

KAJIAN PENANGANAN GERUSAN PADA SUNGAI CIUJUNG MELALUI PEMODELAN NUMERIK

Anggun Etika Putriasri¹, Yandi Hermawan², Salma Izzatu Amatullah²,
Adhisye Rahmawati², Calvin Sandi^{2*}

¹Direktorat Sungai dan Pantai, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian
Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

²PT. Indra Karya (Persero)

*calvinsandi458@gmail.com

Pemasukan: 3 November 2023 Perbaikan: 22 November 2023 Diterima: 24 November 2023

Intisari

Sungai Ciujung diketahui memiliki morfologi sungai *meander* yang memiliki banyak tikungan. Hal tersebut menyebabkan beberapa titik sungai rawan mengalami erosi. Pada Januari 2023, bantaran Sungai Ciujung yang terletak di Desa Bojong Catang mengalami longsor akibat erosi yang menyebabkan kerusakan pada beberapa rumah warga dan mengancam pemukiman di sekitarnya. Maka dari itu, diperlukan suatu penanganan guna mencegah terjadinya erosi. Krib merupakan salah satu struktur sungai yang berfungsi untuk mengatur arah aliran pada belokan sungai sekaligus melindungi tebing sungai terhadap erosi. Studi ini akan melakukan pengujian beberapa alternatif desain krib pada bantaran sungai Desa Bojong Catang. Simulasi dalam studi ini dilakukan dengan menggunakan debit banjir periode ulang 25 tahun, yaitu dengan debit puncak sebesar 1538,10 m³/s. Pengujian dilakukan menggunakan pemodelan numerik dengan bantuan perangkat lunak HEC-RAS 6.2 guna mengetahui kecepatan aliran pada tikungan luar sungai. Tujuan utama dari studi ini adalah menguji efektivitas dari beberapa alternatif desain, serta memberikan rekomendasi desain krib. Dari hasil pemodelan dan analisis, didapatkan bahwa untuk mereduksi potensi longsor pada tebing sungai, dengan panjang ± 670 m di Desa Bojong Catang, direkomendasikan desain krib Alternatif III, dengan pembuatan 12 buah *impermeable* krib dengan masing-masing panjang krib adalah 31,85 m dan jarak antar krib adalah 57,33 m. Alternatif ini menawarkan biaya yang paling ekonomis, dengan jumlah krib yang lebih sedikit dan tetap memiliki efektivitas yang tinggi dalam mereduksi kecepatan aliran pada tikungan luar sungai.

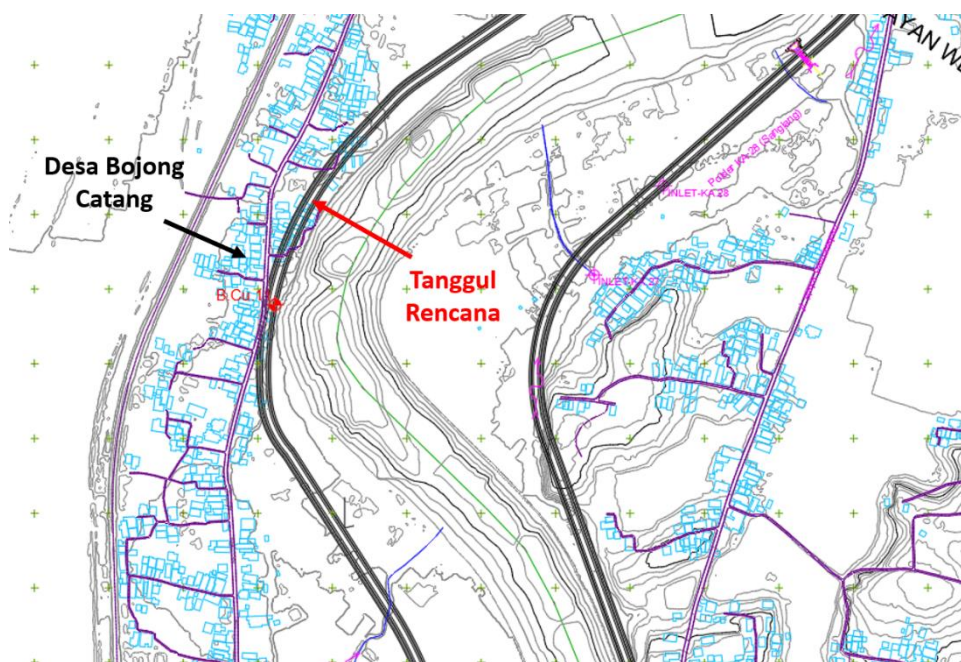
Kata Kunci: Erosi, Pemodelan numerik, Krib, HEC-RAS, Sungai Ciujung

Latar Belakang

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2012 Tentang Penetapan Wilayah Sungai, Sungai Ciujung merupakan salah satu sungai besar di Provinsi Banten yang merupakan wilayah sungai strategis nasional. Setiap tahunnya, Sungai Ciujung mengalami banjir dan longsor yang disebabkan oleh memburuknya kondisi sungai baik karena faktor alam maupun karena ulah

manusia. Kurangnya sistem mitigasi dapat menyebabkan kerugian yang besar di daerah yang terdampak (Sandi, dkk., 2022; Purnama, 2021). Oleh karena itu, untuk menangani penanganan banjir dan longsor di Sungai Ciujung, dilaksanakan pekerjaan konsultasi bernama FMSRB (*Flood Management on Selected River Basin*) yang melibatkan berbagai pihak seperti Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Cidanau-Ciujung-Cidurian, Kementerian PUPR, dan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kabupaten Serang.

Pada Januari 2023, menurut Surat Bupati Serang yang ditujukan kepada BBWS Cidanau-Ciujung-Cidurian, telah terjadi bencana longsor di Desa Bojong Catang, Kecamatan Tanjung Teja, Kabupaten Serang. Kejadian ini mengancam pemukiman warga yang berada di sekitar area longsor yang terjadi akibat gerusan di area tikungan sungai. Selain itu, gerusan ini juga dapat membahayakan struktur tanggul. Pada kegiatan FMSRB, diketahui terdapat perencanaan penanganan struktural berupa tanggul tanah pada lokasi studi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Gerusan yang terjadi jika tidak ditangani dapat mengancam keamanan struktur tanggul tersebut. Sehingga diperlukan kajian penanganan untuk melindungi area longsor tersebut.



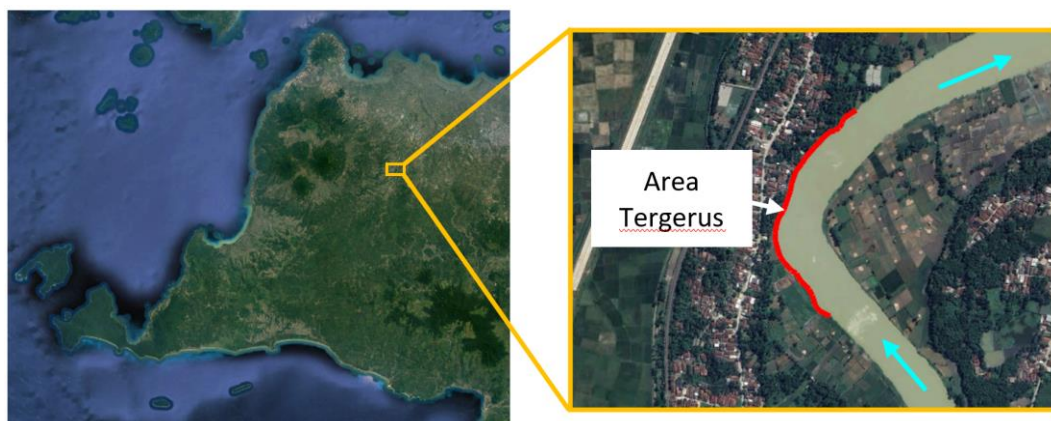
(Sumber: Laporan Rencana Pengolahan Risiko Banjir
WS Cidanau-Ciujung-Cidurian, 2023)

Gambar 1. Rencana Tanggul Kegiatan FMSRB

Salah satu jenis struktur yang dapat dibangun untuk memproteksi tebing sungai dari bahaya gerusan lokal akibat arus aliran sungai yang tinggi adalah krib (Zulfan dkk., 2018). Krib merupakan struktur yang dibangun pada sudut tertentu terhadap aliran untuk membelokkan aliran air dari zona kritis. Krib terbuat dari batu, kerikil, batuan, tanah, atau tumpukan. Krib berfungsi untuk mempertahankan sungai yang diinginkan untuk tujuan pengendalian banjir, peningkatan navigasi dan

pengendalian erosi atau gerusan (Yossef, 2002). Diversifikasi aliran di sekitar krib menciptakan kondisi yang cocok untuk vegetasi pada bantaran sungai dan biota air sehingga dapat melestarikan dan memelihara ekosistem sungai (Teraguchi, dkk., 2008; Schwartz dkk., 2003). Selain itu, pemasangan krib juga berdampak positif bagi restorasi sungai, di mana menyebabkan adanya pengendapan sedimen pada krib yang dapat memulihkan garis tepi sungai (Hariyanto, 2019).

Dalam SNI 2400.1:2016 tentang Tata Cara Perencana Umum Krib di Sungai oleh Badan Standardisasi Nasional, disebutkan bahwa salah satu tahapan dalam penggunaan bangunan krib adalah tahap perencanaan umum. Awal dari tahapan ini adalah pra rencana teknik yang merupakan analisis data primer dan sekunder sebagai hasil survei dan investigasi morfologi sungai dengan luaran karakteristik aliran, debit rencana, jenis krib yang dipilih serta dimensi dan tata letak sementara. Berikutnya dilakukan uji model hidraulik untuk memetakan pra rencana teknik dengan luaran daerah krib, jumlah dan jarak optimal, serta fenomena yang terjadi akibat dipasang krib pada sungai. Pemodelan numerik merupakan salah satu cara terbaik untuk menguji model hidraulik mengingat biayanya yang rendah, penggunaannya yang mudah, dan akurasi tinggi (Adityawan dkk., 2023; Maitsa dkk., 2020). Studi ini akan melakukan simulasi penempatan posisi krib yang berbeda untuk mendapatkan desain krib yang paling optimal di area longsor sebagai bagian dari perencanaan umum penggunaan krib di Desa Bojong Catang.



(Sumber: Google Earth, 2023)

Gambar 2. Lokasi Studi

Metodologi Studi

Studi Literatur dan Pengumpulan Data

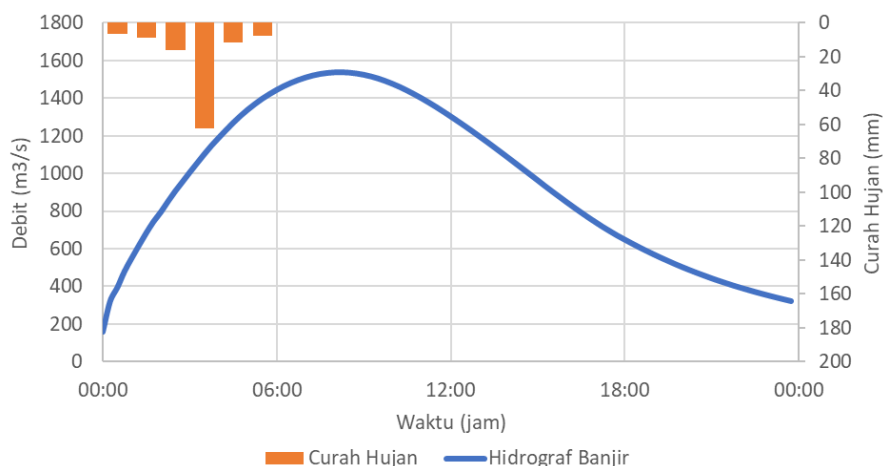
Tahap pertama pada studi ini adalah melakukan studi literatur terkait topik yang relevan. Tahap selanjutnya adalah pengumpulan data. Data yang digunakan pada studi ini antara lain data titik lokasi kerusakan tebing karena arus, data hidraulik yang meliputi data batimetri sungai, data DEM (*Digital Elevation Model*) hasil survei LiDAR, debit, data hidrologi yang meliputi data hujan, dan data tutupan lahan. Data-data tersebut didapatkan dari BBWS Cidanau-Ciujung-Cidurian dan dari kegiatan FMSRB.

Lokasi Studi

Area kajian pada studi ini terletak pada Desa Bojong Catang, Kecamatan Tanjung Teja, Kabupaten Serang, Provinsi Banten. Berdasarkan kunjungan lapangan, tikungan luar pada sungai sudah mengalami gerusan diperkirakan 3-5 m, di mana menyebabkan beberapa rumah runtuh serta mengancam lebih banyak rumah. Lokasi studi tampak satelit disajikan pada Gambar 2.

Analisis Hidrologi

Penentuan debit banjir rencana dilakukan menggunakan perangkat lunak HEC-HMS dengan input parameter DAS dan meteorologi. Parameter DAS mencakup luas, losses, dan runoff transform. Dalam studi ini, digunakan metode SCS *Curve Number* dan metode SCS *Unit Hydrograph* sebagai metode *losses* dan *runoff transform*. Parameter meteorologi mencakup intensitas hujan selama 6 jam dengan periode ulang 25 tahun. Didapatkan debit puncak hasil analisis sebesar 1538,10 m³/s dengan hidrograf banjir dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Debit Banjir dan Curah Hujan Rencana

Alternatif Desain Krib

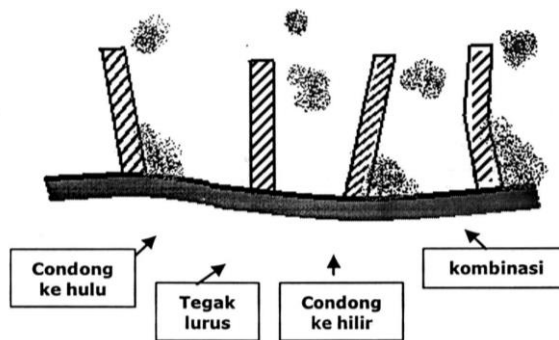
Dalam studi ini, diuji 4 alternatif desain krib di mana dimensi krib akan dihitung menggunakan standar yang terdapat pada SNI 2400.1:2016 tentang Tata Cara Perencanaan Krib di Sungai oleh Badan Standardisasi Nasional. Adapun alternatif desain yang diuji memiliki variasi pada panjang krib, di mana lebar rata-rata sungai sebesar 127,4 m. Sementara itu, jarak antar krib digunakan 1,8 L (L = panjang krib) dan panjang sungai yang akan ditangani sepanjang ± 670 m. Rekapitulasi alternatif desain disajikan pada Tabel 1.

Formasi krib dapat dipasang tegak lurus aliran (b), condong ke hulu (a), condong ke hilir (c), dan kombinasi (d) seperti pada Gambar 4 (Setyono, 2007). Berdasarkan studi oleh Humairah (2014) dan Nugraha dkk. (2021), sudut pemasangan krib 90° memiliki efektivitas tertinggi karena perubahan dasar saluran dan kedalaman gerusan lebih kecil dibandingkan sudut pemasangan krib 45° dan 135°. Sehingga pada studi ini digunakan formasi krib dengan sudut pemasangan 90° (tegak lurus).

Tabel 1. Alternatif desain krib

Alternatif	L/B (%)	L (m)	Jarak antar krib (m)	Jumlah krib
I	15	19,11	34,40	20
II	20	25,48	45,86	15
III	25	31,85	57,33	12
IV	30	38,22	68,80	10

Tanggul yang didesain dalam kegiatan FMSRB adalah untuk mengatasi banjir periode ulang 25 tahun. Pada kondisi *bankfull* (Q_2), muka air sungai tidak meluap hingga mencapai tanggul, di mana jarak antara tepi sungai dan kaki tanggul dapat mencapai 30 m. Sementara itu, krib didesain untuk melindungi gerusan pada tebing sungai. Sehingga peletakan pangkal krib pada tebing sungai dinilai lebih efektif. Jika pangkal krib dipasang pada kaki tanggul, maka krib tersebut hanya efektif melindungi gerusan dengan debit periode ulang 25 tahun. Pada kondisi banjir $< Q_{25}$, krib tersebut menjadi tidak efektif dan gerusan pada tebing sungai tetap terjadi. Hal tersebut berpotensi menyebabkan mundurnya garis tepi sungai yang dapat mengancam kestabilan tanggul dalam jangka panjang.



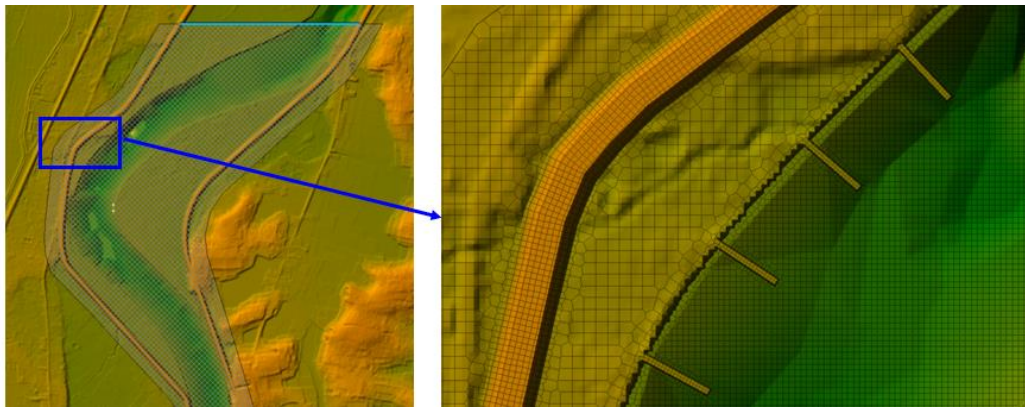
(Sumber : Setyono, 2007)

Gambar 4. Variasi formasi krib

Pengaturan Model Numerik

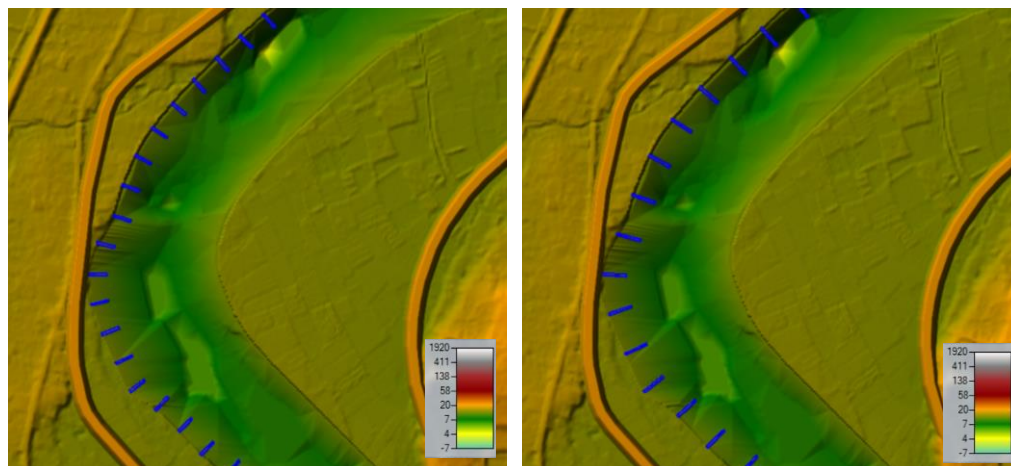
Pemodelan numerik bersifat 2D dan dilakukan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS 6.2 dengan SWE (*Shallow Water Equation*) atau Saint Venant sebagai persamaan dasarnya. Persamaan ini telah digunakan secara luas karena mudah digunakan namun memiliki akurasi yang tinggi (Magdalena dkk., 2022), dan umumnya digunakan dengan pendekatan Manning untuk memodelkan friksi dasar saluran (Adityawan dkk., 2012).

Adapun pengaturan skema geometri model numerik disajikan pada Gambar 5. Ukuran grid yang digunakan adalah 4 x 4 m, dengan bagian sungai menggunakan ukuran grid 2 x 2 m. Sedangkan untuk krib, digunakan ukuran grid 1,25 x 1,25 m guna meningkatkan ketelitian hasil. *Boundary Condition* untuk bagian hulu berupa hidrograf *inflow* yang telah didapatkan melalui analisis hidrologi, sedangkan untuk bagian hilir berupa *normal depth*. Pengaturan kondisi batas untuk penampang basah sungai menggunakan *Fixed Bed*. Simulasi dilakukan selama 15 jam dengan *time step* sebesar 10 detik.



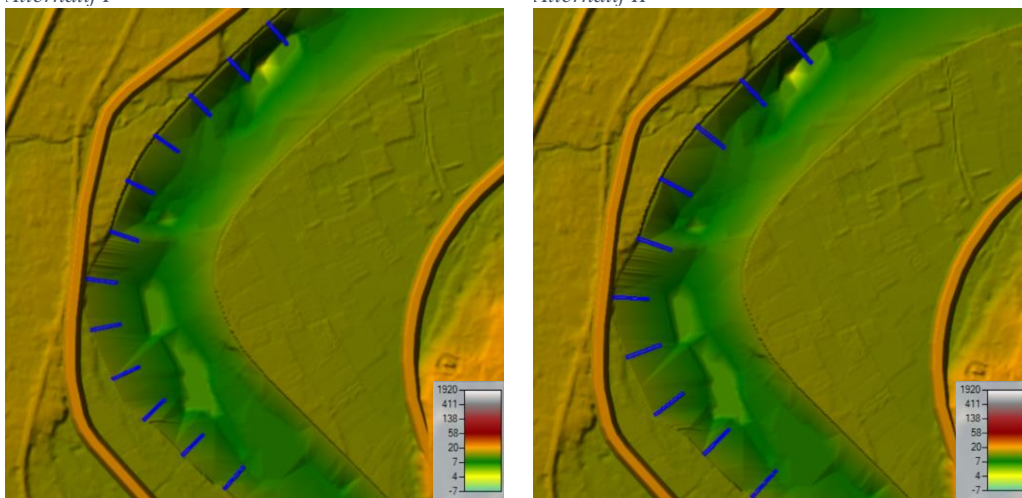
Gambar 5. Pengaturan geometri model

Pemodelan dilakukan pada kondisi eksisting (tanpa krib) dan pada kondisi rencana (dengan krib) untuk keempat alternatif desain krib, guna melihat pengaruh setiap alternatif desain krib (Gambar 6). Parameter yang dianalisis berupa distribusi kecepatan aliran pada tikungan sungai, di mana reduksi kecepatan aliran pada tikungan luar menjadi tolak ukur keberhasilan dalam kajian efektivitas desain krib.



Alternatif I

Alternatif II



Alternatif III

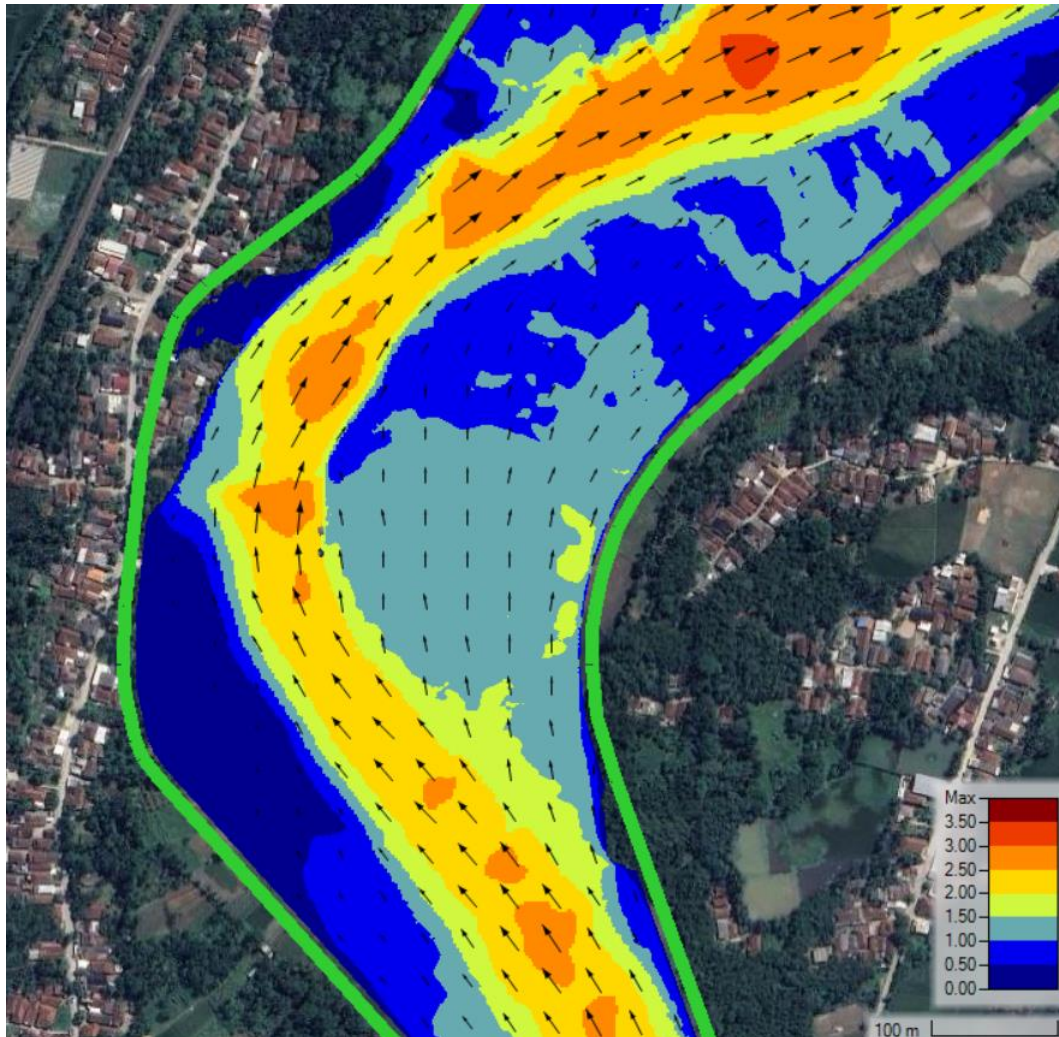
Alternatif IV

Gambar 6. Alternatif desain krib

Hasil Studi dan Pembahasan

Eksisting

Hasil pemodelan untuk kondisi eksisting dengan beban banjir Q_{25} disajikan pada Gambar 7. Dari hasil yang didapat, diketahui bahwa kecepatan aliran di sekitar tikungan luar sungai mencapai 2,83 m/s dengan tinggi muka air pada elevasi +15,33 m.



Gambar 7. Distribusi Kecepatan Kondisi Eksisting

Alternatif I

Hasil pemodelan menggunakan desain krib Alternatif I disajikan pada Gambar 8. Dari hasil pemodelan, kecepatan aliran di sekitar tikungan luar sungai telah tereduksi dan terdistribusi dengan baik. Namun, pada bagian tengah sungai mengalami kenaikan kecepatan aliran, di mana kecepatan aliran mencapai 3,02 m/s. Sedangkan untuk tinggi muka air juga mengalami kenaikan, yaitu menjadi elevasi + 15,35 m.

Alternatif II

Hasil pemodelan menggunakan desain krib Alternatif II disajikan pada Gambar 8. Dari hasil pemodelan, kecepatan aliran di sekitar tikungan luar sungai telah tereduksi dan terdistribusi dengan baik. Namun, pada bagian tengah sungai mengalami kenaikan kecepatan aliran, di mana kecepatan aliran mencapai 3,08 m/s. Sedangkan untuk tinggi muka air juga mengalami kenaikan, yaitu menjadi elevasi + 15,37 m.

Alternatif III

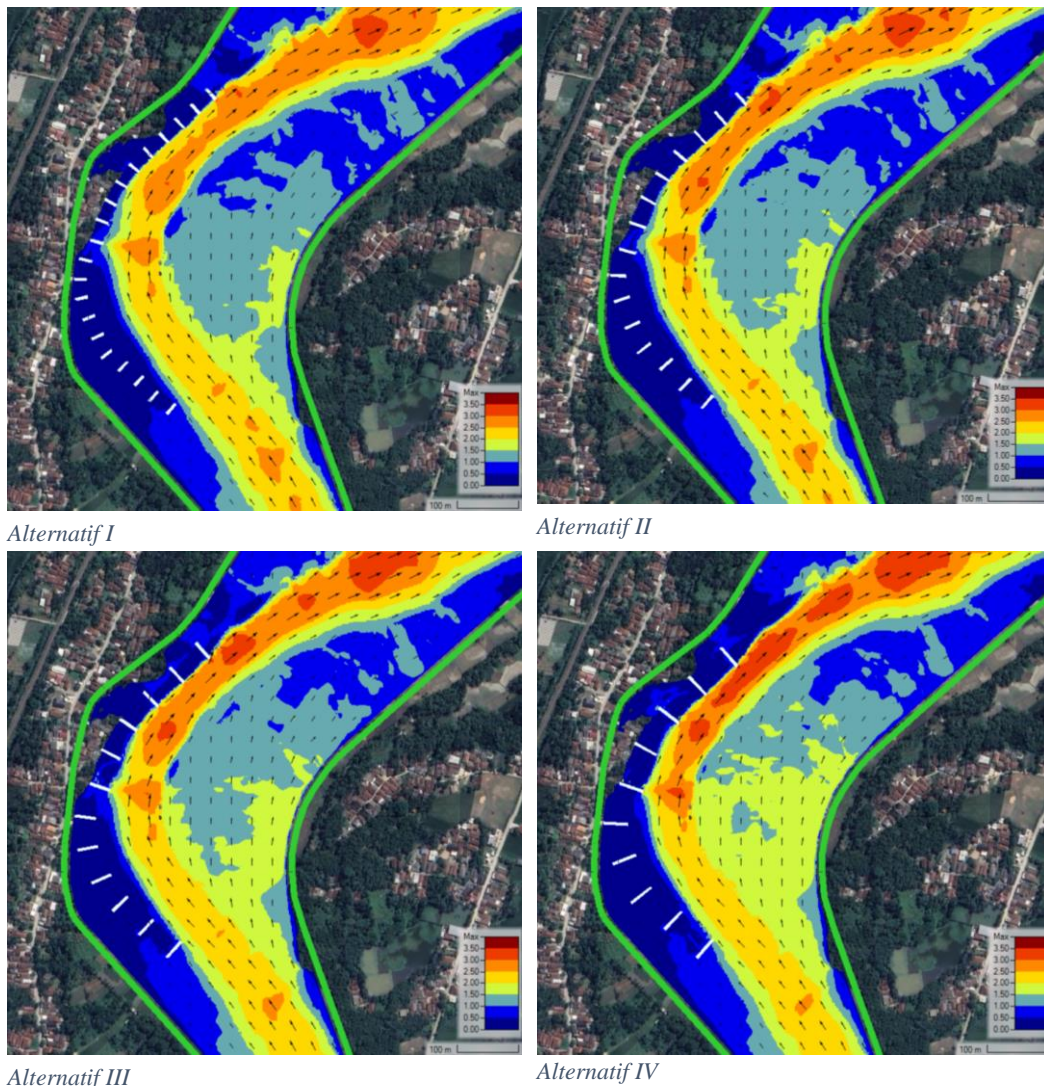
Hasil pemodelan menggunakan desain krib Alternatif III disajikan pada Gambar 8. Dari hasil pemodelan, kecepatan aliran di sekitar tikungan luar sungai telah tereduksi dan terdistribusi dengan baik. Namun, pada bagian tengah sungai mengalami kenaikan kecepatan aliran, di mana kecepatan aliran mencapai 3,15 m/s. Sedangkan untuk tinggi muka air juga mengalami kenaikan, yaitu menjadi elevasi + 15,41 m.

Alternatif IV

Hasil pemodelan menggunakan desain krib Alternatif IV disajikan pada Gambar 8. Dari hasil pemodelan, kecepatan aliran di sekitar tikungan luar sungai telah tereduksi dan terdistribusi dengan baik. Namun, pada bagian tengah sungai mengalami kenaikan kecepatan aliran, di mana kecepatan aliran mencapai 3,37 m/s. Sedangkan untuk tinggi muka air juga mengalami kenaikan, yaitu menjadi elevasi + 15,47 m. Selain itu, kecepatan aliran pada bagian tikungan dalam sungai juga mengalami kenaikan secara signifikan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Tabel 2. Rekapitulasi hasil pemodelan

Kondisi	V (m/s)	TMA (m)
Eksisting	2,83	+15,33
Alternatif I	3,02	+15,35
Alternatif II	3,08	+15,37
Alternatif III	3,15	+15,41
Alternatif IV	3,37	+15,47



Gambar 8. Distribusi kecepatan pada setiap alternatif desain krib

Pemasangan krib pada tikungan luar tidak hanya memengaruhi area di sekitarnya, tetapi juga memengaruhi area tikungan dalam sungai dan area hilirnya. Krib yang lebih panjang akan lebih mempersempit penampang sungai dan meningkatkan kecepatan aliran pada bagian tengah sungai dan tikungan dalam sungai secara signifikan, sehingga meningkatkan potensi terjadinya erosi (Ding, dkk., 2023). Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil pemodelan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8, dimana krib yang lebih panjang menyebabkan peningkatan kecepatan aliran yang lebih besar pada bagian tengah dan tikungan dalam sungai.

Peningkatan kecepatan aliran pada Alternatif I, II, dan III tidak terlalu signifikan. Peningkatan yang signifikan terjadi pada Alternatif IV. Selain itu, apabila jarak antar krib terlalu jauh, maka akan terjadi arus yang menyilang terhadap arus utama, dimana sangat membahayakan tebing sungai (Amiruddin, 2022). Oleh karenanya, dalam hal ini, tidak direkomendasikan Alternatif IV.

Studi oleh Nanda dkk. (2019); Sunaryo dkk. (2010), menunjukkan bahwa jarak antar krib dengan volume gerusan memiliki hubungan yang eksponensial, di mana pada titik tertentu, jarak antar krib yang lebih besar menyebabkan peningkatan volume gerusan yang signifikan. Pada studi tersebut, direkomendasikan jarak antar krib yang lebih rapat. Namun, jarak yang lebih rapat memberikan jumlah krib yang lebih banyak dan meningkatkan biaya konstruksi. Oleh karena peningkatan kecepatan aliran pada Alternatif I, II, dan III tidak signifikan, maka volume gerusan antara ketiga alternatif tersebut diperkirakan tidak signifikan. Sehingga direkomendasikan desain krib Alternatif III, di mana menawarkan biaya yang paling ekonomis dan tetap memiliki efektivitas yang tinggi dalam mereduksi kecepatan aliran pada tikungan luar sungai.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Rekapitulasi dari seluruh hasil pemodelan disajikan pada Tabel 2. Secara umum, seluruh alternatif desain dapat secara efektif mereduksi kecepatan aliran pada tikungan luar sungai, sehingga dapat melindungi tebing sungai serta tanggul rencana. Namun, penambahan krib dapat meningkatkan kecepatan aliran pada bagian tengah sungai dan tikungan dalam, serta menyebabkan kenaikan tinggi muka air pada sungai. Kenaikan yang signifikan terjadi pada desain Alternatif IV, di mana kenaikan kecepatan aliran mencapai $\pm 0,5$ m/s. Selain itu, terjadi kenaikan kecepatan aliran pada tikungan dalam sungai, sehingga tidak direkomendasikan desain Alternatif IV.

Sedangkan untuk Alternatif I, II, dan III, kenaikan kecepatan aliran dan tinggi muka air tidak signifikan. Dari sisi ekonomi, Alternatif III menawarkan biaya yang paling ekonomis, di mana memiliki jumlah krib yang lebih sedikit dan tetap memiliki efektivitas yang tinggi dalam mereduksi kecepatan aliran pada tikungan luar sungai. Sehingga dalam hal ini, direkomendasikan desain krib Alternatif III sebagai solusi untuk menangani permasalahan longsor di Desa Bojong Catang.

Saran

Hasil pemodelan dalam studi ini mencakup pola aliran dan kecepatan sungai pada tikungan luar. Untuk kajian lebih lanjut, dapat ditambahkan variabel sedimen untuk mendapatkan transpor sedimen yang terjadi pada sungai sehingga didapatkan estimasi gerusan yang terjadi pada tebing maupun dasar sungai. Selain itu, dalam studi ini masih digunakan tipe *impermeable* krib, maka untuk studi selanjutnya dapat digunakan tipe *permeable* krib. Pemodelan fisik juga disarankan sebagai validasi model guna meningkatkan ketelitian hasil.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diberikan kepada Direktorat Sungai dan Pantai, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian PUPR dan tim konsultan CS01 FMSRB *Project* PT Indra Karya (Persero), Joint Venture Sinotech Engineering Consultant, PT Kwarsa

Hexagon, PT Ciriayasa Engineering Consultant, PT Multimera Harapan atas masukan dan bantuan yang telah diberikan.

Daftar Referensi

- Adityawan, M. B., Sandi, C., Harlan, D., Farid, M., Kuntoro, A. A., Widyaningtias, Chaidar, A. N., dan Nugroho, J., 2023. Numerical Modeling of Dam Break Induced Flow through Multiple Buildings in an Idealized City. *Results in Engineering Vol. 18 No. 101060*, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101060>.
- Adityawan, M. B. dan Tanaka, H., 2012. Bed Stress Assessment under Solitary Wave Run-Up. *Earth Planet Space Vol. 64 No. 12: 945-954*, <https://doi.org/10.5047/eps.2011.02.012>.
- Amiruddin, Musa, R., dan Ashad, H., 2022. Kajian Perbaikan Alur dengan Menggunakan Perkuatan Tebing dan Krib (Studi Kasus Sungai Randomayang Kabupaten Mamuju Utara Provinsi Sulawesi Barat). *Jurnal Teknik Sipil MACCA Vol. 7 No. 2: 116-127*, <https://doi.org/10.33096/jtsm.v7i2.627>.
- Badan Standardisasi Nasional., 2016. SNI 2400.1:2016 Tata Cara Perencanaan Krib di Sungai Bagian 1: Perencanaan Umum.
- Ding, C., Li, C., Song, L. dan Chen, S., 2023. Numerical Investigation on Flow Characteristics in a Mildly Meandering Channel with a Series of Groynes. *Sustainability, [online] 15(5), p.4124*. <https://doi.org/10.3390/su15054124>.
- Hariyanto, V. L., 2019. Laboratory Test for the Improvement of River Bends Towards the Landslide. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Vol. 366 No. 012009*, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/366/1/012009>.
- Humairah, A. M., 2014. Analisa Hidrolika Bangunan Krib Permeabel pada Saluran Tanah (Uji Model Laboratorium). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan Vol.2. No.3*.
- Magdalena, I., Karima, N., Marcela, I., dan Farid, M., 2022. Generalization of a Three-Layer Model for Wave Attenuation in N-Block Submerged Porous Breakwater. *Results in Engineering Vol. 16 No. 100428*, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100428>.
- Maitsa, T. R., Mardika, M. G. I., Adityawan, M. B., Harlan, D., Kusumastuti, D., dan Kuntoro, A. A., 2020. 2D Numerical Simulation of Urban Dam Break and its Effect to Building using Lax Scheme with Numerical Filter. *E3S Web of Conferences Vol. 156 No. 04003*, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015604003>.
- Nanda, A. R., Mansida, A., Anita, dan Sulistiawati, Y., 2019. Pengaruh Krib Bambu tipe Permeabel terhadap Gerusan Tebing di Belokan Sungai (Studi Eksperimental). *Jurnal Teknik Hidro Vol. 12 No. 2*, <https://doi.org/10.26618/th.v12i2.2805>.

- Nugraha, A. W. P. S., Priyantoro, D., dan Sisinggih, D., 2021. Model Numerik Nays2DH untuk Penempatan Bangunan Krib pada Belokan Sungai. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air Vol. 1 No. 2*: 562-575, <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2021.001.02.19>.
- Republik Indonesia., 2012. *Keputusan Presiden No. 12 Tahun 2012 tentang Penetapan Wilayah Sungai*. Sekretariat Kabinet RI. Jakarta
- Sandi, C., Adityawan, M. B., Harlan, D., Farid, M., dan Nadeak, N., 2022. Artificial Neural Network dan Pemodelan Numerik untuk Prediksi Parameter Aliran akibat Dam Break. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air Vol. 2 No. 2*: 129-140, <https://doi.org/10.56860/jtsda.v2i2.50>.
- Schwartz, R. dan Kozerski, H., 2003. Entry and Deposits of Suspended Particulate Matter in Groyne Fields of the Middle Elbe and its Ecological Relevance. *Acta hydrochim. hydrobiol.*, Vol. 31: 391-399, <https://doi.org/10.1002/ahch.200300496>.
- Setyono, E., 2007. Krib Impermeabel sebagai Pelindung pada Belokan Sungai (Kasus Belokan Sungai Brantas di Depan Lab. Sipil UMM). *Media Teknik Sipil Vol. 5 No. 1*.
- Sunaryo, Daoed, D., dan Sari, F. L., 2010. Pengaruh Pemasangan Krib pada Saluran di Tikungan 120°. *Jurnal Rekayasa Sipil Vol. 6 No. 1*: 45-54, <https://doi.org/10.25077/jrs.6.1.45-54.2010>.
- Teraguchi, H., Nakagawa, H., Muto, Y., Baba, Y., Zhang, H., 2008. Effects of Groins on the Flow and Bed Deformation in Non-Submerged Conditions. *Annals of Disaster Prevention Research Institute of Kyoto University*, No. 51 B: 625-631.
- Yossef, M.F.M., 2002. Literature Review The Effect of Groynes on Rivers. *Delft University of Technology Faculty of Civil Engineering and Geosciences Section of Hydraulic Engineering*.
- Zulfan, J. dan Kumala, Y.E., 2018. Efektivitas Krib untuk Mengurangi Gerusan di Tikungan Luar Sungai Bengawan Solo. *Jurnal Teknik Hidraulik*, Vol. 9 No. 2: 115-126. <https://doi.org/10.32679/jth.v9i2.582>