

STUDI KASUS

**PENGGUNAAN PONDASI *BORED PILE* UNTUK
MELINDUNGI PILAR JEMBATAN KERETA API BH.1153
BUMIAYU DARI BAHAYA ALIRAN DEBRIS**

Nur Arifaini¹, dan Amril Ma'ruf Siregar^{1*}

¹ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lampung

*amrilmaruf85@eng.unila.ac.id

Intisari

BH.1153 merupakan salah satu jembatan kereta Api yang membentang di atas Kali Keruh Bumi Ayu Jawa Tengah. Struktur jembatan dengan bentang 298 m ini pernah mengalami keruntuhan salah satu pilar jembatan akibat banjir bandang. Saat ini telah dibangun jembatan baru dengan konstruksi beton yang bersebelahan dengan jembatan lama. Mengingat posisi pilar jembatan berada di badan sungai, dikhawatirkan akan mengalami benturan dengan material batu pada saat banjir. Dengan demikian dibutuhkan penelitian untuk mengetahui struktur pelindung pilar yang sesuai dengan kondisi di lapangan.

Analisis yang dilakukan yaitu mengidentifikasi kondisi eksisting lokasi dengan bantuan data sekunder berupa peta topografi dan data hasil pengujian bor mesin yang dilaksanakan di lokasi penelitian. Selanjutnya, dilakukan perhitungan besarnya momentum yang ditimbulkan material pada saat terjadi banjir.

Hasil analisis data lapangan menunjukkan bahwa kecepatan aliran debris pada saat banjir di lokasi adalah sebesar 2,124 m/dtk. Besarnya momentum yang terjadi jika material baru dengan diameter 60 cm pada saat banjir adalah sebesar 3,536 ton m/dtk. Penggunaan tiang pondasi *bored pile* sangat efektif untuk digunakan sebagai pelindung pilar jembatan kereta api dimana besarnya tahanan tiang *bored pile* diameter 1 m dengan kedalaman 9,7 m dapat menahan beban sebesar 8,802 ton. Formasi penempatan pondasi *bored pile* dengan metode *zig zag* dapat dengan tambahan perkuatan *pile cap* sehingga merubah fungsi tiang tunggal menjadi tiang kelompok diharapkan mampu memberikan efek pengurangan energi akibat benturan material pada saat terjadi banjir.

Kata kunci : Kali Keruh, debris, *bored pile*

Latar Belakang

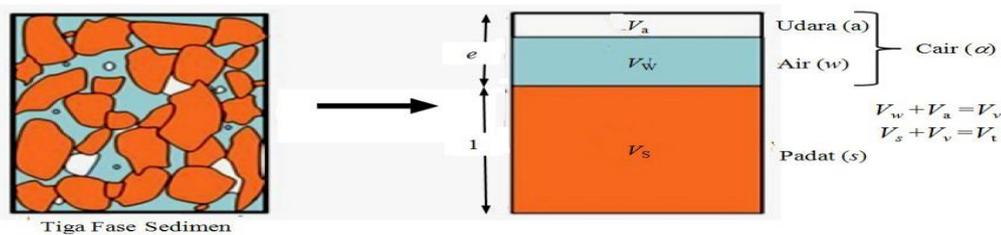
Aliran debris atau lahar dingin yang dikenal pada sungai-sungai gunung berapi merupakan aliran dari dari campuran air dan sedimen dengan berbagai ukuran. Aliran ini dikenal mempunyai kekuatan untuk menghancurkan dan kecepatan alirnya sangat cepat. Menurut (Varnes,1978) kecepatan aliran debris dengan sedimen material kasar mempunyai kecepatan antara 2 – 20 m/dtk. Dengan kekuatan dan kecepatan yang demikian, aliran ini mampu mengangkat bongkah –

bongkah batu besar dan mampu menggeser konstruksi jembatan dan permukiman yang dilaluinya. Pada lokasi – lokasi tertentu, infrastruktur jembatan dibangun melintasi sungai yang memiliki pola aliran debris, salah satunya jembatan kereta api BH.1153 dengan bentang 300 m yang melintas di atas Kali Keruh di Bumi Ayu Provinsi Jawa Tengah. Konstruksi pilar jembatan yang berada di tengah sungai dikhawatirkan dapat menimbulkan gerusan pada saat terjadinya banjir . Jika hal ini terjadi secara terus menerus akan menyebabkan ambruknya struktur jembatan. Dengan demikian, dibutuhkan kajian struktur pengaman pilar jembatan yang dapat menahan benturan material besar akibat adanya aliran debris.

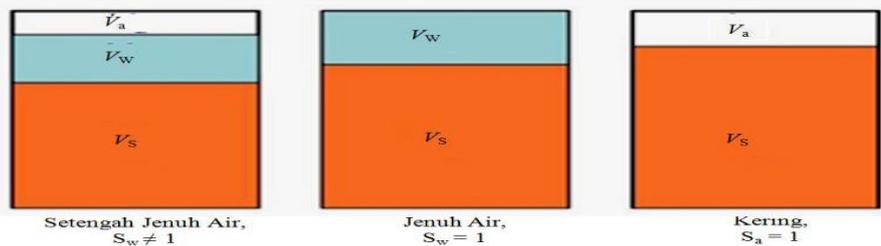
Kajian Pustaka

Terdapat berbagai macam aliran debris, aliran piroklastik merupakan aliran debris dengan sedimen yang kering, sedang aliran lahar merupakan aliran debris dengan sedimen jenuh air. Perbedaan sedimen kering dan sedimen jenuh air seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini. (Thomas, 2008).

Contoh Sedimen ;



Berbagai Tipe Sedimen ;



Gambar 1. Sifat fisik sedimen aliran debris (Sumber : Thomas, 2008)

Dalam aliran debris sedimen jenuh air, volume fase padat antara 50% s/d 80%, sedang volume fase cair berkisar antara 20% s/d 50%. Kerapatan fase padat berkisar antara 2500 kg/m³ s/d 3000 kg/m³, sedang kerapatan fase cair berkisar antara 1000 kg/m³ s/d 1200 kg/m³. Kekentalan aliran debris sedimen jenuh air, berkisar antara 0,001 kg/m.dt s/d 0,1 kg/m.dt, sudut geser dalam berkisar antara 250 s/d 450. Oleh karena aliran didominasi fase padat, maka yang berlaku hukum mekanika bukan hukum hidrolika. Faktor air, seperti limpasan hujan dan air tanah, hanyalah sebagai pemicu terjadinya aliran debris.

Karakteristik aliran debris sangat berpengaruh terhadap kerusakan yang ditimbulkan. Beberapa ciri aliran debris penyebab besarnya kerusakan yang ditimbulkan antara lain adalah :

- a. Aliran debris mengalir menuruni lembah atau kelerengan dengan kecepatan sangat tinggi. Untuk aliran debris tipe batuan (*gravel type debris flow*) dengan kandungan batu-batu besar dapat mencapai kecepatan $5\frac{1}{2}$ - 10 m/dtk, sementara itu aliran debris tipe Lumpur (*mudflow type debris flow*) dengan kandungan batu sangat sedikit mengalir dengan kecepatan $10\frac{1}{2}$ - 20 m/dtk.
- b. Aliran debris mengandung batu-batu besar dan seringkali juga membawa batang-batang kayu. Batu besar yang terbawa di bagian depan aliran debris dapat mencapai diameter beberapa meter, sedangkan batang kayu hutan yang terbawa mencapai panjang 10 meter, sehingga bagian depan aliran debris ini akan mempunyai kekuatan yang sangat besar.
- c. Aliran debris terjadi secara mendadak dan cepat sekali, tidak dapat diduga sebelumnya karena tanda-tanda awal akan terjadi aliran debris sangat sulit dideteksi. Setelah terjadi baru terdengar suara gemuruh. Hal inilah yang menyulitkan bagi penduduk untuk menghindar dan mengungsi karena sulitnya memberikan peringatan secara dini (*early warning sistem*), sehingga ketika mengetahui kedatangan aliran debris dan akan menghindar sudah terlambat.

Hampir di setiap proyek konstruksi pondasi tiang merupakan teknologi pondasi dalam yang telah biasa dipergunakan. Salah satu metode pemasangan tiang pondasi ini adalah dengan sistim bor. Meski tak sepopuler pondasi tiang pancang, penggunaan tiang bor ini semakin banyak dijumpai. Dalam kedalaman dan diameter dari tiang bor dapat divariasikan dengan mudah, pondasi tiang bor dipakai untuk beban ringan maupun beban berat seperti bangunan bertingkat tinggi dan jembatan. Juga dipergunakan pada menara transmisi listrik, fasilitas dok, kestabilan lereng, dinding penahan tanah, pondasi bangunan ringan pada tanah lunak, pondasi bangunan tinggi, dan struktur yang membutuhkan gaya lateral yang cukup besar, dan lain-lain. alat yang digunakan disesuaikan pada kondisi tanah dan teknik pengeboran tertentu saja. Salah satunya adalah *fight auger*.

Alat yang sederhana dan ringan ini mempunyai kemampuan membuat lubang bor berdiameter 0,8-3,6 m. Cara kerjanya, rig akan berputar masuk ke tanah sampai terisi penuh oleh tanah, kemudian ditarik kembali ke atas dan diayun supaya tanah yang menempel lepas dari pisaunya. Alat ini efektif pada jenis tanah batuan lunak. Tetapi karena di lapangan biasanya mengalami kesulitan pada saat pengeboran, maka dapat menggunakan mesin bor lainnya atau mengganti pisaunya dengan yang lebih baik. Pisau berbenruk spiral melancip akan membantu dalam pengeboran tanah yang keras dan batuan. Selain itu juga terdapat beberapa peralatan lain bor seperti bucket auger. Berfungsi unruk mengumpulkan basil galian dalam keranjang berbentuk spiral dengan cara mengambil tanah dari galian ke atas dan dibuang, alat ini biasanya berfungsi baik pada tanah pasir.

Landasan Teori

Untuk menghitung besarnya daya dukung 1 tiang pondasi bored pile, maka dilakukan perhitungan besarnya momen yang terjadi akibat material yang terbawa pada saat terjadi banjir. Untuk menghitung besarnya kecepatan material pada saat terjadi banjir dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$v = k R^{2/3} I^{1/2}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$A = (b + mh)h$$

$$P = b + 2h (m^2 + 1)^{1/2}$$

dengan :

v = kecepatan material (m/dtk)

R = jari – jari hidrolis

A = luas basah penampang

P = keliling basah

Setelah diperoleh data kecepatan aliran, selanjutnya diperhitungkan besarnya momentum yang ditimbulkan akibat pergerakan material pada saat terjadi banjir dengan menggunakan persamaan :

$$P = mv$$

Daya dukung tiang bored pile dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Hu = \frac{2Mu}{e + 0,55 \sqrt{\frac{Mu}{\gamma d K p}}}$$

Hu = tahanan lateral tiang pondasi (ton/tiang)

Mu = momen ultimit (tonm)

γ = berat jenis pondasi

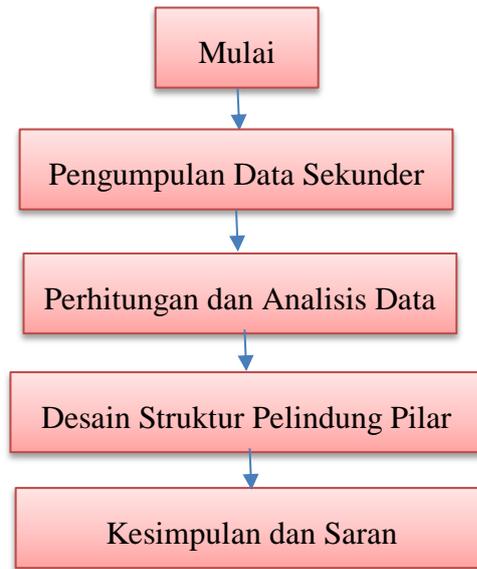
d = diameter tiang *bored pile*

Tahanan lateral tiang pondasi > dari momentum yang terjadi.

Metodologi Studi

Metode pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini meliputi : data pengukuran topografi sungai dan jembatan, data hasil uji bor mesin berikut hasil uji laboratorium. Data tersebut diperoleh dari Satuan Kerja Perkeretaapian Cirebon Kroya Kemenhub RI. Informasi tinggi muka air pada saat banjir serta jenis material yang terbawa pada saat banjir diperoleh dari surveu lapangan dan informasi warga setempat.

Untuk analisis data, perhitungan kekuatan material pada saat banjir dan selanjutnya menghitung kekuatan struktur pelindung pilar.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Lokasi penelitian merupakan konstruksi jembatan kereta Api BH. 1153 yang dikenal sebagai jembatan Sakalimolas (Sakalibel). Jembatan ini berada tidak jauh dari stasiun Bumiayu. Bentang jembatan 298 m dengan tipe jembatan beton. Sebelumnya, jembatan eksisting merupakan jembatan rangka baja dan pernah mengalami roboh pada salah satu tiang akibat diterpa banjir bandang pada tanggal 8 Maret 1972 (sepur bumiayu,2016).

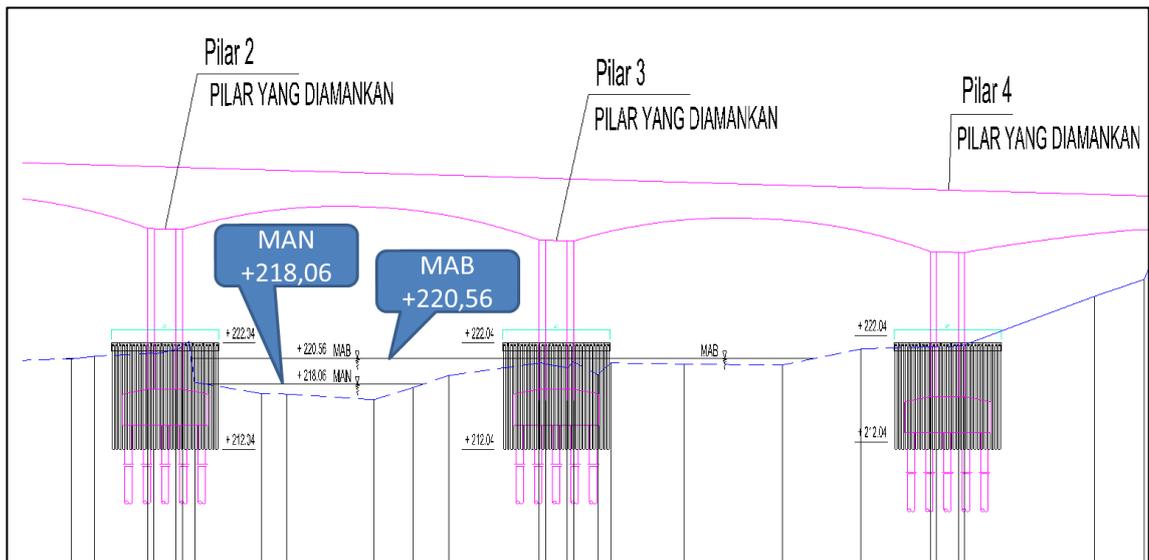


Gambar 3. Tiang jembatan lama yang roboh akibat banjir bandang

Pada tahun 2010, kemudian dibangun jembatan baru tepat bersebelahan dengan jembatan eksisting dengan tipe jembatan beton. Struktur jembatan baru menempatkan beberapa pilar yang berada di badan sungai. Dengan demikian, dibutuhkan konstruksi pelindung pilar jembatan yang dapat menahan benturan material pada saat terjadi banjir bandang. Ada beberapa pertimbangan pemilihan konstruksi bored pile sebagai konstruksi yang tepat untuk melindungi pilar jembatan adalah sebagai berikut :

1. Konstruksi bored pile berupa tiang yang tertanam sampai dengan kedalaman dasar tanah yang ditentukan dengan daya dukung besar serta memiliki kekuatan terhadap benturan
2. Pemasangan dilakukan dengan mesin bor sehingga tidak mempengaruhi struktur pilar jembatan eksisting
3. Dapat dibentuk menjadi formasi tertentu sehingga tidak mempengaruhi aliran air, akan tetapi mencegah lolosnya material melalui celah tiang.

Adapun posisi pilar jembatan yang akan diamankan disajikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Posisi pilar jembatan yang akan diamankan

Perhitungan besarnya momentum yang diakibatkan oleh material akibat banjir bandang. Dari hasil kajian dan survei lapangan, diasumsikan bahwa jika terjadi banjir, material yang paling berpotensi untuk merusak struktur jembatan adalah batu. Jika diameter batu yang akan bergerak dengan diameter 60 cm, maka volume batu adalah :

$$\text{Volume} = \frac{1}{6} \pi D^3 = \frac{1}{6} \cdot 3,14 \cdot 0,6^3$$

$$= 0,113 \text{ m}^3$$

Jika berat jenis batu gunung = $1,5 \text{ ton/m}^3$, maka : massa batu adalah :

$$= 0,113 \cdot 1,5 \times 9,81$$

$$= 1,665 \text{ ton}$$

Kecepatan batu menggelinding pada saat terjadi banjir :

$$P = 50 + 2.2 (1^2 + 1)^{\frac{1}{2}} = 55,657 \text{ m}$$

$$A = (50 + 1.2)2 = 104 \text{ m}$$

$$R = \frac{104}{55,657} = 1,869$$

$$v = 10 \cdot 1,869^{2/3} 0,033^{1/2} = 2,124 \text{ m/dtk}$$

Momentum yang ditimbulkan (p) = m x v

$$= 2,124 \times 1,665 = 3,536 \text{ tonm/dtk}$$

Selanjutnya, direncanakan pelindung tiang bored pile dengan dimensi 1 m, dengan data sebagai berikut :

Data tanah diperoleh dari data sekunder :

$$\phi = 29^\circ \text{ (Soilens, 2010)}$$

Diameter tiang = 1 m

Kedalaman tiang = 9,7 m (SPT 60 berdasarkan data pengujian bor mesin)

Perhitungan daya dukung untuk 1 (satu) buah tiang

$$Kp = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 + \frac{29}{2} \right)$$

$$Kp = 2,882$$

Maka, momen maksimum yang terjadi :

$$M_{Maks} = 1,02 \cdot 1 \cdot 9,7^3 \cdot 2,882 = 2683,986 \text{ tm}$$

Berat sendiri tiang (q) = A x γ beton

$$= 0,25 \times 3,14 \times 1^2 \times 2,4$$

$$= 1,886 \text{ t/m}^2$$

Momen maksimum pada tiang (M_y)

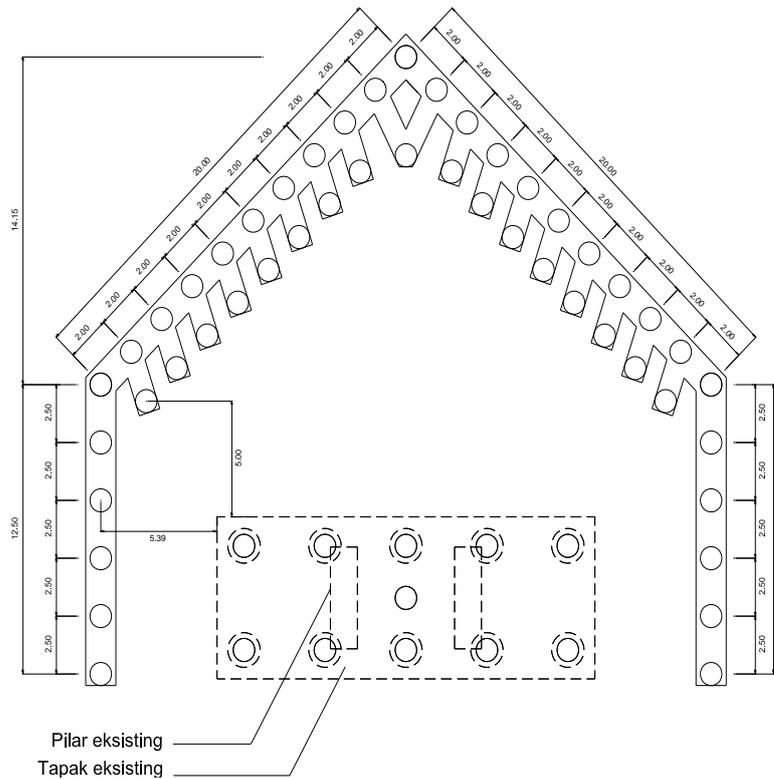
$$M_y = \frac{1}{8} \cdot 1,886 \cdot 9,7^2 = 22,178 \text{ tm}$$

Besarnya tegangan lateral untuk 1 (satu) tiang

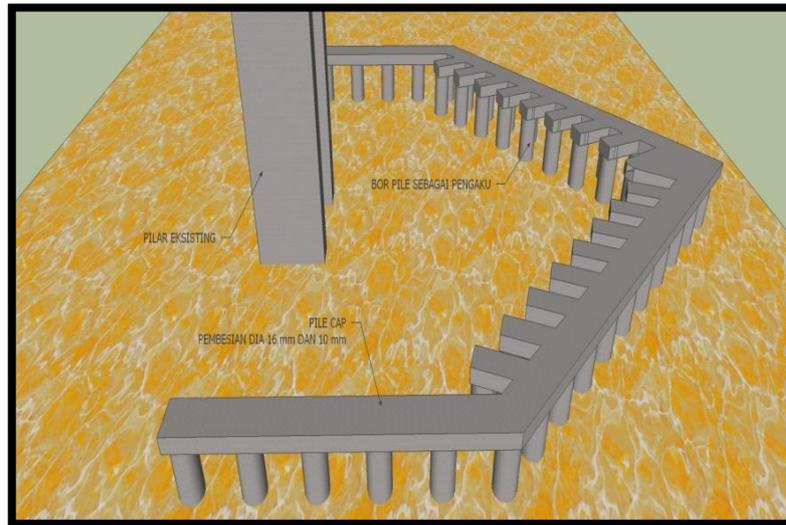
$$Hu = \frac{2Mu}{e + 0,55 \sqrt{\frac{Mu}{\gamma d K p}}} = 13,2037 \text{ ton}$$

Dengan angka keamanan 1,5, maka daya dukung lateral untuk 1 tiang adalah sebesar 8,802 ton/tiang. Nilai tersebut lebih besar dari besarnya momentum yang terjadi yaitu sebesar 3,536 ton. Dengan demikian, pondasi tiang aman terhadap bahaya benturan yang terjadi.

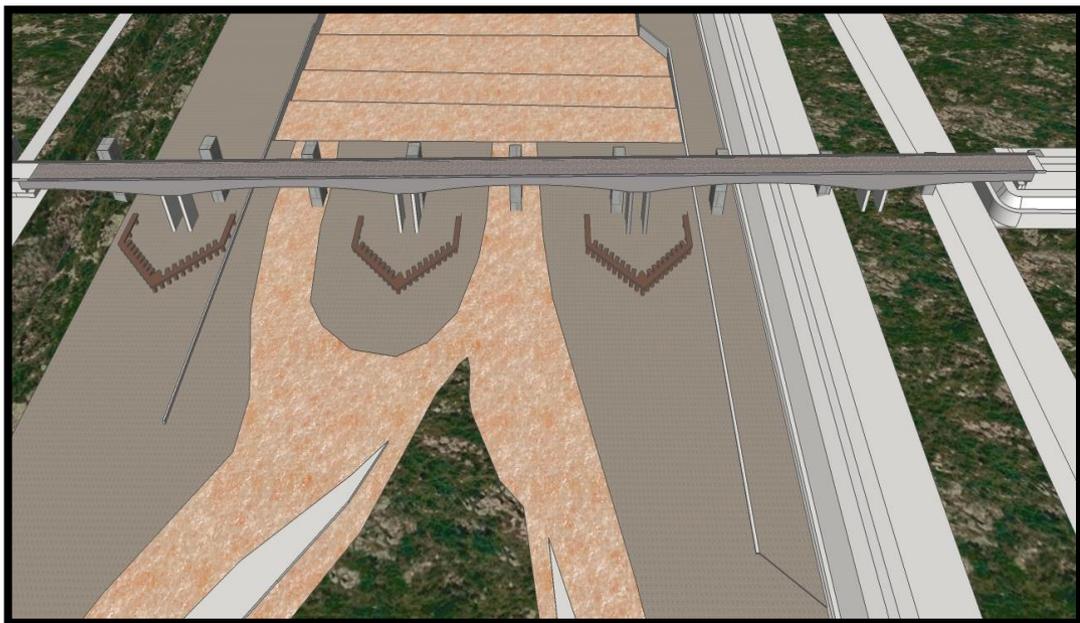
Untuk tetap menjaga agar pondasi tetap kokoh, maka direncanakan formasi tiang *bored pile* menutupi seluruh bagian pilar dengan bentuk segi tiga dengan bagian atas pondasi disatukan dengan dengan *pile cap* sehingga fungsi tiang diperkuat sebagai tiang kelompok. Gambar di bawah ini menunjukkan desain pelindung pilar jembatan BH. 1153 Kali Keruh.



Gambar 5. Rencana Pemasangan Pelindung Pilar



Gambar 6. Ilustrasi 3 Dimensi Penempatan Pelindung Pilar Jembatan



Gambar 7. Ilustrasi pengamanan struktur pilar jembatan

Kesimpulan dan Saran

Hasil analisis data lapangan dan perhitungan kemandan struktur menunjukkan bahwa kecepatan aliran pada saat banjir di lokasi adalah sebesar 2,124 m/dtk dan termasuk dalam kategori aliran debris. Besarnya momentum yang terjadi jika material baru dengan diameter 60 cm pada saat banjir adalah sebesar 3,536 ton m/dtk. Penggunaan tiang pondasi *bored pile* sangat efektif untuk digunakan sebagai

pelindung pilar jembatan kereta api dimana besarnya tahanan tiang *bored pile* diameter 1 m dengan kedalaman 9,7 m dapat menahan beban sebesar 8,802 ton.. Selain itu, formasi penempatan pondasi *bored pile* dengan metode *zig zag* dapat dengan tambahan perkuatan pile cap sehingga merubah fungsi tiang tunggal menjadi tiang kelompok diharapkan mampu memberikan efek pengurangan energi akibat benturan material pada saat terjadi banjir.

Rekomendasi

Dibutuhkan kajian lebih lanjut penggunaan struktur pelindung pilar jembatan dengan metode lain pada sungai dengan karakter aliran debris.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Satuan Kerja Pengembangan Kereta Api Cirebon Kroya yang telah memfasilitasi dan memberikan data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini

Daftar Pustaka

- Hungr,O.A, 1995. *Model For the Runout Analisis of Rapid Flow Slides*.*Canadian Geotecnikal journal vol 32. P. 610-623*
- Kusumosubroto. 2006. *Penomena Aliran Debris dan Faktor Pembentukannya*. disajikan pada Seminar Diesimenasi Teknologi Sabu, Semarang
- Sepur bumiayu, 2016. *Tragedi Robohnya Jembatan Sakalimalas*. <http://bumiayurailways.blogspot.com> [diakses pada : 29 Juni 2018]
- Soilens,2010. *Pengujian Mekanika Tanah BH.1153, Laporan Pendukung Mekanika Tanah*.
- Suwa.H,et al, 1993. *Debris Size and Scale Of Debris Flows and a Valley On Mount Yakedake, Japan*.
- Takahashi,T.,Nakagawa,H. 1991. *Prediction Of Story Debris Flow Induced By Severe Rainfall Journal Of The Japan Society Of Erosi Control Engineering 144 (3) 12-19*
- Thomas,Blanck. 2008. *Numeral Simulation Of Debris Flows The Wit The 2D-SPH depth integrated model*
- Varnes, D.J 1978. *Slope movement Types and Processes*. In : *Special Report 176 : Landslide Analysis and control (eds : Schuster, R.L. & Krizek, R.J.)*. *Trnasportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D.C., page 11-33*

126. Pengendalian Aliran Debris Dengan Check Dam Terbuka Berseri.....	132
<i>Farouk Maricar^{1*}, Rita Tahir Lopa¹, Muhammad Farid Maricar¹, Francie Petrus², dan Andi Mochammad Irham B³</i>	
127. Analisis Sedimentasi Batang Arau Dan Pengaruhnya Terhadap Pendangkalan Di Pelabuhan Muara Padang	133
<i>Tipani Ulfah Sabrina^{1*}, Taufiq Hidayat¹, Hartati², Zahrul Umar²</i>	
128. Redesain Sistem Drainase Di Kawasan Universitas Lampung Dengan Model Pemanenan Air Hujan Secara Terpusat	134
<i>Ofik Taufik Purwadi¹, Jamaludin², dan Ahmad Zakaria³</i>	
129. Sediment Transport Muara Sungai Sekanak.....	135
<i>Achmad Syarifudin^{1*}, Dinar Febriansyah², Hendri², Suparji²</i>	
130. Model Penentuan Daerah Resapan Air (Recharge Area) Berbasis Sistem Informasi Geografis.....	136
<i>Nindy Cahyo Kresnanto¹, Yunita Chandra Sari², dan Muharruddin^{2*}</i>	
131. Model Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Berkelanjutan Di Way Sekampung.....	137
<i>Mirza Nirwansyah^{1*}, Cecep Kusmana², Eriyatno², M. Yanuar J. Purwanto²</i>	
132. Penggunaan Pondasi Bored Pile Untuk Melindungi Pilar Jembatan Kereta Api BH.1153 Bumiayu Dari Bahaya Aliran Debris	138
<i>Nur Arifaini¹, dan Amril Ma'ruf Siregar^{1*}</i>	
133. Penerapan Teknologi Bioremediasi dalam Pengendalian Pencemaran Air Permukaan DKI Jakarta	139
<i>Ridwan Budi Raharjo^{1*}, Nur Fizili Kifli², Bambang Priadie³, Eka Siwi Agustiningih⁴ Eko Winar Irianto⁵</i>	
134. Penanganan Dan Pengelolaan Sedimentasi Di DAS Asahan Hulu	140
<i>Ulle M Dewanto, Shony Heriyono*, Irfan Ferdiantana</i>	
135. Perbaikan Bantaran Sungai Secara Eko-Hidrolik Untuk Menanggulangi Banjir Di Sungai Lae Soraya Kota Subulussalam.....	141
<i>Ziana^{1*}, Azmeri², Lidya Fransiska¹</i>	
136. Tinjauan Pemasalahan dan Penanganan dalam Revitalisasi Danau Maninjau.....	142
<i>Bambang Istijono^{1*}, Abdul Hakam¹, Maryadi Utama², Ali Rahmat², Shafira R Hape³</i>	



HIMPUNAN
AHLI TEKNIK HIDRAULIK
INDONESIA



Sertifikat

**PERTEMUAN ILMIAH TAHUNAN
PIT 35 HATHI**

Medan, 7- 9 September 2018

diberikan kepada

AMRIL MA'RUF SIREGAR

sebagai

PENYAJI

SKPK 5

Ketua Umum HATHI

Dr. Ir. Imam Santoso, M.Sc., PU-SDA

Ketua HATHI Cabang Sumatera Utara

Roy Panagom Pardede, ST., M.Tech

