

METODE PELAKSANAAN PEKERJAAN CRITICAL LIFTING PCI GIRDER BENTANG EKSTREM NON STANDARD

Muhammad Bimo Septiono¹, Bertinus Simanihuruk^{2*}, dan Hikma Dewita³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tama Jagakarsa
Jl. Letjen. T.B. Simatupang No.152, Tanjung Barat, Jakarta Selatan 12530.

*Email: bsimanihuruk@gmail.com

Abstrak

Metode Pemasangan Prestressed Concrete I Girder (PCI Girder) memiliki risiko tinggi dengan terjadinya guling pada tahap pemindahan, pengangkatan, dan penempatan di atas struktur dengan tidak adanya tahanan rotasi. Metode Pelaksanaan Pekerjaan Critical Lifting PCI Girder Bentang Ekstrem Non Standar bisa meminimalisir resiko dari tahap persiapan sampai erection yang aman terhadap resiko guling dengan perkuatan. Urutan pemasangan dilakukan dengan perhitungan alat crane, sling, dan lifting frame. Radius putaran terjauh crane 250 T adalah 12 meter dengan nilai CBR dudukan crane 6.15%. Radius putaran crane 180 T adalah 12 meter dengan nilai CBR dudukan crane 6%. Beban yang ditanggung sling 39.46 ton dengan faktor keamanan 9.8 dan faktor keamanan hook 3.8. Kuat geser nominal life line sebesar 11250 kN dengan panjang angkur minimal (L_{min}) = 315.4372 mm dan $M_u = 0.7245 \text{ kNm}$ dan beban yang dipikul per lifting frame = 39.46 ton. Pemasangan mortar pad harus rata agar bearing pad tetap rata dan lurus horizontal sehingga PCI girder Bentang Ekstrem Non Standar bertumpu sempurna. Pemasangan PCI Girder Bentang Ekstrem Non Standar yang didukung penguatan dapat terhindar dari momen guling. Dengan menetapkan urutan metode kerja, perhitungan alat angkat, pemasangan mortar pad yang rata dan penguatan pemasangan sehingga terhindar dari resiko momen guling selama pemasangan.

Kata kunci: bentang ekstrem, critical lifting, metode pemasangan, non standar, PCI Girder

1. PENDAHULUAN

Proyek pembangunan jembatan memerlukan pengelolaan resiko dari potensi bahaya yang terjadi. Proyek pembangunan struktur atas jembatan memiliki banyak potensi bahaya yang harus diperhatikan dan dikelola seperti pengangkatan balok girder yang menggunakan alat berat berupa crane, operator yang sudah berpengalaman, dan potensi bahaya pekerja yang berada di ketinggian. Kecelakaan kerja yang terbesar besar adalah pekerjaan pemasangan Girder dengan nilai indeks risiko sebesar 9,992 (*high risk*). Beberapa upaya untuk mengurangi risiko, diantaranya memastikan bahwa operator mengoperasikan mobile crane, *mobile crane* dalam kondisi siap pakai dan sesuai dengan kriteria yang ditetapkan oleh *engineering* dan pelaksana lapangan, tanah/landasan untuk lewatnya dan dudukannya *mobile crane* sesuai dengan persyaratan (Hartono, Handayani and Prakusya, 2023).

Proses pemasangan PCI Girder bentang panjang yang lebih dari 40 m memiliki resiko serta menyebabkan guling dan runtuh. Penyebab utamanya adalah adanya ketidaksempurnaan lateral, yang terbatas pada panjang atau bentang balok (L)/500 (maksimum) karena toleransi konstruksi dan kekakuan lateral yang relatif kecil (Dewobroto and Canny, 2024). Empat aspek/faktor utama yang harus dipertimbangkan dalam metode pengangkatan PCI Girder bentang 40.8 yaitu aspek biaya, waktu, kondisi lapangan dan aspek (Ramadhan and Sucita, 2025). Saat pemasangan, perencanaan harus didasarkan pada sifat-sifat mekanis PCI Girder dengan memitigasi dan minimalisasi risiko yang terjadi. Kegagalan pekerjaan pemasangan PCI Girder disebabkan tergulingnya girder saat pemindahan dengan *trailler*, pengangkatan, dan penempatan di atas struktur yang dipicu tidak adanya tahanan rotasi sehingga mencegah terjadinya guling. Pemasangan PCI Girder harus dipastikan mengantisipasi dan mencegah terjadinya guling yang berotasi ke samping yang memicu deformasi lateral. Adanya resiko kegagalan pekerjaan pemasangan, maka dilakukan penelitian tentang Metode Pelaksanaan Pekerjaan Critical Lifting PCI Girder Bentang Ekstrem Non Standard pada proyek Pembangunan Jalan Tol Kamal-Teluk Naga-Rajeg Seksi 3 STA 0+000 sampai dengan STA 6+700 dengan bentang 40.8 m. Tujuan dari penelitian yaitu

1. Mengetahui pemasangan PCI Girder yang aman terhadap resiko guling pada saat *erection*.
2. Mengetahui perhitungan dasar alat berat *crane* dan *lifting frame* pekerjaan *erection* PCI girder.

3. Mengetahui Pemasangan *Bearing Pad* pada *Mortar Pad* agar *PCI Girder* bertumpu sempurna.
4. Mengetahui metode *temporary bracing* pada tumpuan *PCI Girder* pada saat *erection*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan penelitian Resiko Metode Pelaksanaan Pekerjaan *Critical Lifting* *PCI Girder* Bentang Ekstrem *Non Standard* terdiri dari beberapa tahapan yaitu:

1. Tahap pertama melakukan kajian literatur tentang metode pelaksanaan *PCI Girder*.
2. Tahap kedua dengan pengumpulan data pelaksanaan lifting *PCI Girder* di lokasi.
3. Tahap ketiga dengan melakukan analisis dan pembahasan dengan mengukur resiko dan metode pelaksanaan *lifting* *PCI Girder*.
4. Tahap keempat merupakan menetapkan hasil kesimpulan dan saran dari penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Perhitungan Pengangkatan Crane

Tabel 4 Perhitungan Pengangkatan *Crane* 250 Ton dan 180 Ton

Crane Data			
Model	:	KOBELCO CKE2500	KOBELCO CKE1800
Tipe Alat	:	250 T	180 T
SWL Point			
Max Radius	:	12.00 meter	10.00 meter
Max Boom Length	:	27.40 meter	27.40 meter
SWL Manufactur	:	89.50 ton	71.50 ton
Material Data			
Panjang Girder	:	40.80 meter	40.80 meter
Berat Girder	:	78.29 ton	78.29 ton
Load Calculation			
Berat girder (a)	:	78.29 ton	78.29 ton
Lifting frame (b)	:	1.75 ton	1.75 ton
Berat Main Hook (c)	:	2.50 ton	2.50 ton
Berat total (d=a+b+c)	:	82.54 ton	82.54 ton
Berat total + 15 % (e=d+15%)	:	94.92 ton	94.92 ton
Berat crane (f= e/2)	:	47.46 ton	47.46 ton
Dynamic factor (g=1.05xf)	:	49.83	49.83 Ton
SWL	::	89.50 ton	71.50 ton
Total Weight of Load	::	49.83 ton	49.83 ton

Kapasitas crane yang beroda crawler memiliki kapasitas 75% dari kapasitas alat.

$$UR = \frac{\text{Beban Total}}{\text{Kapasitas SWL}} \times 100\% \quad (\text{PUPR, 2024}) \quad (1)$$

Crane 250 ton, $49.83/89.50 \times 100\% = 55.68\% < 75\%$. Radius terjauh *crane* 250 T yang diizinkan untuk *PCI Girder* dengan spesifikasi, berdasarkan Perhitungan Lifting adalah $R = 12$ meter.

Crane 180 ton, $49.83/71.50 \times 100\% = 69.69\% < 75\%$. Radius terjauh *crane* 180 T yang diizinkan untuk *PCI Girder* dengan spesifikasi, berdasarkan Perhitungan Lifting adalah $R = 10$ meter.

Working radius (m)	15.2	18.3	21.3	24.4	27.4	30.5	33.5	36.6	39.6	42.7	45.7	48.8	51.8
Boom length (m)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
4.0	219.0	255.0	291.0	327.0	363.0	400.0	437.0	474.0	511.0	548.0	585.0	622.0	659.0
5.0	191.5	219.5	247.5	275.5	303.5	331.5	359.5	387.5	415.5	443.5	471.5	509.5	537.5
6.0	165.6	185.6	205.6	225.6	245.6	265.6	285.6	305.6	325.6	345.6	365.6	385.6	405.6
7.0	146.1	165.8	185.4	205.2	225.2	245.2	265.2	285.2	305.2	325.2	345.2	365.2	385.2
8.0	120.4	130.1	140.8	150.8	160.8	170.8	180.8	190.8	200.8	210.8	220.8	230.8	240.8
9.0	111.7	117.4	121.1	126.9	131.6	136.3	141.0	145.8	150.5	155.2	160.0	164.8	168.5
10.0	103.0	109.8	115.6	121.4	127.0	132.8	138.6	144.4	150.2	156.0	161.8	167.6	173.4
11.0	94.3	100.9	107.6	114.3	120.0	125.7	131.4	137.1	142.8	148.5	154.2	160.0	165.7
12.0	85.6	92.2	98.9	105.6	112.3	119.0	125.7	132.4	139.1	145.8	152.5	159.2	165.9
13.0	76.9	83.5	90.2	96.9	103.6	110.3	117.0	123.7	130.4	137.1	143.8	150.5	157.2
14.0	69.0	72.7	74.4	72.3	72.1	72.0	71.8	71.6	71.4	71.2	71.2	71.0	70.8
15.0	60.6	63.6	60.3	60.0	59.9	59.8	59.6	59.4	59.2	59.0	59.0	59.0	59.0
16.0	51.6	51.4	51.2	51.1	50.8	50.8	50.5	50.3	50.1	50.1	50.1	50.0	50.0
17.0	45.0	44.8	44.5	44.4	44.0	44.0	43.8	43.6	43.4	43.3	43.3	43.0	43.0
18.0	39.6	39.3	39.1	38.8	38.8	38.5	38.3	38.1	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0
19.0	35.1	35.1	34.9	34.5	34.5	34.5	34.2	34.0	33.8	33.7	33.7	33.7	33.7
20.0	31.1	31.1	31.0	31.0	30.8	30.5	30.3	30.3	30.3	30.3	30.3	30.3	30.3
21.0	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1
22.0	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6
23.0	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1
24.0	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1
25.0	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6
26.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
27.0	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4
28.0	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
29.0	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
30.0	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
31.0	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
32.0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
33.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
36.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
37.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
38.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
39.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
41.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
42.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
43.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
44.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Reeves	22	18	16	14	12	10	10	9	8	8	7	6	Reeves

Gambar 2 Penetapan Radius *L-Girder* 40.8 m dengan Crane 250 ton dan 180 ton.

3.2 Analisis Perhitungan Ground Pressure

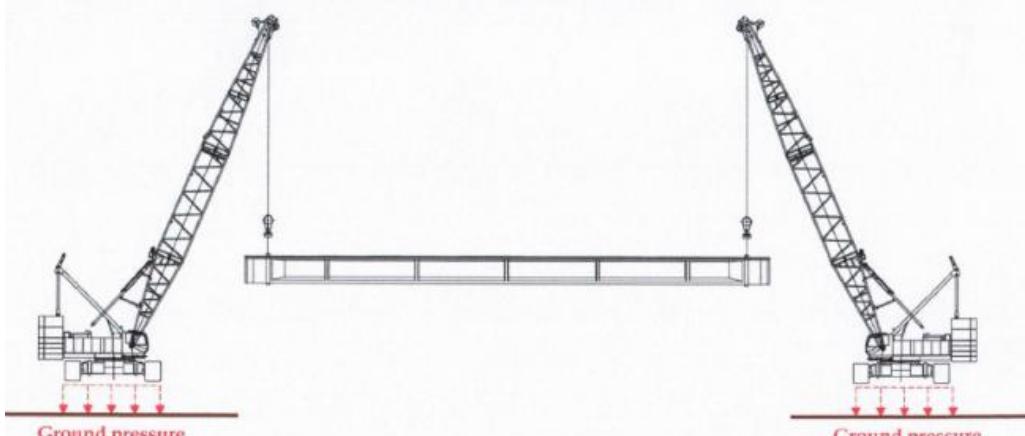
Kebutuhan Ground Pressure Crane 180 T

$$CBR = \frac{q_u (kPa)}{70} \quad (2)$$

$$q_u = 290.44 \text{ kN/m}^2$$

$$CBR = \frac{290.44}{70} = 4.15\%$$

$CBR_{\text{terfaktor}} (0.8) = \frac{4.15}{0.8} = 5.19\% < CBR_{\text{minimum}}$ (tidak memenuhi syarat). Dilakukan perbaikan tanah untuk dudukan crane 180 T sampai nilai CBR mencapai minimal 6 %.



Gambar 3 Ground Pressure Crane 180 T Akibat Beban Yang Bekerja

Kebutuhan Ground Pressure Crane 250 T

$$q_u = 344.63 \text{ kN/m}^2 (\text{kPa})$$

$$CBR = \frac{344.63}{70} = 4.92\%$$

$CBR_{\text{terfaktor}} (0.8) = \frac{4.92}{0.8} = 6.15\% > 6\%$ (memenuhi syarat). Dudukan crane 250 ton bisa digunakan.

3.3 Analisis Perhitungan Sling

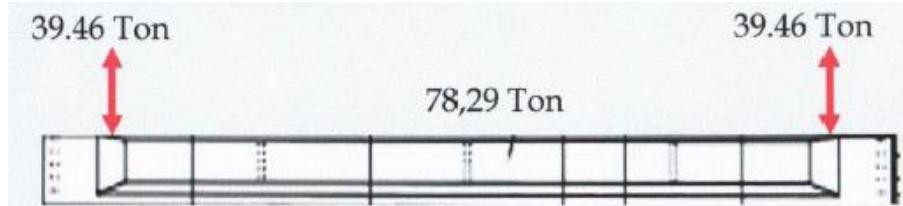
Metode Pengikatan: Lifting Frame

Berat Girder PCI 40,8 m : 78.29 Ton

Jumlah Titik Angkat : 2

Beban 1 titik angkat : $\frac{78.29}{2} = 39.46$ ton

Jadi berat yang ditanggung masing-masing sling adalah 39.46 ton



Gambar 4 Berat Yang Dipikul Sling

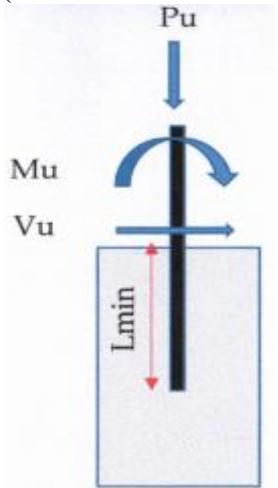
Safety Factor Sling

$$\begin{aligned} SF &= \frac{\text{Breaking Strength}}{\text{Beban}} = 5 \\ &= \frac{386.97}{39.49} = 9.8 > SF_{\text{minimal}} = 5 \text{ (memenuhi syarat)} \end{aligned} \quad (3)$$

Safety Factor Hook

$$\begin{aligned} SF &= \frac{\text{Kapasitas}}{\text{Tegangan Tali}} = 1 \\ &= \frac{150}{39.49} = 3.8 > SF_{\text{minimal}} = 1 \text{ (memenuhi syarat)} \end{aligned} \quad (4)$$

3.4 Analisis Perhitungan Life Line (Tertanam Pada Struktur)

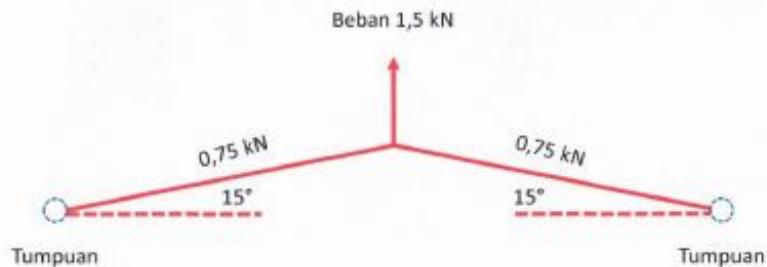


Gambar 5 Life Line

- Beban yang bekerja pada 1 angkur
 $V_u = 0.75 \text{ Kn}$ (1.5 Kn dibagi 2 kanan-kiri)
- Perhitungan kuat geser
 $\phi = 0.75$ (faktor reduksi kekuatan)
 $n = 1$ (jumlah angkur)
 $r_1 = 0.4$ (factor pengaruh ulir geser)
 $A_b = 283.385 \text{ mm}^2$ (luas penampang angkur)
 $m = 1$ (jumlah penampang geser)
 $V_n = r_1 \times m \times A_b \times f_{ub}$ (kuat geser nominal)
- Untuk BJTP 420
 $V_n = 59510.85$ dicoba D19
 $V_{ul} \leq \phi \times V_n$
 $11250 \leq 44633.14$ (Ok)
- Panjang angkur tanam
 $f_{c'} = 40 \text{ Mpa}$
 $L_{min} = \frac{f_y}{(4 * \sqrt{f_{c'}}) * d} = 315.4372 \text{ mm}$

(5)

Beban Rencana : 1.5 kN
 $V_u = \text{Beban rencana}/2$ (tumpuan)
 $V_u = 1.5 \text{ kN}/2$
 $V_u = 0.75 \text{ kN}$



Gambar 6 Distribusi Beban Yang Bekerja Pada *Life Line*

$$M_u = 0.75 \cos 15^\circ = 0.75 \times 0.966 = 0.7245 \text{ kN}$$

$$M_n = Z \times F_y \quad (6)$$

$$M_n = \frac{1}{6} D^3 \times F_y \quad (7)$$

$$M_n = \frac{1}{6} 25^3 \times 420$$

$$M_n = 1093750 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 0.109375 \text{ kNm}$$

$$M_u < \phi \times M_n$$

$$0.7245.9 \times 0.109375 = 0.98438 \text{ (Ok)} \quad (8)$$

3.5 Analisis Lifting Frame

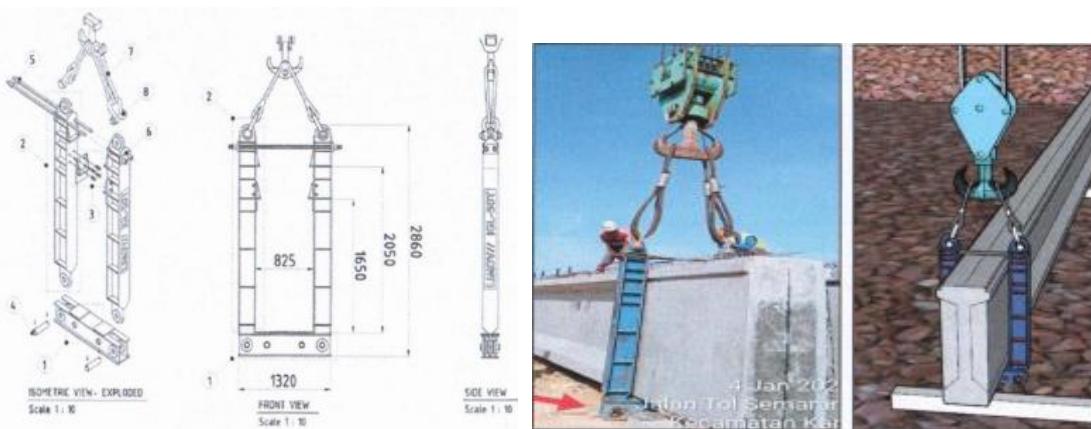
Ukuran lifting frame yang digunakan ($L \times W \times H$) = 1320x220x2860 (mm)

Safe working load : 50,000 kg

Proof Load Test : 125,000 kg

Beban yang dipikul per lifting frame = 39.46 ton = 39460 kg

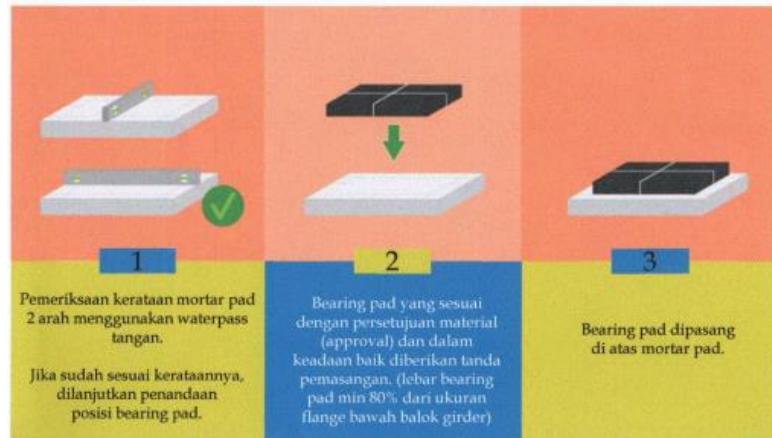
50,000 kg > 39460 kg (memenuhi syarat)



Gambar 7 *Life Frame*

3.6 Analisis Metode Pelaksanaan Perletakan Bearing Pad pada Mortar Pad

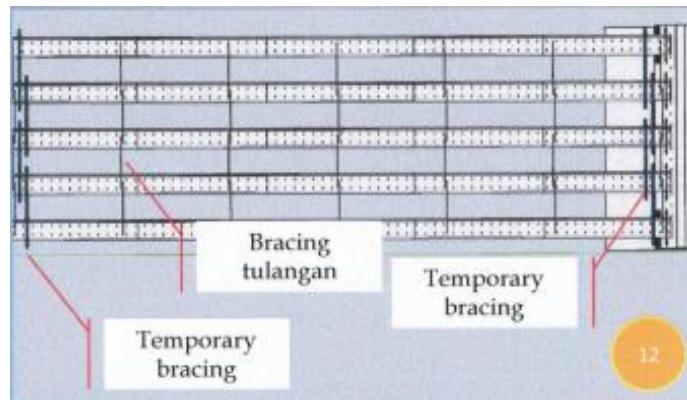
Untuk memastikan kerataan mortar pad, telah dilakukan pengecekan kerataan setelah mortar pad mengeras (pasca pelaksanaan). Kegiatan ini diperlukan agar permukaan bearing pad tetap rata dan lurus secara horizontal sesuai dengan gambar kerja sehingga bearing pad tidak mengalami tegangan berlebih dan PCI girder bertumpu sempurna



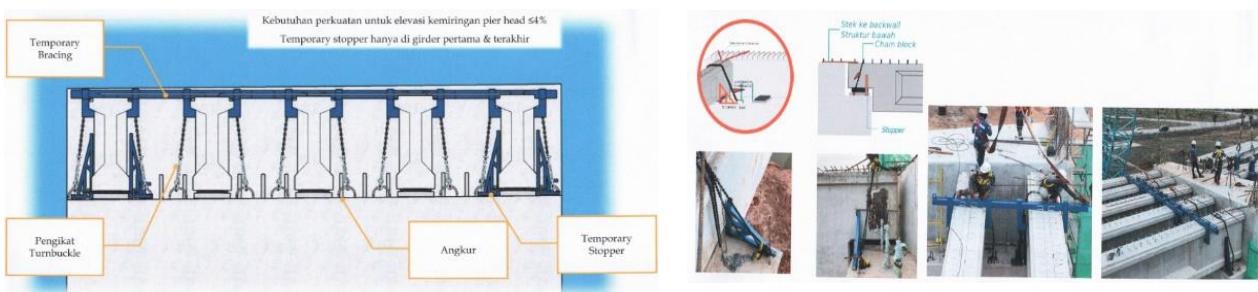
Gambar 8 Perletakan Mortar Pad dan Bearing Pad

3.7 Analisis Metode Pelaksanaan Perkuatan Girder

Posisi yang tidak tepat menyebabkan gaya tambahan penyebab guling. Pemicu terjadinya momen guling tumpuan adalah keberadaan imperfection arah lateral (sweep) dan eksentrisitas tumpuan yang bersama-sama dengan berat sendiri PCI girder dihasilkan momen guling tumpuan. Untuk pemasangan PCI Girder untuk 1 jembatan harus didukung penguatan yaitu pengikat turnbuckle, temporary bracing, angkur, bracing tulangan dan temporary stopper agar tidak terjadi momen guling pada tumpuan.



Gambar 9 Pemasangan Perkuatan PCI girder untuk 1 Jembatan



Gambar 10 Perkuatan PCI Girder Non Standar

4 KESIMPULAN

Dari penelitian tentang Penanganan Resiko Metode Pelaksanaan Pekerjaan Critical Lifting PCI Girder Bentang Ekstrem Non Standar didapat beberapa kesimpulan yaitu

1. Metode pemasangan PCI Girder yang aman terhadap resiko dilakukan dengan langkah-langkah yaitu identifikasi pekerjaan girder, pemeriksaan alat dan operator, pekerjaan persiapan lahan untuk stockyard dan alat crane dengan memperhatikan kelandaian dan kerataan, mobilisasi girder dan stockyard PCI Girder, pemasangan life line dan pengaturan lalu-lintas, rencana lifting, perhitungan pengangkatan crane, perhitungan ground pressure, perhitungan sling, perhitungan life line, perhitungan lifting frame, serta Chamber dan Deformasi Lateral PCI Girder.
2. Dari hasil perhitungan didapat beberapa hasil yaitu
 - a. Radius terjauh *crane* 250 T adalah 12 meter dan Radius terjauh *crane* 180 T adalah 12 meter.
 - b. Dari hasil pembebanan pada ground pressure didapat nilai CBR 5.19 % untuk crane 180 T sehingga tanah harus diperbaiki sampai CBR 6% dan nilai CBR 6.15% untuk crane 250T.
 - c. Berat yang ditanggung masing-masing sling adalah 39.46 ton dengan faktor keamanan 9.8 dan *Safety Factor Hook* 3.8 yang nilainya lebih tinggi dari syarat minimum untuk aman digunakan dalam pelaksanaan.
 - d. Kuat geser nominal dari life line sebesar 11250 kN dengan panjang angkur minimal (L_{min})= 315.4372 mm dan $M_u = 0.7245 \text{ kNm}$.
 - e. Beban yang dipikul per lifting frame = 39.46 ton = 39460 kg $< 50,000 \text{ kg}$.
3. Pemasangan mortar pad harus rata agar permukaan bearing pad tetap rata dan lurus secara horizontal sehingga PCI girder bertumpu sempurna.
4. Untuk pemasangan PCI Girder untuk 1 jembatan harus didukung penguatan yaitu pengikat turnbuckle, temporary bracing, angkur, bracing tulangan dan temporary stopper agar tidak terjadi momen guling pada tumpuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewobroto, W. and Canny, K.A. (2024) "Evaluation of the Indonesian Standard Guidelines for Long-Span PC Girder Erection," *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 29(4), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.1061/ppscfx.sceng-1424>.
- Hartono, W., Handayani, D. and Prakusya, M.B. (2023) "Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Pada Konstruksi Struktur Atas Jembatan," *Matriks Teknik Sipil*, 11(1), pp. 48–55. Available at: <https://doi.org/10.20961/mateksi.v11i1.71133>.
- PUPR (2024) "Standar Pelaksanaan Pemasangan Gelagar Jembatan Pratekan Pracetak Tipe-I (Pci Girder)," (021), p. 22. Available at: <https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/2075/standar-pelaksanaan-pemasangan-gelagar-jembatan-pratekan-pracetak-tipe-i-pci-girder.pdf>.
- Ramadhan, M.R. and Sucita, I.K. (2025) "METODE PELAKSANAAN ERECTION PC-I GIRDER MENGGUNAKAN DOUBLE CRAWLER CRANE PENDAHULUAN," *Seminar Nasional Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta*, 2024. Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta, pp. 861–873.