tak Terfaktor			SF (tanah eksisting)	Keterangan
	ΣP (kN)	ΣHP (kN)	ΣTy (kN)		
a	b	$c = b * B_x * B_y + \Sigma P * \tan \Phi$	d	$e = c/d$	f
Kuat I	19165,89	13420,10	-	-	Ty = 0
Kuat III	15567,11	10900,21	123,48	88,28	OK, SF > 1,5
Ekstrem I	20242,59	14174,01	2067,20	6,86	OK, SF > 1,5
Daya Layan I	19243,06	13474,14	48,51	277,76	OK, SF > 1,5

Eksentrisitas (e) $\leq B/6$, dengan $B = B_y$ untuk cek arah Y dan L untuk cek arah X

ex $\leq L/6$
 $\leq 8,33$

ex $\leq B_y/6$
 $\leq 3,22$

Cek eksentrisitas arah X

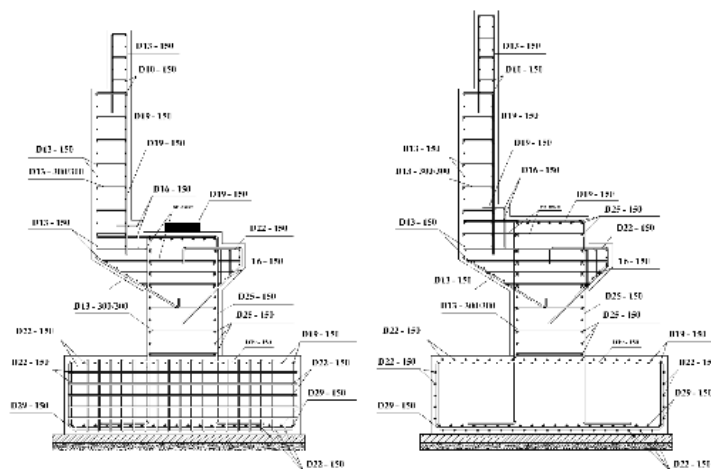
L = 50 m

ex = Mx Resultan Daya Layan I / P Daya Layan I
 $= 4421,89 / 19189,04$
 $= 0,23 \leq 8,33$ (aman)

Cek eksentrisitas arah Y

L = 50 m

ey = My Resultan Daya Layan I / P Daya Layan I
 $= 524,10 / 19189,04$
 $= 0,03 \leq 3,22$ (aman)



Gambar 13. Penulangan Abutment

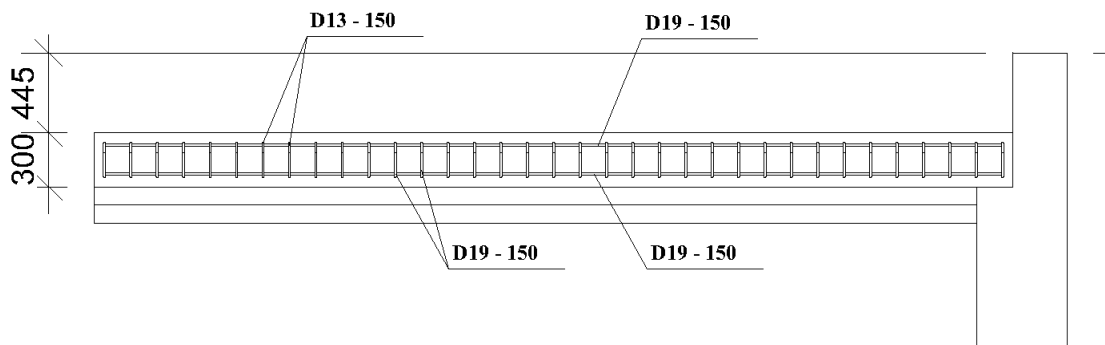
Pelat Injak

Pelat injak diperhitungkan sebagai elemen struktural yang menyalurkan beban kendaraan melalui lapisan perkerasan menuju tanah dasar. Perencanaan dilakukan dengan mempertimbangkan tebal lapisan, penyebaran beban roda, serta kapasitas beton dan tulangan, sehingga kebutuhan penulangan dapat ditentukan secara tepat sejak tahap awal perhitungan. Pelat injak direncanakan setebal 200 mm dengan lapis tambahan diatas pelat injak (agregat kelas A, AC-Base, AC-BC, AC-WC) setebal 442,5 – 690 mm. Beban hidup berupa beban roda gandar oleh truk (beban T_{TT}) yang besarnya 250 kN dan akibat faktor pembesaran 1+DLA menjadi 350 kN.

- a) Lebar bidang kontak roda truk (b) = 500 mm
- b) Lebar bidang kontak roda truk + tebal lapis tambahan (b') = b + 442,5 = 942,5 mm
- c) Lebar penyebaran terpusat = b' / 2 = 471,25 mm

Momen maksimum yang terjadi dihitung dengan $T_{TT}/2 \times [1-(r \times \sqrt{2} / \lambda)^{0.6}]$. dengan λ adalah radius kekuatan pelat yang telah dihitung sebesar 0,669. Sehingga momen maksimum = 20,232 kNm. Momen *ultimate* = KTT x Mmaks = 1,8 x 20,232 = 36,42 kNm

Dihasilkan perencanaan penulangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Detail Pelat Injak

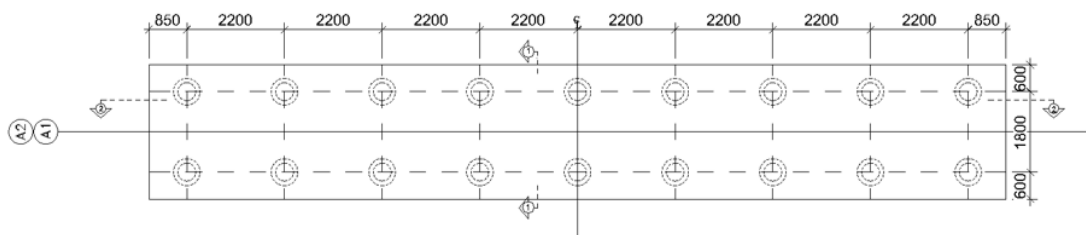
Fondasi Tiang Pancang (Spun Pile)

Direncanakan fondasi tiang pancang tipe spun pile dengan diameter Ø600mm akibat Daya Dukung Tanah (DDT) tidak memenuhi dan dinyatakan memerlukan fondasi dalam. Dari perhitungan kapasitas tahan ujung tiang didapatkan nilai daya dukung *ultimate* tiang sebesar 7352,38 kN. Dengan ketentuan *Safety Factor* (SF) = 3, maka daya dukung izin tiang (Qall') = 7352,38/3 = 2450,79 kN.

Tabel 17. Penentuan Jumlah Tiang Minimum Terhadap Beban Terfaktor

Keadaan Batas	Ultimit Terfaktor		Pu'	Qall	n tiang
	P (kN)	Tx (kN)	Pu + Tx (kN)	(kN)	Pu'/Qall
Kuat I	26804,29	5058,48	31862,77	2450,79	13,001
Kuat III	20295,62	4833,48	25129,11	2450,79	10,253
Ekstrem I	22367,06	9942,88	32309,94	2450,79	13,183
Daya Layan I	19189,04	4531,76	23720,80	2450,79	9,679

N tiang terbesar adalah 13,183 atau dapat digenapkan ke 14 buah tiang fondasi. Akan tetapi kebutuhan termasuk kategori minimum sehingga dibentuk konfigurasi 18 buah tiang seperti yang disajikan pada Gambar 15.



Gambar 15. Denah Konfigurasi Pondasi Spun Pile

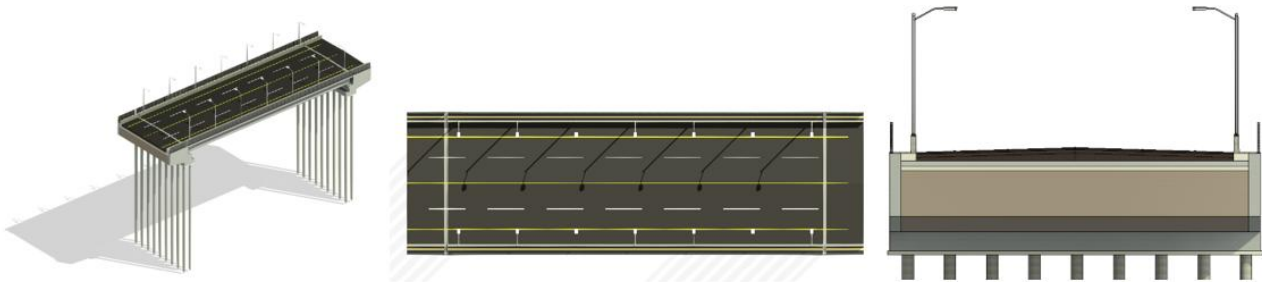
Tabel 18. Kontrol Gaya Dalam Satu Tiang Pancang Pengkombinasian Kuat I

Pile	x	y	x^2	y^2	Mx	My	P	Qall	CEK
					Mx x x1 Σxi^2	My x y1 Σyi^2	p/n + Mx1 + My1		
1	8,8	1	77,44	1	251,23	203,62	1697,46	2450,79	OK
2	6,6	1	43,56	1	188,42	203,62	1634,66	2450,79	OK
3	4,4	1	19,36	1	125,61	203,62	1571,85	2450,79	OK
4	2,2	1	4,84	1	62,81	203,62	1509,04	2450,79	OK

Pile	x	y	x ²	y ²	Mx		My		P		Qall	CEK
					Mx x x1	My x y1	Mx x x1	My x y1	p/n + Mx1 + My1			
					$\sum xi^2$	$\sum yi^2$						
5	0	1	0	1	0,00	203,62			1446,23	2450,79	OK	
6	2,2	1	4,84	1	62,81	203,62			1509,04	2450,79	OK	
7	4,4	1	19,36	1	125,61	203,62			1571,85	2450,79	OK	
8	6,6	1	43,56	1	188,42	203,62			1634,66	2450,79	OK	
9	8,8	1	77,44	1	251,23	203,62			1697,46	2450,79	OK	
10	8,8	1	77,44	1	251,23	203,62			1697,46	2450,79	OK	
11	6,6	1	43,56	1	188,42	203,62			1634,66	2450,79	OK	
12	4,4	1	19,36	1	125,61	203,62			1571,85	2450,79	OK	
13	2,2	1	4,84	1	62,81	203,62			1509,04	2450,79	OK	
14	0	1	0	1	0,00	203,62			1446,23	2450,79	OK	
15	2,2	1	4,84	1	62,81	203,62			1509,04	2450,79	OK	
16	4,4	1	19,36	1	125,61	203,62			1571,85	2450,79	OK	
17	6,6	1	43,56	1	188,42	203,62			1634,66	2450,79	OK	
18	8,8	1	77,44	1	251,23	203,62			1697,46	2450,79	OK	
	Σ		580,8	18								

Pemodelan BIM 3D

Hasil dari perhitungan dan analisa struktur yang telah dilakukan dimodelkan menjadi 3D. Hasil dari 3D ini memberi output terkait besaran kuantitas/volume pekerjaan yang ada pada proyek.



Gambar 16. Pemodelan 3D Redesain Jembatan Jetak

Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya atau RAB dihitung berdasarkan volume dai Revit dan mengacu pada Harga Satuan Pekerjaan (HSP) Konstruksi Bina Marga dan Peraturan Wali Kota Semarang tahun 2025 dengan nilai PPN 12% sehingga didapatkan total kontrak pembangunan struktur hasil *redesign* sebesar Rp30.364.124.000,00. Adapun rencana anggaran biaya disajikan pada Tabel 19.

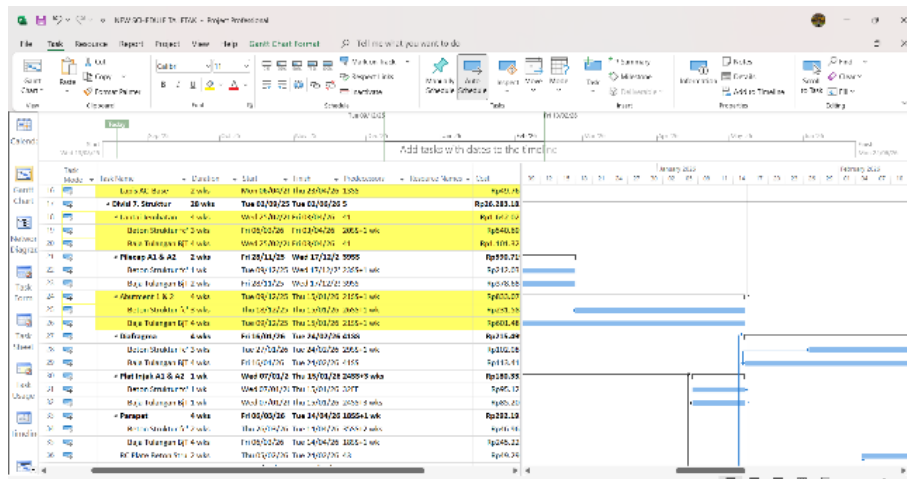
Tabel 19. Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya		
No. Divisi		Jumlah Harga Pekerjaan (Rp.)
I	Umum	Rp73.041.736,32
II	Drainase	Rp0,00
III	Pekerjaan Tanah dan Geosintetik	Rp257.705.171,70
IV	Pekerjaan Preventif	Rp0,00
V	Perkerasan Berbutir dan Perkerasan Beton Semen	Rp21.713.341,83
VI	Perkerasan Aspal	Rp384.865.546,72
VII	Struktur	Rp26.283.182.937,96
VIII	Rehabilitasi Jembatan	Rp0,00

Rencana Anggaran Biaya		
No. Divisi		Jumlah Harga Pekerjaan (Rp.)
IX	Pekerjaan Harian dan Lain-Lain	Rp90.316.876,82
(A)	Jumlah Harga Pekerjaan (termasuk Biaya Umum dan Keuntungan)	Rp27.110.825.611
(B)	Pajak Pertambahan Nilai (PPN) = 12% x (A)	Rp3.253.299.073
(C)	JUMLAH TOTAL HARGA PEKERJAAN = (A) + (B)	Rp30.364.124.685
	DIBULATKAN	Rp30.364.124.000,00
Terbilang: Tiga puluh miliar tiga ratus enam puluh empat juta seratus dua puluh empat ribu rupiah.		

Penjadwalan Proyek (BIM 4D)

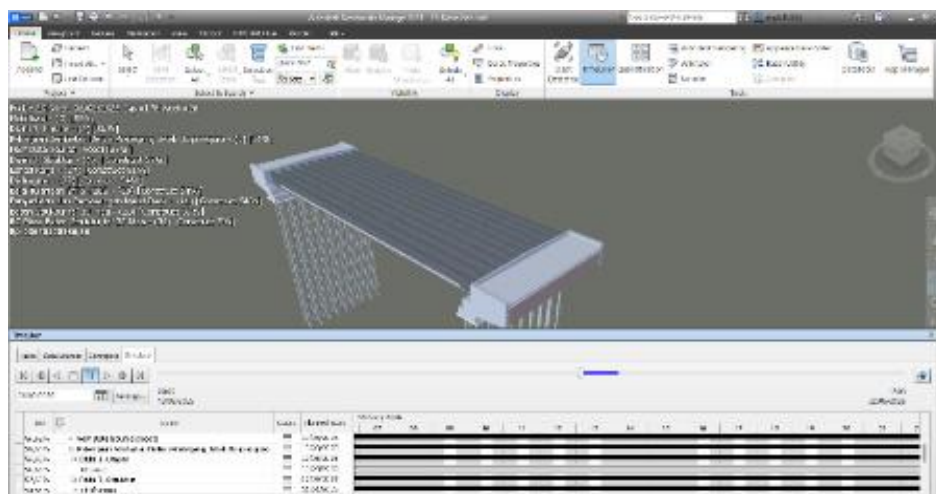
Hasil dari perencanaan ulang penjadwalan Jembatan Jetak Bojonegoro didapatkan durasi pekerjaan selama 40 minggu (10 bulan). Adapun hasil penjadwalan proyek ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Hasil Penjadwalan Proyek Redesain Jembatan Jetak

Penjadwalan Proyek (BIM 5D)

Mengintegrasikan model 3D, RAB dan penjadwalan menggunakan Autodesk Naviswork untuk mendapatkan simulasi peaksanaan proyek sesuai dengan penjadwalan dan RAB yang direncanakan. Simulasi 5D ini akan memberi gambaran rinci terkait keberjalanan proyek terhadap durasi dan biaya pelaksanaan dari awal hingga akhir pelaksanaan proyek. Adapun bentuk model pengintegrasian BIM ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Bentuk Model Pengintegrasian BIM 5D

4. KESIMPULAN

Perencanaan ulang Jembatan Jetak Bojonegoro dari struktur *Steel Box Girder* menjadi PCI-Girder berbasis BIM 5D telah memenuhi aspek kekuatan, kestabilan, dan kelayakan sesuai standar yang berlaku. Penerapan BIM 5D terbukti meningkatkan akurasi perhitungan volume, biaya, serta integrasi jadwal, dengan hasil total biaya konstruksi sebesar Rp30,36 miliar dan durasi pelaksanaan 40 minggu. Desain ulang ini menunjukkan bahwa penggunaan PCI-Girder yang dipadukan dengan BIM 5D dapat menghasilkan perencanaan jembatan yang lebih efektif, efisien, dan aplikatif untuk mendukung pembangunan infrastruktur.

REFERENSI

- Badan Standardisasi Nasional. (2004). SNI T-12-2004: Perencanaan struktur beton untuk jembatan. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). SNI 1729:2015: Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016a). SNI 1725:2016: Beban minimum untuk perancangan jembatan. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016b). SNI 2833:2016: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). SNI 8460:2017: Perencanaan geoteknik fondasi. Jakarta: BSN.
- American Institute of Steel Construction. (2016). Specification for structural steel buildings (ANSI/AISC 360-16). Chicago, IL: AISC.
- Illuminating Engineering Society of North America. (n.d.). The lighting handbook. New York, NY: IESNA.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2016). Spesifikasi Khusus Interim: Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJU-TS). Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Pemerintah Kota Semarang. (2025). Peraturan Wali Kota Semarang tentang Harga Satuan Pekerjaan (HSP) Konstruksi. Semarang: Pemkot Semarang.