

EFEKTIVITAS KRIB UNTUK MENGURANGI GERUSAN DI TIKUNGAN LUAR SUNGAI BENGAWAN SOLO

GROYNE EFFECTIVENESS FOR SCOURING REDUCTION ALONG BENGAWAN SOLO OUTER RIVER BEND

James Zulfan¹⁾ Yiniarti Eka Kumala²⁾

¹⁾ Balai Litbang Bangunan Hidraulik dan Geoteknik Keairan,
Pusat Litbang Sumber Daya Air, Jl. Ir H Juanda No. 193 Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40135

²⁾ Universitas Parahyangan
Jl. Ciumbuleuit No.94, Hegarmanah, Cidap, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40141
E-Mail: jameszulfan@gmail.com

ABSTRAK

Sungai Bengawan Solo mempunyai karakteristik sungai berliku (meander). Hal ini berpotensi untuk memicu terjadinya gerusan lokal akibat tingginya kecepatan aliran di tikungan luar sungai. Fenomena gerusan lokal ini terjadi pada ruas pertemuan Sungai Bengawan Solo dan Kali Pepe, tebing sungai sudah bergeser ± 2 meter. Hal ini menunjukkan bahwa erosi dan gerusan lokal telah terjadi dan memerlukan penanganan khusus karena gerusan tebing tersebut semakin mendekati jalan raya dan kawasan pemukiman warga. Penanganan yang dapat dilakukan adalah memproteksi tebing sungai yang kritis tersebut dengan struktur krib untuk mengarahkan aliran yang datang dengan kecepatan tinggi ke arah palung sungai sehingga tidak membahayakan tebing tanggul sungai. Penelitian ini mengkaji efektivitas penempatan tata letak krib di tikungan luar sungai melalui uji model fisik 3 dimensi di Laboratorium Hidraulika dan diverifikasi oleh pemodelan numerik 2 dimensi. Berdasarkan hasil uji model hidraulik fisik, pemasangan krib dan riprap dengan jarak dan dimensi yang optimum dapat meredam energi dan kecepatan aliran sungai untuk mengamankan tebing dan tanggul sungai.

Kata Kunci: uji model fisik, krib, sungai meander, model numerik, Sungai Bengawan Solo

ABSTRACT

Bengawan Solo River considered as a meander river. This condition has potentially triggered local scouring due to high flow velocity at the outer bend of the river. The scouring phenomenon occur in the segment of of Bengawan Solo river in junction with Kali Pepe river where the river bank has shifted ± 2 meter. This condition indicates that the erosion and scouring have occurred and need immediate scenarios because the river banks was eroded and the nearby residential areas wa threaten. To protect the critical river banks, groyne structure was implemented. This study aims to investigate the effectiveness of the placing of groyne structure along the outer river bend using 3 dimensional physical model test at the Hydraulics Laboratory. The obtained resutls will be verified by 2 dimensional numerical modeling. Based on the physical hydraulic model testing, groyne and riprap setup with optimum distance can be effective to reduce the energy and flow velocity of the river flow to secure the dikes and river embankments.

Keywords: Physical model test, groyne, meander river, numerical model, Bengawan Solo river

PENDAHULUAN

Sungai mempunyai peranan penting dalam mendukung berbagai kebutuhan hidup manusia. Oleh karena itu, sungai perlu mendapat perhatian supaya dapat tetap berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada sungai adalah adanya perubahan tataguna lahan di hulu sungai yang memicu peningkatan erosivitas lahan sehingga morfologi sungai terganggu. Salah satu upaya pengendalian dan pengamanan sungai yang dapat dilakukan antara lain dengan perkuatan tebing dengan pemasangan krib yang ditempatkan di tikungan luar sungai. Beberapa penelitian terkait struktur krib yang sudah dilakukan seperti Ujttewaal (2005), Kadota dkk (2008), Teraguchi dkk (2008), Ziliwu (2010), Zikri (2016), Zaid (2017), Nguyen dkk (2018), Herera (2018), Suharjo dkk (2018) dan Zaid dkk (2018) menyatakan bahwa salah satu penanggulangan gerusan yang cukup efektif adalah dengan penggunaan struktur krib untuk melindungi tebing sungai dari arus dengan kecepatan tinggi. Seperti halnya yang terjadi di Sungai Bengawan Solo yang mempunyai lebar sungai ± 90 meter di kota Solo Provinsi Jawa Tengah. Fenomena gerusan lokal terjadi pada ruas pertemuan antara Sungai Bengawan Solo dengan Kali Pepe, tebing tanggul sungai sebelah kiri di tikungan luar sungai dikhawatirkan mengalami kegagalan struktur jika terus menerus terkena gerusan. Hal tersebut menjadi perhatian banyak pihak karena dibalik tebing tanggul yang tergerus tersebut adalah jalan raya dan pemukiman warga, selain itu di muara pertemuan Sungai Bengawan Solo dengan Kali Pepe direncanakan akan dibangun Pintu Air Demangan baru sehingga diperlukan penanganan untuk melindungi tebing sungai tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji gerusan di tikungan sungai dengan melakukan simulasi pemasangan krib dengan penempatan posisi yang berbeda untuk mendapatkan desain yang paling optimal.



Sumber: Pemkot Surakarta, 2017

Gambar 1 Sungai Bengawan Solo

KAJIAN PUSTAKA

Gerusan di Sungai

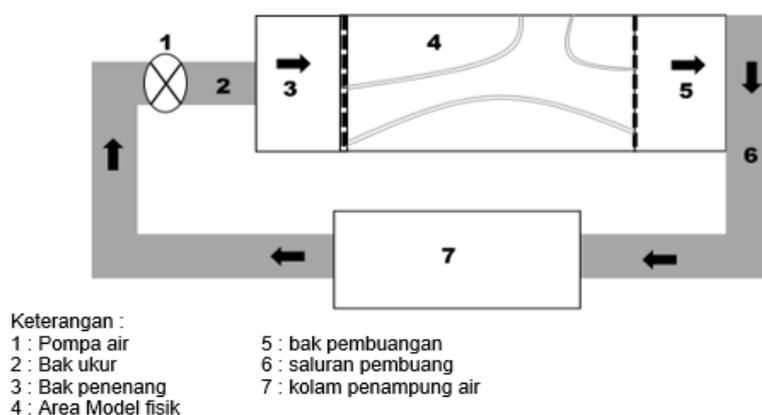
Proses gerusan terjadi karena adanya perubahan pola aliran yang melewati suatu penampang sungai sehingga partikel-partikel dasar sungai akan terangkut dan ditransportasikan dari daerah asalnya selapis demi selapis dan proses tersebut terjadi berulang-ulang sampai mencapai suatu keseimbangan dasar sungai yang baru. Tipe gerusan dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu:

- 1 Gerusan umum di alur sungai, tidak berkaitan sama sekali dengan ada atau tidaknya bangunan sungai.
- 2 Gerusan dilokalisir di arus sungai, terjadi karena penyempitan aliran sungai
- 3 Gerusan lokal disekitar bangunan, terjadi karena pola aliran lokal sekitar bangunan sungai.

Pengaruh kemiringan memperbesar pengikisan bila elevasi miring ke arah dalam tikungan, dan akan berkurang bila kemiringan sebaliknya. Tetapi pengerusan masih besar akibat aliran yang terpuntir di tikungan (Darwizal., dkk 2006).

Krib

Krib merupakan struktur pelindung tebing yang biasa digunakan untuk memproteksi tebing sungai dari bahaya gerusan lokal akibat arus aliran sungai yang tinggi. Beberapa penelitian tentang kinerja krib di sungai seperti yang dilakukan Zulfan (2013) menunjukkan bahwa struktur krib mampu mengarahkan distribusi aliran menuju ke tengah saluran dan relatif mampu mengurangi gerusan pada sisi tikungan luar dan tengah sungai. Menurut Sidharta dalam buku "Irigasi dan Bangunan Air" bangunan pengatur sungai adalah suatu bangunan air yang dibangun pada sungai dan berfungsi untuk mengatur aliran air agar tetap stabil dan sebagai pengendali banjir.



Gambar 2 Skema fasilitas pengujian model fisik di laboratorium hidraulika

Jenis-jenis bangunan pengatur sungai antara lain perkuatan lereng, pengatur arus (krib), tanggul, dam penahanan sedimen (*check dam*) dan *ground sill*. Krib adalah bangunan air yang secara aktif mengatur arah arus sungai dan mempunyai efek positif yang besar jika dibangun secara benar. Sebaliknya, apabila krib tidak direncanakan dengan baik, maka tebing di seberangnya dan bagian sungai sebelah hilir akan mengalami kerusakan. Hal ini juga sejalan dengan penjelasan SNI 2400.1:2016 tentang Tata Cara Perencanaan Umum Krib Di Sungai, yang menyatakan bahwa krib difungsikan sebagai pelindung tebing tidak langsung terutama untuk tebing yang terletak pada daerah yang potensial dengan tata letak sebagai berikut :

- 1 Krib dipasang dengan jarak optimal.
- 2 Letak krib dengan arah tegak lurus paling efektif untuk menciptakan medan krib, sehingga krib tegak lurus paling sesuai untuk pelindung tebing dan pengatur alinyemen horisontal alur sungai.
- 3 Pangkal krib diletakkan pada tebing yang mantap untuk menghindari terobosan arus di belakang krib dan agar tahan terhadap longoran tebing, sedangkan untuk tebing dengan tanah yang tidak mantap harus dipertimbangkan berdasar kekuatan sesuai karakteristik butiran tanah.
- 4 Ujung krib diletakkan pada garis sejajar aliran sepanjang daerah krib atau ditentukan dengan uji model hidraulik.
- 5 Krib untuk pendalaman alur bagi navigasi diletakkan pada kedua tebing sungai sepanjang alur yang dikehendaki dengan arah tegak lurus (dapat ditambah krib memanjang pada ujung krib) atau arah tajam.
- 6 Peletakan krib sepanjang daerah krib, diambil berdasarkan panjang tebing yang

perlu dilindungi dengan memperhitungkan kemungkinan perubahan arus pada keadaan krib terpasang.

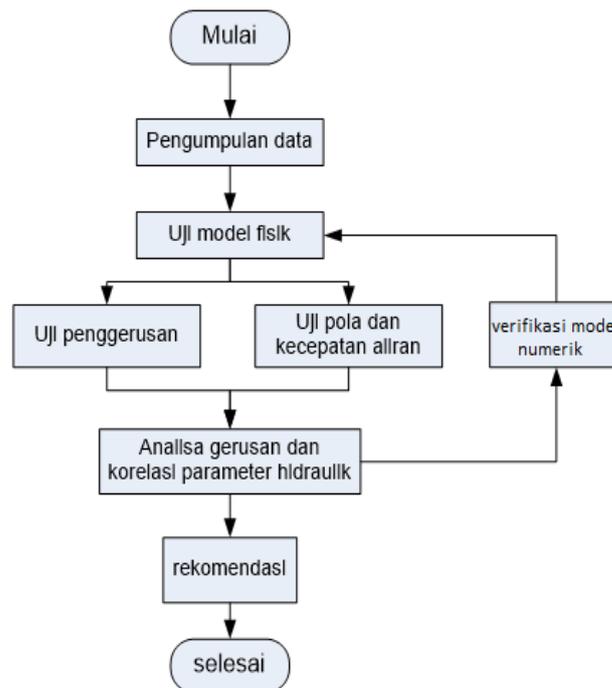
Untuk memperoleh hasil-hasil yang optimal dari rencana pembuatan krib, maka diperlukan perencanaan yang tepat menyangkut pemilihan tipe krib, yaitu yang lolos aliran atau tidak, serta dimensi dan posisi krib, yaitu panjang, arah tinggi dan jarak antar krib. (Sosrodarsono, 1994)

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1 Studi literatur terkait topik yang relevan,
- 2 Pengujian model fisik 3D,
- 3 Pemodelan numerik 2D,
- 4 Rekomendasi desain krib yang optimal.

Pengujian model di Laboratorium Hidraulika dilaksanakan untuk melihat pengaruh dari penempatan struktur krib di tikungan sungai Bengawan Solo. Area laboratorium dengan dimensi 10 x 15 meter disiapkan untuk keperluan eksperimen ini (Gambar 2). Alternatif pengaliran direncanakan menjadi 3 bagian yaitu kondisi awal (tanpa krib), kondisi krib rapat (jarak antar krib 5 meter), dan kondisi krib renggang (jarak antar krib 20 meter). Model yang dibuat merupakan model tanpa distorsi (undistorted model), dalam arti skala geometri horizontal (nh) diambil sama dengan skala geometri vertikal (nv). Bagian-bagian yang ditirukan di model, mencakup Kali Pepe dengan kondisi eksisting di udik Pintu Air Demangan sepanjang ± 50 m. Sungai Bengawan Solo sepanjang ± 577 m. Sedangkan pemodelan numerik 2D dilakukan menggunakan *software* Mike21C. Bagan alir metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Bagan Alir Metode Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Gerusan di Tebing Sungai Bengawan Solo.

Berdasarkan pengamatan di lapangan, terlihat bahwa tebing tikungan luar di udik pertemuan Sungai Bengawan Solo dengan Kali Pepe telah mengalami penggerusan dan dikhawatirkan dapat mengancam struktur bangunan Pintu Air Demangan yang akan dipasang di muara pertemuan Kali Pepe dan Sungai Bengawan Solo serta pemukiman warga dibalik tanggul banjir sungai. Hal ini disebabkan oleh gaya sentrifugal pada tikungan akan memicu adanya arus melintang sungai yang kemudian bersama dengan aliran utama akan membentuk aliran helicoidal. Besarnya kecepatan arus ini sekitar 10% - 15% dari kecepatan arah utama aliran.

Erosi biasanya terjadi pada sisi luar belokan dan pengendapan terjadi pada sisi dalam belokan pada sungai yang bermeander. Rata-rata angkutan sedimen Sungai Bengawan Solo $3,69 \times 10^{-3}$ kg/s yang mengindikasikan bahwa laju angkutan sedimen di sungai ini terbilang cukup tinggi (Hakim dkk, 2015). Secara visual terlihat bahwa tebing sungai Bengawan Solo sudah bergeser ± 2 meter ke arah jalan dan pemukiman warga seperti terlihat pada Gambar 4. Oleh karena itu diperlukan suatu penanganan untuk

mengamankan tebing sungai dari gerusan agar penggerusan tidak bertambah parah dan mengganggu aktivitas warga sekitar. Penggerusan terjadi akibat terbawanya material dasar atau tebing saluran oleh aliran yang sangat tinggi, kemudian pengikisan biasanya terjadi di bagian luar tikungan dan pengendapan di bagian dalam tikungan (Darwizal dkk, 2006). Untuk melihat karakteristik dari aliran sungai maka selanjutnya dilakukan analisis dengan dengan uji model fisik di Laboratorium Hidraulika dengan dasar model sedimen pasir sebagai *movable bed* untuk melihat efek penggerusan di sungai, kemudian hasil pengujian diverifikasi dengan pemodelan numerik (Mike21C).

Pemodelan Kondisi Eksisting Ruas Sungai Bengawan Solo.

Pada pengujian ini, sungai dimodelkan sesuai kondisi awal di lapangan dengan kondisi pintu air tertutup sehingga tidak ada pengaruh dari saluran Kali Pepe seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Fokus dari pemodelan ini lebih kepada kecepatan aliran yang berpotensi mengakibatkan gerusan di tikungan luar Sungai Bengawan Solo. Pemodelan ini mensimulasikan Sungai Bengawan Solo dengan panjang model 600 meter dengan skala 1 : 50 di Laboratorium Hidraulika (Gambar 6 dan Gambar 7).



Gambar 4 Kondisi tebing kiri Sungai Bengawan Solo yang mengalami gerusan



Gambar 5 Batas area pemodelan Sungai Bengawan Solo

Data yang digunakan dalam simulasi ini adalah data kontur dan kedalaman Sungai Bengawan Solo tahun 2017 yang sudah dikalibrasi dengan data di lapangan. Debit yang digunakan dalam proses simulasi pengaliran yaitu debit desain Q_{2th} , Q_{50th} , dan Q_{100th} untuk mewakili debit pengaliran rendah sampai debit pengaliran yang tinggi (Tabel 1).

Tabel 1 Debit Banjir Rencana

No	Periode ulang	Debit (m^3/s)
1	2	1420
2	50	2205
3	100	2294

sumber : Puslitbang SDA, 2017

Hasil pengujian model fisik menunjukkan kecepatan maksimal di tikungan luar Sungai Bengawan Solo sebesar ± 5 m/s (Gambar 8).

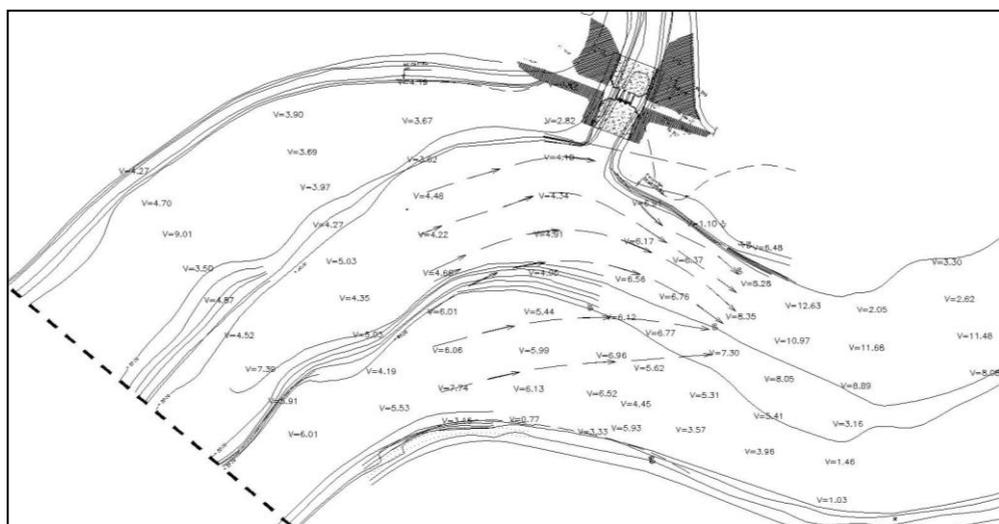
Respond morfologi sungai ini juga diverifikasi melalui pemodelan *hydrodynamic* dengan menggunakan *software* MIKE 21C. Parameter batas (*boundary*) hulu ditentukan dengan debit Q_{100th} sedangkan hilirnya menggunakan tinggi muka air normal hilir +86.00 m. Kecepatan dan pola aliran yang ditunjukkan dari pemodelan numerik seperti disajikan pada Gambar 9, menunjukkan indikasi warna merah untuk kecepatan tertinggi sekitar $\pm 5,5$ m/s sedangkan kecepatan rata-rata di lokasi tersebut $\pm 4,0$ m/s pada tikungan luar sungai. Dengan kecepatan yang terfokus di tikungan luar sungai, lokasi tebing kiri sungai menjadi rentan mengalami gerusan. Selain itu, kondisi tebing tersebut tidak terproteksi maka lambat laun akan semakin tergerus oleh arus aliran sungai.



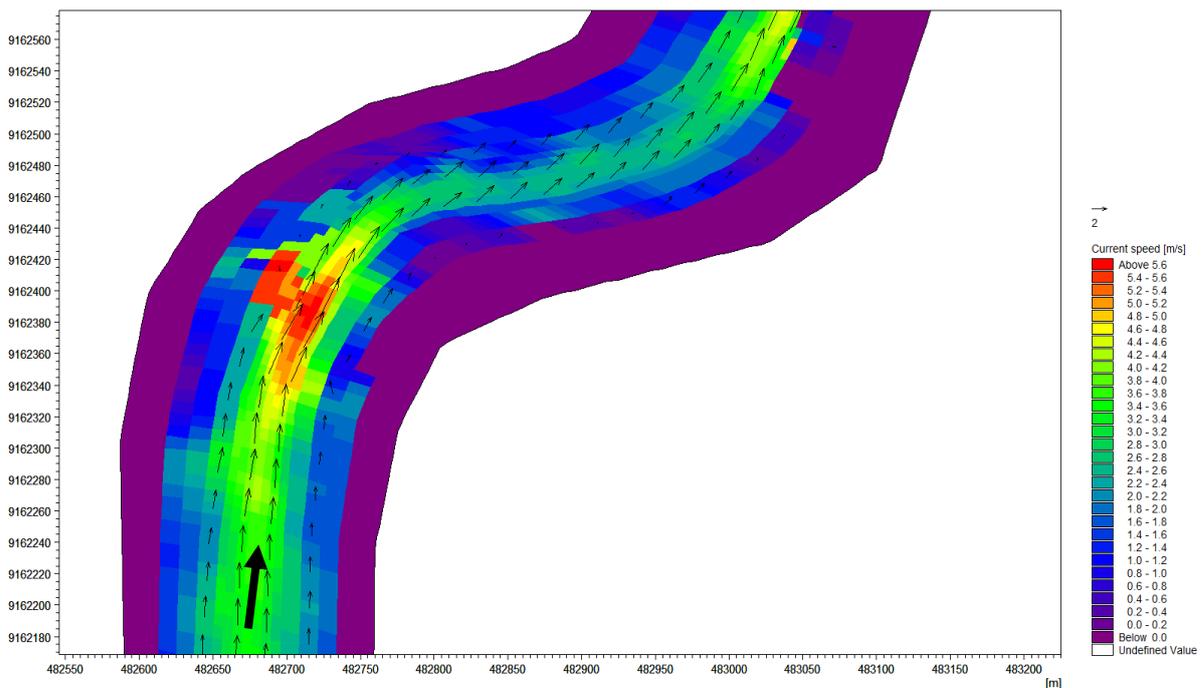
Gambar 6 Model Fisik PA Karet Seri 1 Sebelum Pengaliran Skala 1:50



Gambar 7 Pengaliran model Sungai Bengawan Solo dengan Q_{100th}



Gambar 8 Pola dan kecepatan aliran Sungai Bengawan Solo (Uji Model Fisik 3 dimensi, Q_{100th})



Gambar 9 Pola dan kecepatan aliran Sungai Bengawan Solo (Model Numerik, $Q_{100\text{thn}}$)

Hasil pengujian model fisik menunjukkan kecepatan maksimal di tikungan luar Sungai Bengawan Solo sebesar ± 5 m/s (Gambar 8). Hal ini juga diverifikasi oleh pemodelan *hydrodynamic* dengan menggunakan *software* MIKE 21C yang bertujuan untuk mengetahui respon morfologi Sungai Bengawan Solo. Parameter batas (*boundary*) hulu ditentukan dengan debit $Q_{100\text{thn}}$ sedangkan hilirnya menggunakan tinggi muka air normal hilir +86.00 m. Kecepatan dan pola aliran yang ditunjukkan dari pemodelan numerik seperti terlihat pada Gambar 9. Warna merah untuk kecepatan tertinggi sekitar $\pm 5,5$ m/s sedangkan kecepatan rata-rata di lokasi tersebut $\pm 4,0$ m/s pada tikungan luar sungai.

Pada pengaliran dengan debit $Q_{100\text{thn}}$, gerusan terdalam terjadi di tebing sungai dengan kedalaman maksimum $\pm 4,0$ m (Gambar 10). Hal ini disebabkan karena puncak tikungan luar Sungai Bengawan Solo area tersebut (Gambar 8), dimana dengan kecepatan maksimum terjadi akan menggerus dan menggerakkan material sedimen di tikungan sungai. Jika hal ini dibiarkan maka dapat mengganggu kestabilan dan kekuatan struktur tanggul yang ada sehingga membahayakan pemukiman warga di belakang tanggul sungai. Oleh karena itu, salah satu penanggulangan penggerusan di tikungan sungai dapat berupa bronjong dan krib sebagai struktur yang melindungi tebing di tikungan luar sungai.

Pemodelan Ruas Sungai Bengawan Solo dengan Pemasangan Krib.

Untuk mengurangi gerusan di tebing sungai Bengawan Solo ini maka dipasang suatu struktur krib dengan panjang krib diambil $\pm 10\%$ dan rasio dimensi jarak antar krib (d) = $2 \times$ panjang krib (L), dari lebar sungai eksisting (SNI 2400.1:2016). Alternatif pemodelan dibedakan dari alternatif 1 (Gambar 10) yaitu pemasangan 3 buah krib dengan panjang rata-rata 10 meter (L) dan jarak antar krib 5 meter (d), kemudian alternatif 2 (Gambar 11) yaitu pemasangan 6 buah krib dengan panjang rata-rata 10 meter (L) dan jarak antar krib 20 meter (d).

Letak krib direncanakan tegak lurus aliran sungai dan alinyemen dibuat mengikuti garis horizontal longitudinal alur sungai. Pangkal krib diletakkan pada tebing untuk menghindari masuknya arus di belakang krib sehingga tebing lebih stabil dan tahan terhadap potensi longoran. Berdasarkan hasil pemodelan numerik 2D (Gambar 13 dan Gambar 14), terlihat bahwa kecepatan aliran pada alternatif 1 masih cukup tinggi ($v_{\text{maks}}=5$ m/s) dan terpusat pada area di depan krib. Sedangkan kecepatan aliran pada alternatif 2 terlihat sudah terdistribusi dengan baik dengan kecepatan maksimum 3,6 m/s.

Sesuai dengan tujuan awal penelitian, bahwa tebing kiri Sungai Bengawan Solo dapat diproteksi dari potensi bahaya gerusan akibat kecepatan air di tikungan luar sungai. Hal ini tentu berdampak pada area penggerusan dasar

sungai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15 dan Gambar 16. Hasil uji model fisik menunjukkan bahwa pada alternatif 1 kedalaman dan pola gerusan masih tinggi di area sekitar tebing kiri sungai dan terjadi turbulensi aliran di udik krib, sedangkan pada alternatif 2 gerusan

sudah terdistribusi merata sehingga tebing kiri lebih aman. Hal ini mengindikasikan bahwa pada alternatif 2, kecepatan aliran di tikungan luar sudah tereduksi dengan baik oleh struktur krib yang ada.



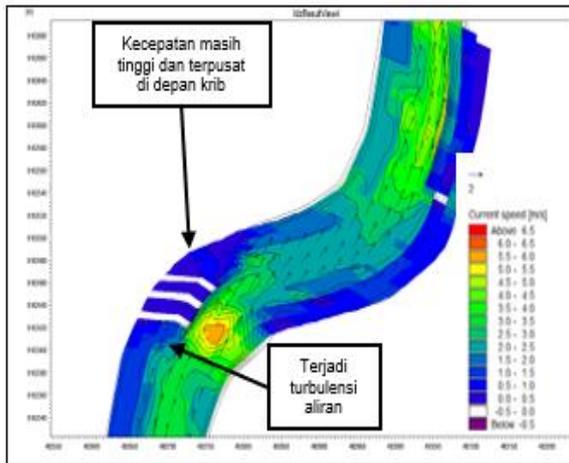
Gambar 10 Pola dan kedalaman gerusan pada kondisi eksisting (Uji Model Fisik, Q_{100th})



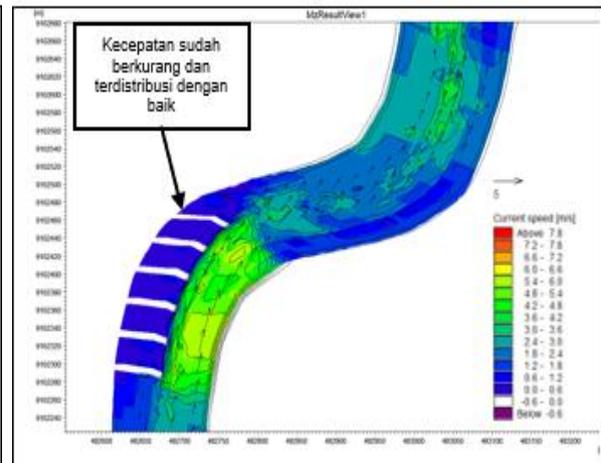
Gambar 11 Tata letak krib pada alternatif 1



Gambar 12 Tata letak krib pada alternatif 2



Gambar 13 Tata letak krib pada alternatif 1



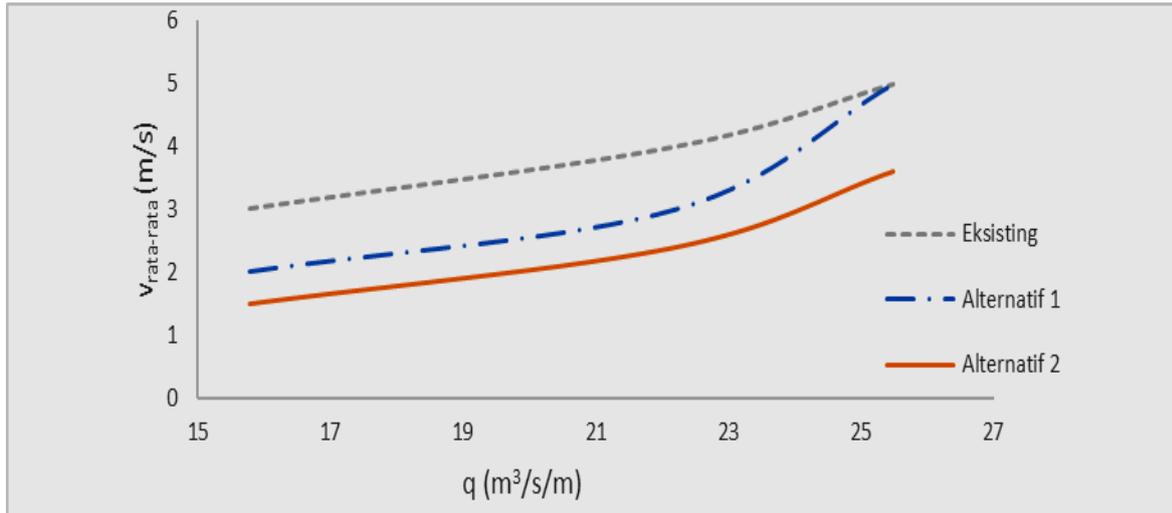
Gambar 14 Tata letak krib pada alternatif 2



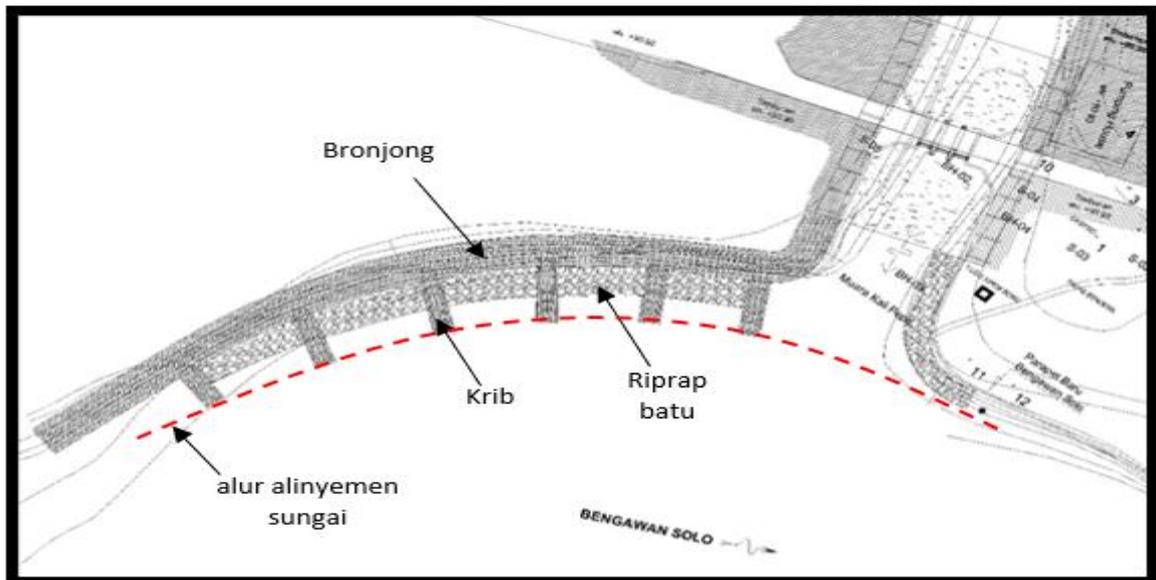
Gambar 15 Pola gerusan yang terjadi pada uji model fisik 3 dimensi (Alternatif 1, Q_{100thn})



Gambar 16 Pola gerusan yang terjadi pada uji model fisik 3 dimensi (Alternatif 2, Q_{100thn})



Gambar 17 Hubungan interaksi q dan $V_{rata-rata}$



Gambar 18 Rekomendasi tata letak krib

Korelasi antara debit per satuan lebar q ($m^3/s/m$) dan kecepatan rata-rata v (m/s) di tikungan luar Sungai Bengawan Solo dapat dilihat pada Gambar 17. Dari grafik ini terlihat bahwa kecepatan rata-rata aliran meningkat seiring dengan kenaikan debit sungai. Namun, dengan pemasangan krib kecepatan aliran di tikungan sungai dapat diredam dan dialihkan sehingga kecepatan di tikungan sungai menjadi lebih rendah serta terdistribusi dengan baik. Berdasarkan grafik pada Gambar 17, penanganan yang paling efektif diantara 2 alternatif model yang diuji adalah desain krib pada alternatif 2,

karena mampu meredam energi dan kecepatan aliran di tikungan luar sungai. Oleh karena itu, diusulkan desain perkuatan tebing kiri tikungan luar Sungai Bengawan Solo di udik pertemuan dengan Kali Pepe sesuai desain alternatif 2 yaitu dengan pemasangan 6 buah krib dari bronjong dengan panjang ± 10 meter dan jarak antar krib ± 20 meter, serta pemasangan riprap batu (ukuran $\geq 0,3$ meter) pada celah antar krib dan bronjong sebagai proteksi kaki tebing (toe protection). Konfigurasi dan tata letak desain akhir dapat dilihat pada Gambar 18.

KESIMPULAN

Tebing kiri Sungai Bengawan Solo yang terletak pada tikungan luar berpotensi mengalami gerusan sampai kedalaman ± 4 meter dengan kondisi eksisting dan tidak terproteksi. Oleh karena itu, diperlukan pemasangan krib sesuai dengan desain pada alternatif 2 (Gambar 17). Berdasarkan hasil uji model fisik dan pemodelan numerik, pemasangan krib efektif untuk dilakukan mengurangi kedalaman gerusan yang terjadi di tebing kiri Sungai Bengawan Solo. Penurunan kecepatan aliran di tikungan luar Sungai Bengawan Solo terjadi setelah dipasang krib. Pengurangan kecepatan paling efektif terjadi pada alternatif 2 dengan konfigurasi jumlah krib lebih banyak dengan jarak antar krib yang lebih renggang. Pada alternatif ini, besaran penurunan kecepatan dari 5,5 m/s (kondisi eksisting tanpa adanya krib) menjadi 3,6 m/s (kondisi pada alternatif 2). Selain itu terlihat juga pola aliran menjadi tersebar dan tidak terfokus disatu lokasi. Hal ini berimbas kepada berkurangnya kedalaman gerusan yang terjadi pada dasar sungai sehingga tebing kiri sungai menjadi lebih aman. Rasio dimensi jarak antar krib (d) = $2 \times$ panjang krib (L) memberikan hasil yang optimal dalam hal peredaman kecepatan dan pendistribusian aliran. Sedangkan jumlah krib yang dipasang dapat menyesuaikan dengan pola alur alinyemen sungai yang diinginkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada para peneliti dan teknisi di laboratorium Balai Bangunan Hidraulik dan Geoteknik Keairan, Pusat Litbang Sumber Daya Air atas masukan dan sarannya sehingga tulisan ini dapat terwujud

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. 2016. SNI 2400.1:2016. Tata Cara Perencanaan Krib di Sungai-Bagian 1 : Perencanaan umum. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Darwizal, dkk. 2006. Pengaruh Variasi Geometri Tikungan Terhadap Karakteristik Penyebaran Sedimen dan Pembentukan Lapisan Armouring di Dasar Saluran, Laporan Hasil Penelitian Fundamental, Dikti, Dep. Diknas.

Hakim, D A. dkk. 2015. Analisis Angkutan Sedimen Pada Sungai Bengawan Solo. e-Jurnal Matriks Teknik Sipil/Maret 2015/232.

Herrera-Granados, Oscar. 2018. Turbulence Flow Modeling of One-Sharp-Groyne Field. 207-218. 10.1007/978-3-319-70914-7_12.

Nguyen, Q.B et al. 2018. Flow Around Groynes Modelling In Different Numerical Schemes. EPIC Series in Engineering. Volume 3, 2018. The 13th International Conference on Hydroinformatics. Palermo, Italy.

Puslitbang SDA. 2017. Laporan Akhir Uji Model Hidraulik Pintu Air Demangan Provinsi Jawa Tengah. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Bandung

Pemkot Surakarta. 2017. Sungai Bengawan Solo. 20Desember2017.<http://nasional.republika.co.id/berita/nasional/daerah/17/12/16/p11p68284-ketinggian-air-bengawan-solo-di-bawah-siaga-banjir>

Sidharta. dkk. 1997. Irigasi dan Bangunan Air, Universitas Gunadharma. Jakarta.

Suharjoko., Sulistiono, D., Subekti, S., Sumirman, E. 2018. The relationship of groyne placement at the river bend with the sedimentation accumulations. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 13. 1173-1180.

Teraguchi, H., Nakagawa, H., Muto, Y., Baba, Y., and Zhang, H. 2008. Effects of groins on the flow and bed deformation in non-submerged conditions. Annuals of Disaster Prevention Research Institute of Kyoto University, 51B, 625-631.

Uijtewaal, W. S. J. 2005. Effects of groyne layout on the flow in groyne fields: Laboratory experiments. Journal of Hydraulic Engineering, 131(9),782-791.

Zaid, Bahaelden. 2017. Development of Design Guidelines for Shallow Groynes. DOI 10.24355/dbbs.084-201804100941.

Zaid, Bahaelden & Nardone, Paride & Nones, Michael & Gerstgraser, Christoph & Koll, Katinka. 2018. Morphodynamic effects of stone and wooden groynes in a restored river reach. E3S Web of Conferences. 40. 10.1051/e3sconf/20184002038.

Zilliwu, Yuliman. 2010. Peranan Konstruksi Pelindung Tebing dan Dasar Sungai pada Perbaikan Alur Sungai, Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur, Vol.7, No.11, ISSN 0852-2561. UTP Surakarta.

Zikri, A. 2016. Model Laboratorium Pola Aliran pada Krib Permeable Dengan Variasi Debit dan Jarak Antar Krib di Sungai Berbelok. Unri, pekanbaru.

Zulfan, James. 2013. Pemodelan Numerik Pengamanan Sungai Saddang Dengan Pemasangan Krib. Jurnal Teknik Hidraulik, Volume 4, No 1, Juni 2013 Bandung.

Zulfan, James. 2015. Efektifitas Hidraulik Penambahan Pintu Air Melalui Uji Model Fisik 3D dan Numerik 1D (Studi Kasus: Manggarai Sluice Gate). Jurnal Teknik Hidraulik Volume 6, No.1, ISSN 2087-3611. Bandung