

PENANGANAN JEMBATAN CISOMANG RUAS TOL CIKAMPEK-PADALARANG: PEMBELAJARAN PENANGANAN JEMBATAN AKIBAT PERGERAKAN TANAH *CLAY SHALE*

Iwan Zarkasi

Direktorat Jenderal Bina Marga
Kementerian Pekerjaan Umum dan
Perumahan Rakyat
iwanzark17@yahoo.com

Herry Irpanni

Direktorat Jenderal Bina Marga
Kementerian Pekerjaan Umum dan
Perumahan Rakyat
herryirp@gmail.com

Herdianto Arifien

Direktorat Jenderal Bina Marga
Kementerian Pekerjaan Umum dan
Perumahan Rakyat
herdi.arief.ha@gmail.com

Abstract

This paper presents an overview of the handling of Cisomang Bridge, which is part of the Cikampek-Padalarang Toll Road, at KM 100 + 700. This bridge was damaged by the movement of clay shale soil, which causes deformation of the P2 pillar. Efforts to stop the movement are performed through two stages, namely initial handling, including Grouting and Struting, and structural handling, which includes Bored Pile and Ground Anchor, Connection Beam, and Jacketing. After the bridge repair, the measurement and monitoring survey results indicate no significant movement on the bridge pillar.

Keywords: bridge damage, soil movement, pillar deformation, bridge repair

Abstrak

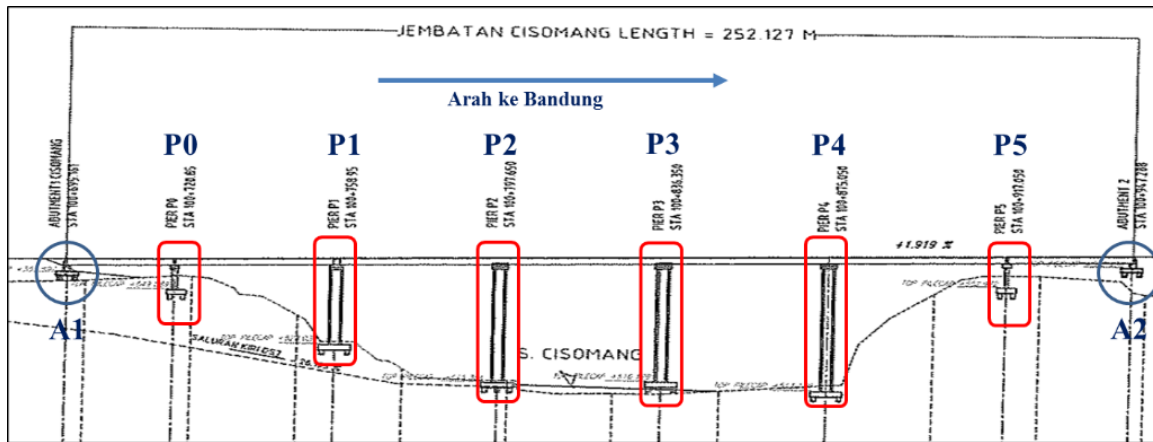
Makalah ini menyajikan *overview* penanganan Jembatan Cisomang, yang merupakan bagian ruas Jalan Tol Cikampek-Padalarang, pada KM 100 + 700. Jembatan ini mengalami kerusakan akibat adanya pergerakan tanah *clay shale*, yang menyebabkan terjadinya deformasi pada pilar P2. Upaya penghentian pergerakan dilakukan melalui dua tahap, yaitu penanganan awal, meliputi *Grouting* dan *Struting*, serta penanganan struktural, yang meliputi *Bored Pile* dan *Ground Anchor*, *Connection Beam*, dan *Jacketing*. Setelah dilakukan perbaikan jembatan, hasil survei pengukuran dan pemantauan mengindikasikan tidak terjadinya pergerakan yang signifikan pada pilar jembatan.

Kata-kata kunci: kerusakan jembatan, pergerakan tanah, deformasi pilar, perbaikan jembatan

PENDAHULUAN

Jembatan Cisomang merupakan bagian dari ruas Jalan Tol Cikampek-Padalarang terletak pada KM 100 + 700. Untuk menghindari perbedaan kekakuan *pier* yang besar pada sistem struktur Jembatan Cisomang dan mempertimbangkan deformasi lateral cukup besar pada kondisi gempa. Sehingga Jembatan Cisomang merupakan tipe jembatan *simple beam* pada bentang A1-P0, P0-P1, P4-P5 dan P5-A2, serta P1-P2-P3-P4 merupakan tipe jembatan

continuous integral (Imran et al., 2005). Jembatan ini mempunyai panjang 253.127 meter dengan lebar 2 x 12,05 meter dengan jumlah bentang 7 bentang dengan enam pilar.



Gambar 1 Tampak Samping Jembatan Cisomang

Hasil studi Pusjatan dan LAPI ITB tahun 2016 data melaporkan sebagai berikut (Tabel 1 dan 2).

Tabel 1 Hasil Studi Pusjatan Tahun 2016

No.	Tinjauan	Hasil
1.	Geometrik pilar jembatan	Terdapat indikasi kemiringan pilar arah memanjang (arah Jakarta), yaitu pada Pilar 1, Pilar 2, dan Pilar 3 (Asumsi: acuan pengukuran menggunakan titik ukur terbawah pada kolom) dengan nilai bervariasi antara 6,1-57,02 cm dengan deformasi lateral terbesar terjadi pada Pilar 2 sebesar 57,02 cm (batas izin deformasi lateral P2 adalah sebesar 71,5 cm sesuai hasil analisis PT LAPI ITB Tahun 2016). Sementara pada Pilar 4 dan Pilar 5 tidak terjadi indikasi kemiringan pilar.
2.	Elevasi permukaan (lendutan) jembatan	Terjadi beda tinggi pada bentang antara Pilar 2 dengan Pilar 3 sebesar 10-32 cm.
3.	Perhitungan kapasitas gelagar prategang jembatan	Perhitungan kapasitas gelagar prategang jembatan pada bentang 7 berdasarkan beban <i>service</i> diperoleh bahwa jembatan berada pada kondisi AMAN dengan nilai tegangan tekan dan tegangan tarik beton berada di bawah batas izinnnya.
4.	Getaran jembatan	Dengan membandingkan nilai frekuensi aktual pada tahun 2012 dan 2016 diperoleh nilai frekuensi aktual yang tetap, yaitu sebesar 3,42 Hz. Artinya, tidak ada perubahan perilaku getaran pada Jembatan Cisomang.

KONDISI DAN PENANGANAN AWAL JEMBATAN

Jembatan telah mengalami deformasi dengan besaran deformasi yang terjadi seperti pada Tabel 3. Besaran deformasi tersebut adalah pergerakan relatif pilar bagian bawah terhadap pilar bagian atas. Sedangkan notasi A, B, C, dan D pada setiap pilar/*pier* menunjukkan bahwa A adalah posisi pada hilir sungai sedangkan B pada P1, P2, P3, dan

P4 atau D pada P0, dan P5 adalah posisi pada hulu sungai. Perbedaan besaran pergerakan pada sisi A dan B dalam satu pilar menunjukkan pilar tersebut mengalami torsi.

Tabel 2 Hasil Studi LAPI ITB Tahun 2016

No.	Tinjauan	Hasil
1.	Uji statik jembatan	Hasil pengujian uji statik jembatan dengan hasil terbesar, yaitu sebesar 0,299 meter pada titik pengamatan P1 dengan diberi beban, sedangkan setelah beban tidak ada dan dilakukan pengamatan menunjukkan bahwa tidak terjadi penurunan kembali.
2.	Analisis kapasitas kondisi layan	- Momen maks pada kondisi layan adalah sebesar 4.855,84 kNm (tanpa beban hidup) dan 7.751,32 kNm (dengan beban hidup) serta kapasitas momen retak = 13.360 kNm. - Momen maks kondisi layan < kapasitas momen retak, sehingga pada kondisi layan penampang AMAN.
3.	Analisis kriteria desain awal (SNI 2002 dan UBC97)	Pada satu kondisi plot interaksi gaya berada di dalam diagram interaksi penampang dengan rasio kapasitas sebesar 0,624 (Nilai ini sudah memperhitungkan terjadinya perpindahan <i>pier</i> ke arah melintang), artinya penampang AMAN.
4.	Batas maksimum deformasi	Batas maksimum deformasi yang diperbolehkan terjadi pada Pilar 2 adalah sebesar 0,715 meter (dihitung berdasarkan persyaratan p-delta sesuai SNI gempa 2833).

Tabel 3 Besaran Deformasi pada Pilar Jembatan Cisomang

Pier	<i>Long</i>		<i>Cross</i>	
	Selisih (m)	Keterangan	Selisih (m)	Keterangan
P0A	0,134	Arah JKT	0,103	Arah B
P0B	0,153	Arah JKT	0,073	Arah B
P0C	0,118	Arah JKT	0,040	Arah A
P0D	0,071	Arah JKT	0,089	Arah A
P1A	0,264	Arah JKT	0,124	Arah A
P1B	0,244	Arah JKT	0,264	Arah A
P2A	0,525	Arah JKT	0,274	Arah A
P2B	0,419	Arah JKT	0,143	Arah A
P3A	0,055	Arah BDG	0,056	Arah B
P3B	0,095	Arah JKT	0,057	Arah B
P4A	0,119	Arah BDG	0,033	Arah A
P4B	0,120	Arah BDG	0,069	Arah A
P5A	0,005	Arah JKT	0,075	Arah BDG
P5B	0,003	Arah BDG	0,062	Arah BDG
P5C	0,002	Arah BDG	0,035	Arah BDG
P5D	0,001	Arah BDG	0,073	Arah BDG

Setelah dilakukan pengamatan lebih mendetail dengan menggali *pile cap* P0 maka ditemukan bahwa pada *joint* pilar dan *pile cap* P0 telah terjadi keropos (*spalling*). Demikian juga pada P3 terjadi keropos pada *joint bore pile* dengan *pile cap* (Gambar 2 dan Gambar 3).



Gambar 2 Keropos pada Pilar P0



Gambar 3 Keropos pada Pondasi *Bore Pile* Pilar P3

Pengamatan *expansion joint* pada P0 telah terjadi celah sebesar 2,5 cm. Hal tersebut masih lebih kecil dari celah rencana 5 cm. Sedangkan pada posisi P1 celah *expansion joint* tidak segaris lagi dengan celah pada *barrier*. Hal ini menunjukkan bahwa pelat baja pada *expansion joint* telah tertumbuk dengan pelat beton. Sedangkan lebar gap sebesar 5 cm sehingga masih sesuai dengan lebar rencana. Menunjukkan bahwa *expansion joint* masih dalam keadaan baik.



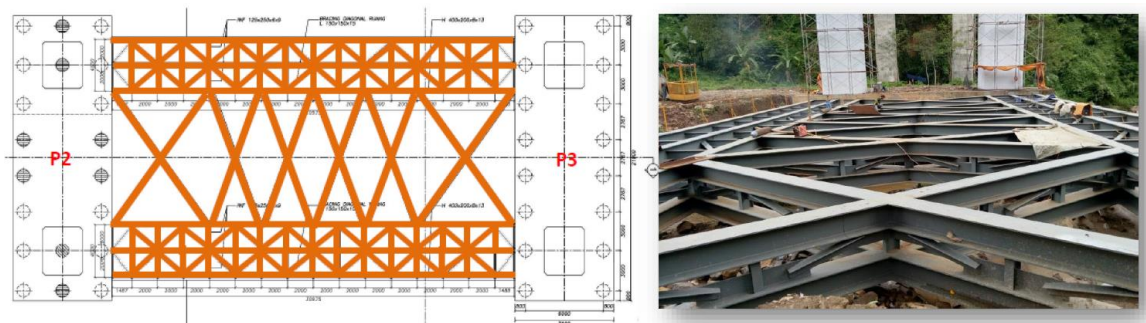
Gambar 4 Kondisi *Expansion Joint* P0 dan P1

Untuk menghindari kerusakan lebih lanjut, dilakukan penanganan sementara sambil menunggu proses desain secara menyeluruh. Adapun penanganan yang dilakukan adalah sebagai berikut (Jasa Marga, 2017):

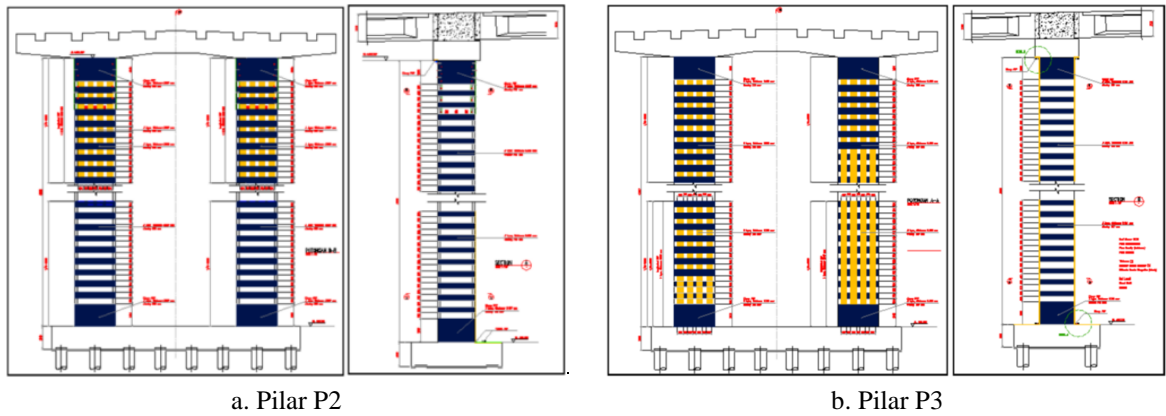
- 1) *Grouting*, dilakukan untuk menutupi atau melindungi tulangan dari karat, selain juga untuk mencegah pembesaran keretakan (Gambar 6).
- 2) Pemasangan *strutting*, pergerakan P2 ke arah Bandung, sedangkan untuk P3 ke arah Jakarta sehingga diperlukan *strutting* untuk menahan pergerakan P2 (Gambar 7).
- 3) FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) yang digunakan dalam Jembatan Cisomang ini tipe *High Strength Carbon Fiber* dengan spesifikasi: Tebal 0,165 mm; *Ultimate Tensile Strength* 3800 Mpa; *Tensile Modulus of Elasticity* 227 GPA; dan *Rupture Stress* 1,67%. Setiap pelapisan lembaran FRP didahului dengan *primer coating* dan ditutupi dengan *impregnation primer coating*. Pada Jembatan Cisomang ini pemasangan FRP ini pada arah horizontal menggunakan 3 lapis FRP, sedangkan arah vertikal menggunakan 4 lapis (Gambar 8).



Gambar 5 Pekerjaan *Grouting*



Gambar 6 Pekerjaan *Strutting*



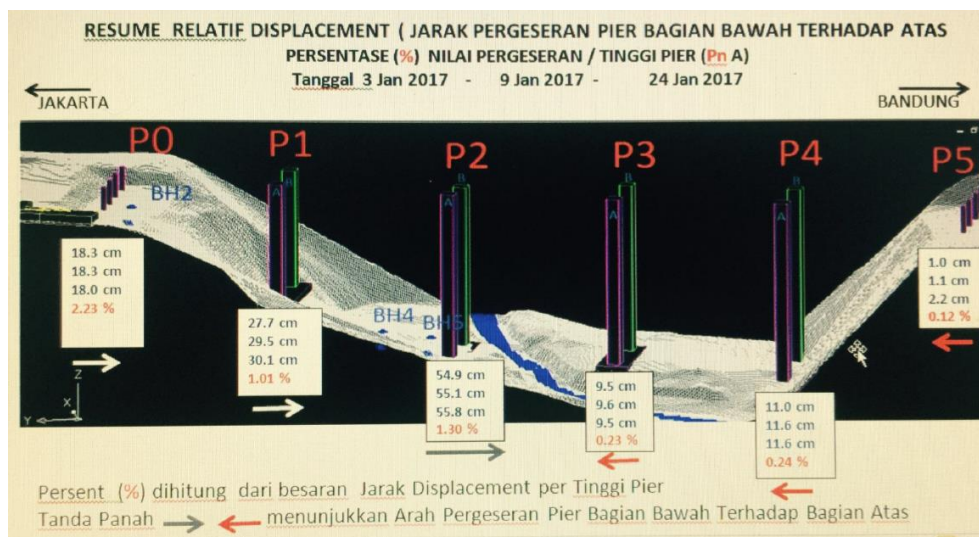
Gambar 7 Pekerjaan Pemasangan FRP pada Pilar P2 dan P3

DESAIN DAN PENANGANAN JEMBATAN CISOMANG

Pengukuran Pergerakan Geometrik

Survei pengukuran dilakukan untuk mengukur pola pergerakan yang terjadi. Hasil survei tersebut digunakan juga sebagai penilaian atau tolok ukur keberhasilan perbaikan struktur jembatan. Pergerakan relatif pilar yang terjadi adalah seperti terlihat pada Gambar 8.

Hasil pengukuran menunjukkan pergerakan yang terjadi adalah bahwa pergerakan bagian bawah P0, P1, dan P2 telah mendorong bagian atas P3, P4, dan P5. Tumbukan ini mengakibatkan dek atas P2-P3 mengalami kelengkungan ke atas. Apabila dibandingkan dengan gambar *as build drawing* maka ketinggian kelengkungan tersebut mencapai 27,5 cm, seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 8 Pergerakan Relatif Pilar Jembatan Cisomang



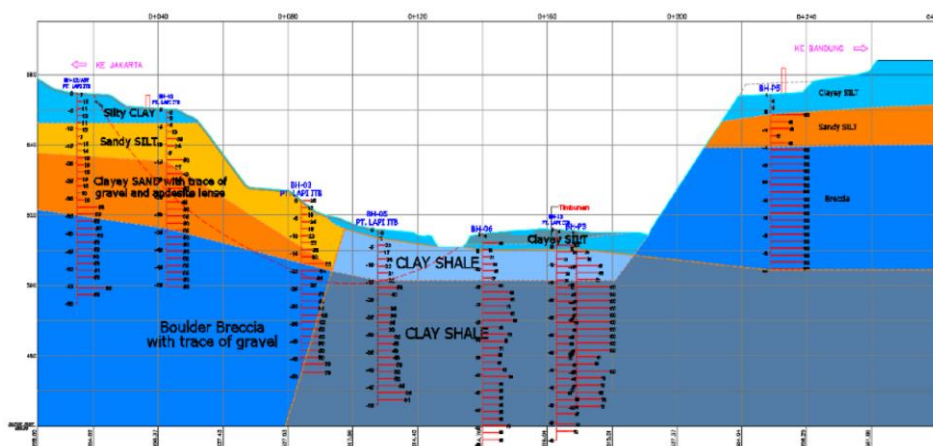
Gambar 9 Kelengkungan pada Profil Memanjang Jembatan Cisomang

Survei dan Analisis Geoteknik

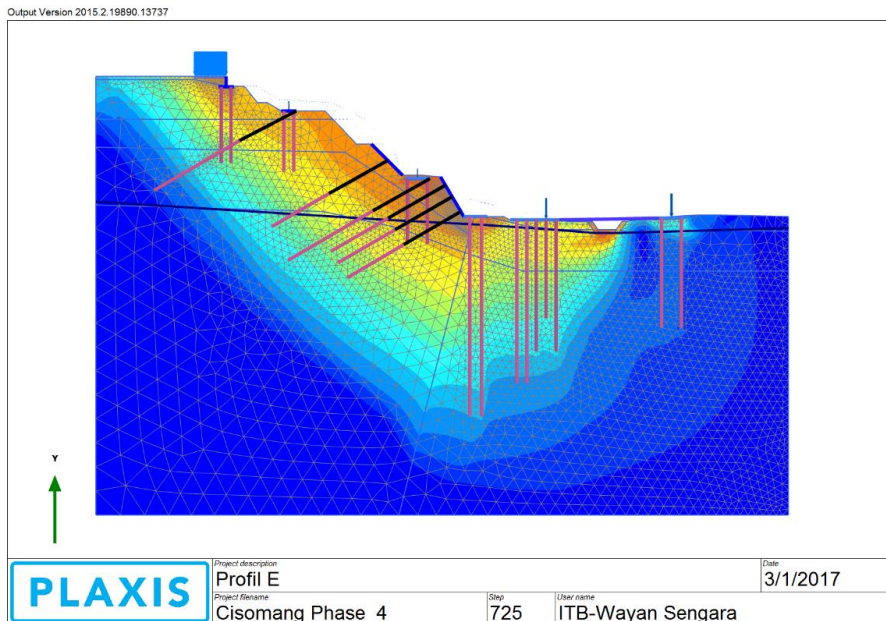
Hasil penyelidikan geoteknik yang dilakukan oleh pihak LAPI ITB, Lemtek UI, dan PT Petrosol melakukan survei penyelidikan tanah dan pemantauan pergerakan tanah. Dari seluruh survei dan penyelidikan geoteknik, maka stratifigasi tanah seperti pada Gambar 10. Dari Gambar 10 terlihat bahwa Jembatan Cisomang berdiri di atas patahan dan Pilar P2, P3, dan P4 berdiri pada lapisan *clay shale*. Sebuah lapisan tanah lempung yang memiliki karakteristik kekuatan geser tinggi dalam kondisi kering, tapi mudah hancur apabila terkena air dan tekspose udara terbuka.

Selanjutnya, sesuai hasil penelitian dan penyelidikan tanah lanjutan, pihak LAPI ITB (2017) mengusulkan penanganan seperti Gambar 11. Perkuatan yang diusulkan adalah sebagai berikut:

- 1) Perkuatan dengan *strutting* baja (SF = 1,09).
- 2) *Cutting/unloading* dilakukan pada area antara A1-P0-P1 (SF = 1,28).
- 3) Perkuatan *bored pile* P2 (D = 1,2 meter, panjang 50 m).
- 4) Perkuatan *bored pile* P1-P2 (D = 1,5 meter, panjang 60 m) (SF = 1,37).
- 5) Perkuatan *ground anchor* pada P0 dan P1 (sudut 30 derajat, panjang 50 m).
- 6) Perkuatan *ground anchor* pada lereng P1-P2 dan P0-P1 (sudut 30 derajat, panjang 40 m).



Gambar 10 Stratifigasi Tanah Perbaharuan

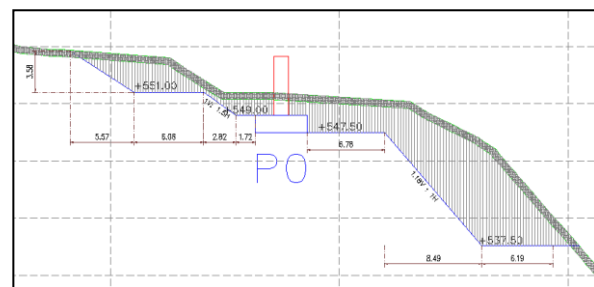


Gambar 11 Rekomendasi Penanganan Jembatan Cisomang Versi LAPI ITB

Dari analisis tersebut, ternyata pekerjaan galian pada timbunan tanah antara A1-P0-P1 ternyata cukup efektif untuk menaikkan angka keamanan. Terlebih lagi, pada pelaksanaan penggalian area tersebut ternyata ditemukan ex-tiang pondasi bor yang merupakan sisa tiang saat konstruksi (Gambar 12a). Adapun area penggalian seperti pada Gambar 12b. Pada akhir pelaksanaan, penggalian tersebut ternyata juga efektif dalam mengurangi pergerakan pilar.



a. Ex-tiang Bor Pondasi pada Area Galian



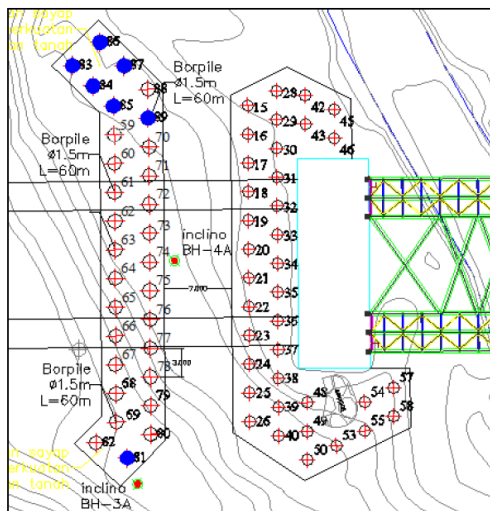
b. Area Galian

Gambar 12 Pekerjaan Galian antara A1-P0-P1

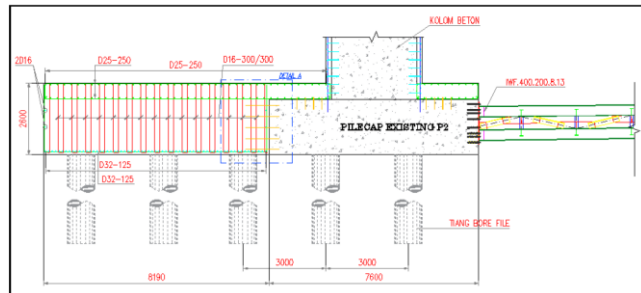
Penanganan Struktural

Bored Pile dan Ground Anchor

Dari hasil analisis geoteknik, untuk menaikkan faktor keamanan struktur Jembatan Cisomang dan mengurangi laju pergerakan pilar, dilakukan perkuatan dengan memasang *bored pile* di P2 dan P1-P2. Konfigurasi pemasangan *bored pile* seperti pada Gambar 13. Melihat kedalaman pondasi tiang bor yang cukup dalam serta untuk menjamin integritas mutu tiang pondasi digunakan beton isian jenis SCC (*Self Compacting Concrete*).



a. Tampak Atas



b. Potongan Melintang

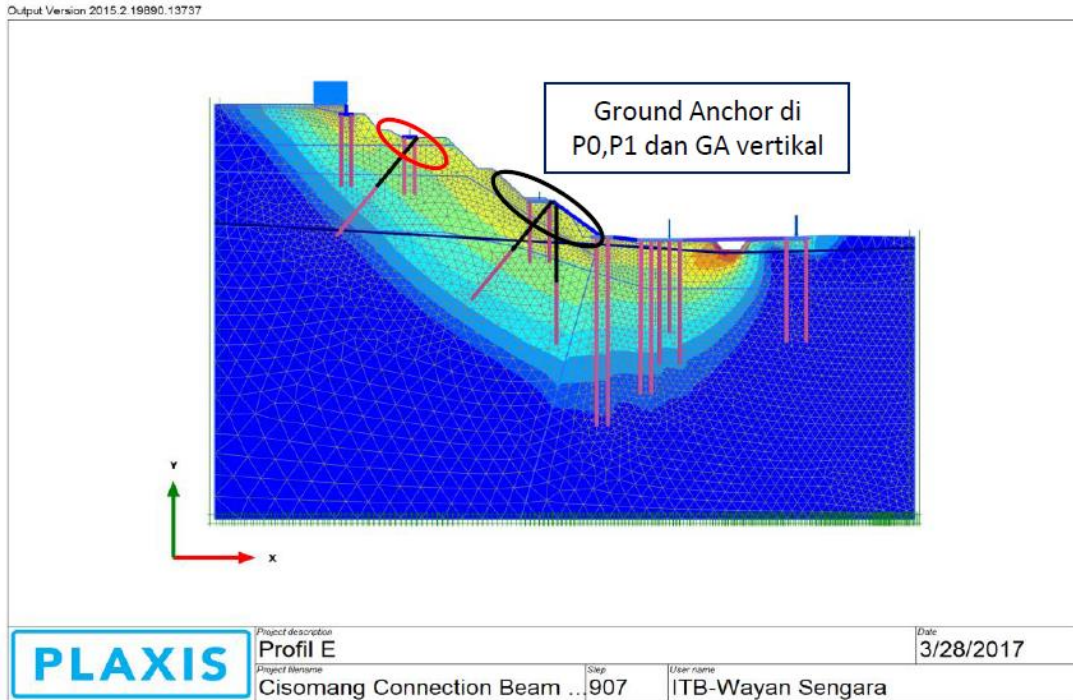
Gambar 13 Konfigurasi *Bored Pile* di P2

Tahapan selanjutnya setelah pemasangan *bored pile* adalah *ground anchor*. Pemasangan *ground anchor* bertujuan sebagai perkuatan geoteknik yang menahan pergerakan tanah yang terjadi sehingga struktur tidak terus mengalami pergeseran. Kriteria desain dalam faktor keamanan yang digunakan dalam desain ini berdasarkan *British Standard* (BS 8081 1989), di mana untuk *ground anchor* permanen digunakan $SF = 2,0$ untuk tendon/*strand* dan $SF = 3,0$ untuk friksi antara *ground anchor* dengan tanah. Analisis dan desain *ground anchor* dilakukan dalam 3 tahapan, yaitu:

- 1) Menentukan beban kerja desain ($T_w = FWD$).
- 2) Menghitung dan menentukan panjang dari *ground anchor* berdasarkan friksi dari *ground anchor*.
- 3) Menghitung dan menentukan jumlah *strands* berdasarkan beban kerja desain.

Pada saat pelaksanaan, pekerjaan pemasangan *ground anchor* memakan waktu yang sangat lama. Lambatnya kemajuan pelaksanaan tersebut dapat mengganggu stabilitas lereng di bawah jembatan. Oleh karena itu, jumlah *ground anchor* yang semula seperti pada Gambar 11 diubah menjadi seperti pada Gambar 13. Untuk mempertahankan stabilitas pilar P1 maka dipasang *connection beam* dari *pile cap* P1 ke *pile cap* P1P2 dan dari *pile cap* P1-P2 ke *pile cap* P2. Hasil analisis dari pemasangan *connection beam* tersebut menghasilkan *safety factor* sebesar 1,43.

Adapun angka keamanan pada setiap tahapan konstruksi tersebut menjadi seperti pada Tabel 4.



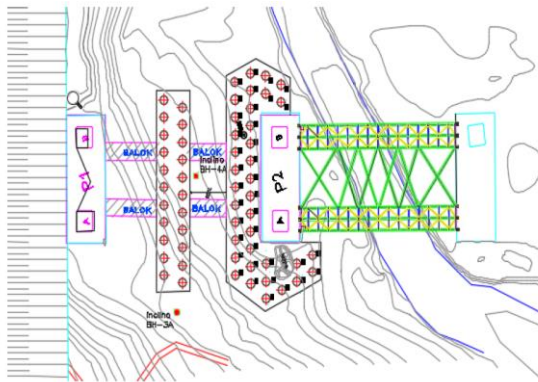
Gambar 14 Analisis Penanganan Jembatan Cisomang

Tabel 4 Hasil Analisis Angka Keamanan Setiap Tahapan Konstruksi

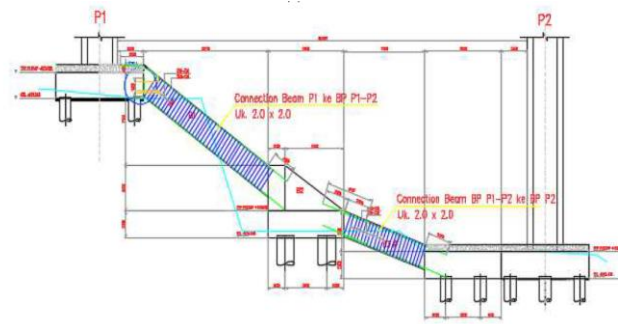
No.	Tahapan Konstruksi	Angka Keamanan/SF (<i>Drained</i>)	
		<i>Lower Bound</i>	<i>Upper Bound</i>
1.	Pemasangan strut baja	1,09	1,22
2.	<i>Cutting/unloading</i>	1,28	1,32
3.	Perkuatan <i>bored pile</i>		
	- <i>Bored pile pier P2</i> dia. 1,2 m	1,37	1,4
	- <i>Bored pile pier P1-P2</i> dia. 1,5 m		
4.	Perkuatan tambahan		
	- <i>Connection beam</i>	1,43	1,55
	- <i>Ground anchor</i>		

Connection Beam

Connection beam seperti pada Gambar 15 ditunjukkan menahan beban pergerakan P1 yang ditumpukan ke *pile cap* P1-P2 dan *pile cap* P2. Selain itu juga stabilisasi area lereng antara P1 dan P2 tidak efektif lagi menggunakan *ground anchor* seperti pada perencanaan awal (Gambar 14). Hal tersebut dikarenakan proses pemasangan *ground anchor* dirasakan lambat, dan terganggu dengan aktivitas pengeboran untuk tiang bor pondasi pada lereng tersebut. Tetapi untuk menahan gaya vertikal yang diterima *connection beam* maka dipasang *ground anchor* diujung *connection beam* dekat P1 pada kedua kakinya.



a. Konfigurasi Pemasangan *Connection Beam*



b. *Connection Beam* Tampak Samping

Gambar 15 *Connection Beams* pada P1-P2

Jacketing

Jacketing bertujuan untuk perkuatan pilar beton yang telah mengalami deformasi yang terjadi. *Jacketing* dipasang pada P0, P1, dan P2 yang menerima beban deformasi yang besar. Beton *jacketing* yang digunakan pada ketiga pilar tersebut $f_c' = 30$ MPa. Pada Pilar P0, tebal *jacketing* 25 cm sedangkan tinggi pemasangan 14,7 m. Tulangan yang digunakan adalah d25-100. *Shear connector* yang digunakan 4d13-300 pada setiap sisinya.

Pada Pilar P1, tebal *jacketing* 20 cm sedangkan tinggi pemasangan 14,7 m. Tulangan yang digunakan adalah d32-125. *Shear connector* yang digunakan 6d13-200 pada setiap sisinya. *Jacketing* pada struktur P2 direncanakan tebal 20 cm setinggi 10,7 m. Tulangan yang digunakan adalah d32-125. *Shear connector* yang digunakan 6d13-200 pada setiap sisinya. Pada Pilar P2 bagian atas diberikan perkuatan dengan selimut baja setebal 20 mm sepanjang 4,5 m untuk menambah kekuatan penampang dalam memikul beban gempa dan *displacement* yang terjadi.

Pemantauan dan Evaluasi Pascaperbaikan

Pemantauan terus dilakukan hingga pekerjaan selesai pada tanggal 31 Mei 2017 dan pembukaan penuh arus pada 1 April 2017. Pertambahan pergerakan sudah tidak terjadi lagi atau sudah tidak signifikan (Tabel 5). Evaluasi juga dilakukan dengan menggunakan *accelerometer* pada pangkal Pilar P3 dengan menggunakan beban lalu lintas, namun pengujian belum menunjukkan hasil yang diharapkan. Hal ini dapat terjadi karena beban lalu lintas belum dapat mengeksitasi Pilar P3.

Tabel 5 Hasil Pemantauan Akhir Pergerakan Pilar

<i>Pier</i>	Kondisi Jan 2017	Kondisi Mei 2017	Penambahan Relatif <i>Displac.</i>	Tanggal Dinyatakan Tidak Berubah
P0	183 mm	186 mm	3 mm	21 Feb 2017
P1	276 mm	340 mm	64 mm	31 Mei 2017
P2	546 mm	572 mm	26 mm	29 April 2017
P3	96 mm	93 mm	-3 mm	27 Feb 2017
P4	111 mm	103 mm	-8 mm	24 Feb 2017
P5	13 mm	22 mm	9 mm	14 Feb 2017

KESIMPULAN

Dari seluruh uraian tersebut di atas, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa penyebab dari pergerakan Jembatan Cisomang adalah adanya pelapukan tanah *clay shale* yang tampak pada permukaan tepi sungai dekat P2. Selain itu juga penimbunan pada kaki P0 dan P1 dari sisa material ex-pembangunan jembatan tersebut yang menjadi salah satu pemicu terjadinya pergerakan tanah. Hal tersebut dibuktikan dari analisis plaxis yang memberikan kenaikan SF signifikan dengan galian pada ex-timbunan tersebut.

Tahapan penanganan yang dilakukan ternyata cukup efektif menghentikan pergerakan dengan terbukti dapat menaikkan SF. Upaya penghentian pergerakan melalui dua tahap, yaitu penanganan awal meliputi: *grouting* dan *struting* dan penanganan struktural meliputi pemasangan *bore pile*, *ground anchor*, *connection beam*, dan *jacketing*.

Hasil survei pengukuran dan pemantauan mengindikasikan pergerakan yang tidak signifikan lagi (masih dalam *error range* alat). Pembukaan arus lalu lintas juga tidak menunjukkan pergerakan pilar yang signifikan. Namun demikian, tetap perlu dilakukan pemantauan pergerakan secara berkala sebagai fungsi deteksi dini serta penelitian lebih lanjut mengenai bidang longsor dalam untuk mencari arah dan model bidang longsor yang sesungguhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Imran, I., Budiono, B., Adhi, K., Rusdiman, dan Aryanto, A. 2005. *Sistem Jembatan Girder Menerus: Studi Kasus pada Perencanaan Jembatan Cisomang*. Seminar Nasional Rekayasa Material dan Konstruksi Beton. Bandung.
- Jasa Marga, PT. 2017. *Laporan Kemajuan Penanganan Jembatan Cisomang: Pembahasan dengan Tim KKJTJ*.
- LAPI ITB, PT. 2017. *Analisis Perbaikan Jembatan Cisomang Ruas Jalan Tol Purbaleunyi* Laporan Akhir.
- LAPI ITB, PT. 2017. *Laporan Analisis Geoteknik Perkuatan Jembatan Cisomang Ruas Jalan Tol Purbaleunyi*. Laporan Akhir.
- LAPI ITB, PT. 2017. *Laporan Analisis Struktur Pemeriksaan Jembatan Cisomang Ruas Jalan Tol Purbaleunyi*.