

Rekayasa Geometri Sungai Grindulu Melalui Penerapan Groundsill

Samuel Harjanto¹, Fanny Aliza Savitri^{1*}, Habib Ansari² dan Rifki Maulana¹

¹BBWS Bengawan Solo, Kementerian PUPR

²Direktorat Irigasi dan Rawa, Kementerian PUPR

* fannyaliza@pu.go.id

ABSTRAK

Penambangan pasir liar/tidak berizin dalam area badan sungai merupakan salah penyebab kerusakan ekosistem, lingkungan, dan infrastruktur dikarenakan eksploitasi sungai yang berlebihan. Sungai Grindulu dengan area tangkapan air terbesar di Kabupaten Pacitan dengan luas area + 733.500 km² dan panjang alur sungai + 63,73 km yang bermuara ke Teluk Pacitan, memiliki kondisi eksisting dimana sebagian besar merupakan daerah pegunungan dengan morfologi sungai meandering yang lerengnya cukup curam antara 30% - 50% di daerah hulu. Dengan kondisi topografi dan morfologi tersebut, Sungai Grindulu menyimpan potensi degradasi dasar sungai dan longsor di areal tebing kanan dan kiri sungai akibat kecepatan aliran yang cukup besar. Berbanding lurus dengan kondisi eksisting tersebut, kegiatan penambangan pasir/galian c liar/tidak berizin semakin meningkatkan potensi negatif dari penurunan dasar sungai dan longsor di tebing kanan dan kiri sungai. Dalam studi ini dilakukan kajian hidrologis dan hidraulik dimana dipilih penerapan struktur ambang lebar atau Groundsill untuk mempengaruhi perubahan geometri dan morfologi dari Sungai Grindulu. Permodelan dilakukan dengan perangkat lunak HEC-RAS dengan kondisi penerapan Groundsill tunggal dan ganda sebelum dan sesudah dimana nantinya akan menampilkan perubahan variabel/parameter kecepatan aliran sungai di bagian hilir yang awalnya 3,95 m/s menjadi 1 m/s. Sehingga dengan inovasi tersebut, penulis berharap dapat memberikan rekomendasi terkait langkah preventif untuk meminimalisis potensi bencana yang ada di Sungai Grindulu.

Kata Kunci: Penambangan pasir, Morfologi sungai, HEC-RAS, Groundsill

ABSTRACT

Illegal/unlicensed sand mining in river body areas is one of the causes of damage to ecosystems, the environment and infrastructure due to excessive exploitation of rivers. The Grindulu River with the largest water catchment area in Pacitan Regency with an area of + 733,500 km² and a river channel length of + 63.73 km which empties into Pacitan Bay, has existing conditions where most of it is a mountainous area with meandering river morphology whose slopes are quite steep between 30 % - 50% in upstream areas. With these topographic and morphological conditions, the Grindulu River has the potential for river bed degradation and landslides in the right and left bank areas of the river due to the fairly large flow speed. In direct proportion to the existing conditions, illegal/unlicensed sand mining/quarrying activities further increase the negative potential of lowering the river bed and landslides on the right and left banks of the river. In this study, a hydrological and hydraulic study was carried out in which the application of a wide sill structure or Groundsill was chosen to influence changes in the geometry and morphology of the Grindulu River. Modeling was carried out using HEC-RAS software with single and double Groundsill application conditions before and after which will later display changes in river flow velocity variables/parameters in the downstream section from initially 3.95 m/s to 1 m/s. So with this innovation, the author hopes to provide recommendations regarding preventive steps to minimize the potential for disasters in the Grindulu River.

Keywords: Sand mining, River morphology, HEC-RAS, Groundsill.

1. PENDAHULUAN

Sungai Grindulu dengan area tangkapan air terbesar di Kabupaten Pacitan dengan luas area + 733.500 km² dan panjang alur sungai + 63,73 km yang bermuara ke Teluk Pacitan, memiliki kondisi eksisting dimana sebagian besar merupakan daerah pegunungan dengan morfologi sungai meandering yang lerengnya cukup curam antara 30% - 50% di daerah hulu. Dengan kondisi topografi dan morfologi tersebut, Sungai Grindulu menyimpan potensi degradasi dasar sungai dan longsor di areal tebing kanan dan kiri sungai akibat kecepatan aliran yang cukup besar. Berbanding lurus dengan kondisi eksisting tersebut, kegiatan penambangan pasir/galian liar/ tidak berizin semakin meningkatkan potensi negatif dari penurunan dasar sungai dan longsor di tebing kanan dan kiri sungai.



Gambar 1. Lokasi Studi Desa Mentoro, Kecamatan Pacitan, Kab. Pacitan.

Dengan luasnya hamparan daerah aliran sungai tersebut, sungai grindulu selain menyimpan potensi sumber daya air yang besar juga terdapat potensi galian mineral pasir yang sudah banyak dimanfaatkan melalui media penambangan baik secara berizin maupun liar. Dengan banyaknya pemanfaatan di media badan sungai sebagai areal tambang pasir/galian secara berlebihan maka muncul banyak permasalahan seperti penurunan dasar permukaan sungai, pendangkalan di hilir sungai di akibat laju sedimentasi yang cepat di hulu, kerusakan infrastruktur air.

Merujuk hal tersebut maka studi ini menampilkan rekomendasi untuk mengatasi penurunan dasar permukaan sungai dengan penerapan ambang lebar atau Groundsill. Penerapan groundsill atau ambang lebar ini dipilih karna dapat mengurangi laju kecepatan air dan pengendapan sedimen di bagian hulu sehingga nantinya penumpukan sedimen di hilir tidak terjadi secara cepat.

Pengendapan material yang terbawa aliran air dari hulu sungai akibat gerusan baik lereng maupun dasar permukaan sungai dapat diartikan sebagai sedimentasi, Sedimen bisa

berada pada berbagai lokasi dalam aliran, tergantung dari keseimbangan antara kecepatan ke atas partikel (gaya angkat dan gaya tarik) serta kecepatan endap partikel.

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi mencakup analisis frekuensi yang dapat diterapkan pada data debit sungai maupun data hujan. Data yang digunakan bisa berupa data debit atau hujan maksimum tahunan, yaitu nilai tertinggi yang terjadi dalam satu tahun yang diukur selama beberapa tahun (Triatmodjo, 2010). Selain itu, terdapat juga analisis debit banjir, yang merupakan debit maksimum yang direncanakan untuk sungai atau saluran dengan periode ulang tertentu.

Analisis Hidrolika

Menurut Triatmojo (2013), saluran terbuka adalah saluran di mana air mengalir dengan muka air bebas, dan tekanan di seluruh titik sepanjang saluran adalah tekanan atmosfer. Saluran terbuka dibagi menjadi dua jenis berdasarkan asalnya, yaitu saluran alam (natural channels) dan saluran buatan (artificial channels). Dalam hal klasifikasi aliran, terdapat beberapa kategori berdasarkan karakteristik ruang, yaitu aliran seragam (uniform flow) dan aliran tidak seragam (non-uniform flow). Sedangkan berdasarkan karakteristik waktu, aliran dapat dibedakan menjadi aliran tetap (steady flow) dan aliran tidak tetap (unsteady flow).

Menurut Triatmojo (2013), dalam aliran melalui saluran terbuka, distribusi kecepatan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti bentuk saluran, kekasaran dinding, dan debit aliran. Kecepatan aliran tidak merata di setiap titik pada penampang melintang saluran, hal ini disebabkan oleh adanya permukaan bebas pada aliran fluida. Prinsip saluran terbuka mirip dengan saluran tertutup, yaitu kecepatan minimum terjadi pada bagian aliran yang langsung bersentuhan dengan dinding saluran. Gambar 1 di bawah ini menunjukkan distribusi kecepatan pada penampang melintang saluran dengan berbagai bentuk, yang digambarkan dengan garis kontur kecepatan.

Analisis hidrolika sungai dimaksudkan untuk memodelkan bagaimana lebar, kecepatan, dan perubahan kedalaman dengan adanya aliran debit di setiap penampang (Aristegi, Lide, dkk). Selain itu digunakan menganalisa profil muka air banjir dengan kala ulang tertentu (Syahputra, Ichsan). Perhitungan debit menggunakan rumus berikut (Riyanto, Didit Puji, dkk):

$$Q = A \times V$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Dimana:

V = Kecepatan aliran (m/s)

n = Koefisien kekasaran Manning

R = Jari-jari hidrolis

S = Kemiringan dasar saluran

A = Luas penampang (m)

P = Keliling basah (m)

Geometri Saluran

Untuk membangun geometri saluran, HEC-RAS memerlukan beberapa parameter, antara lain alur, penampang memanjang dan melintang, kekasaran dasar (koefisien Manning), serta kehilangan energi pada titik-titik perubahan penampang saluran (koefisien ekspansi dan kontraksi). Selain itu, geometri dari struktur hidraulik yang ada sepanjang saluran, seperti jembatan, pintu air, bendung, peluap, dan sebagainya, juga diperlukan (Istiarto, 2019). Dalam Akan (2006), disebutkan bahwa Chow (1959) menyediakan faktor kekasaran dasar (koefisien Manning) dalam tabel yang memuat nilai n untuk berbagai jenis bahan saluran. Tabel 1 menunjukkan nilai-nilai ini, yang secara umum sesuai dengan Chow (1959) dan Henderson (1966).

Tabel 1 Koefisien Kekasaran Manning untuk Berbagai Saluran Terbuka.

Material/ Bahan Saluran	Koefisien Manning
Beton	0.012
Dasar kerikil dengan sisi:	
a. Beton	0.02
b. Pasangan batu	0.023
c. Riprap	0.033
Saluran alami	
a. Bersih, lurus	0.03
b. Bersih, berliku	0.04
c. Berumput, berliku	0.05
d. Semak belukar dan kayu	0.100
Dataran banjir	
a. Padang rumput	0.035
b. Ladang	0.04
c. Sedikit rumput dan gulma	0.05
d. Rumput lebat	0.07
e. Pohon lebat	0.100

Groundsill

Groundsill adalah struktur ambang melintang yang dibangun di alur sungai dengan tujuan untuk mengurangi kecepatan aliran dan meningkatkan laju pengendapan di bagian hulu struktur. Menurut Sasrodarsono (1985), secara umum groundsill dibagi menjadi dua tipe, yaitu sebagai berikut:

1. Groundsill tipe ambang datar (bed gindle work) adalah bangunan groundsill yang hampir tidak memiliki terjunan, dengan elevasi mercunya hampir sejajar dengan permukaan dasar sungai. Tipe groundsill ini berfungsi untuk mencegah penurunan lebih lanjut pada permukaan dasar sungai.

2. Groundsill tipe ambang pelimpah (head work) adalah bangunan groundsill yang memiliki terjunan, sehingga elevasi permukaan dasar sungai di hulu groundsill lebih tinggi dibandingkan dengan elevasi permukaan dasar sungai di hilirnya. Tujuan dari tipe groundsill ini adalah untuk meratakan kemiringan dasar sungai.

HEC-RAS

Analisis hidrolika sungai tersebut digunakan untuk menganalisis profil hidrolika berdasarkan periode ulang tertentu dari debit banjir rencana. Tujuan dari analisis hidrolika sungai adalah untuk menganalisis profil muka air banjir dengan berbagai periode ulang dari debit banjir rencana. Model hidrolika aliran satu dimensi yang banyak digunakan saat ini adalah HEC-RAS (River Analysis System) (Piticchi dan Mozzali, 2001). HEC-RAS merupakan sebuah program yang mengintegrasikan analisis hidrolika, di mana pengguna dapat berinteraksi dengan sistem menggunakan fungsi Graphical User Interface (GUI). Program ini dikembangkan oleh Hydrologic Engineering Center (HEC). Judul dari setiap bagian (heading) ditulis dengan font Candara 14pt, kapital, dan tebal (bold). Pengaturan alignment menggunakan rata kiri (left), line spacing tunggal, dan spacing sebelum 24pt atau dua spasi. Judul bagian ditulis tanpa nomor bagian.

2. METODE PENELITIAN

Jenis dan sumber data

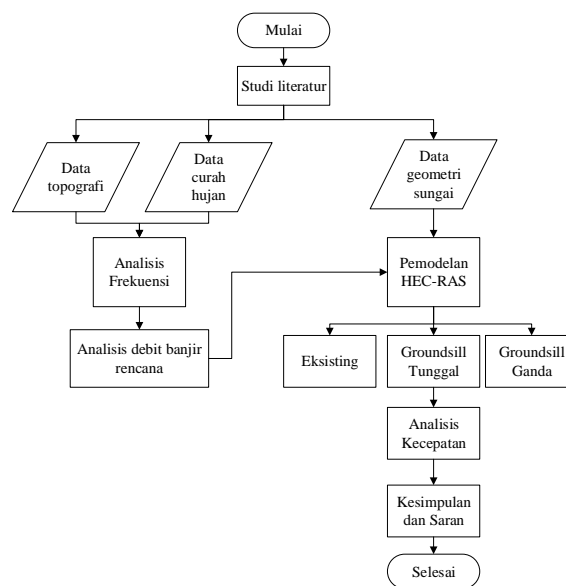
Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi peta topografi, data curah hujan, data geometri sungai dan data studi penelitian sebelumnya. Data curah hujan yang digunakan adalah Pos CH Nawangan, Pos CH Arjosari, Pos CH Kebon Agung, Pos CH Pacitan dan Pos CH Tegal Ombo selama 11 tahun mulai dari Tahun 2014-2024 yang diperoleh dari BBWS Bengawan Solo.

Tabel 2. Rekapitulasi Data Curah Hujan Tahun 2014-2024.

Tahun	HHMT (mm/jam)
2014	168
2015	122
2016	140
2017	248
2018	140
2019	125
2020	115
2021	114
2022	141
2023	72.4
2024	98.6

Tahapan analisis

1. Analisis data hidrologi (analisis kelayakan data HHMT menggunakan uji outlier, uji konsistensi dan uji trend) setelah itu dihitung curah hujan rencana yang akan digunakan sebagai dasar perhitungan debit banjir rencana.
2. Analisis hidrolika lanjutan menggunakan pendekatan perangkat lunak HEC-RAS dilakukan untuk memodelkan aliran sungai dan pola aliran pada tiga skenario, yaitu kondisi eksisting, satu Groundsill, dan dua Groundsill. Tinggi Groundsill yang digunakan adalah +1,5 m (dari dasar saluran) dengan lebar mercu 0,9 m. Dimensi Groundsill ini dapat didesain ulang sesuai dengan kebutuhan fungsi dan perubahan morfologi sungai di masa depan.
3. Pemberian rekomendasi berdasarkan keseluruhan analisis



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

1. Analisa Curah Hujan Rancangan

Analisis frekuensi data hidrologi dimana bertujuan untuk mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas/ kemungkinan. Metode yang digunakan dalam analisis frekuensi adalah distribusi Normal, Gumbel dan Log Pearson Type III dengan kala ulang sebagai berikut. Hasil berisi data analisis beserta keterangannya. Data yang telah disajikan dalam tabel atau gambar tidak perlu dituliskan lagi dalam naskah.

Tabel 3. Rekapitulasi Curah Hujan Rancangan.

No	Periode Ulang (T) (Tahun)	Debit (m ³ /dt)		
		Normal	Gumbel	Log Pearson III
1	2	108.003	102.077	101.448
3	5	138.355	133.954	133.090
4	10	154.235	155.059	154.997
5	25	171.165	181.726	183.815
6	50	182.099	201.508	206.144
7	100	191.931	221.145	229.239
8	200	200.929	240.710	253.290
9	1000	219.480	286.030	313.625
Uji Smirnov-Kolmogorof		0.195	0.158	0.136
		0.396	0.396	0.396
Uji Chi-Square		diterima	diterima	diterima
		4.909	5.818	6.727
Uji Chi-Square		5.991	5.991	5.991
		diterima	diterima	ditolak

Dari perhitungan yang telah dilakukan dengan syarat-syarat tersebut, maka dipilih distribusi dengan $C_s = 0.158$ mendekati persyaratan $C_s \neq 0$. Untuk perhitungan selanjutnya menggunakan metode Gumbel.

2. Analisa Debit Banjir Rancangan

Pendekatan debit banjir rancangan dihitung berdasarkan data hujan rancangan dengan periode kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, 100, dan 200 tahun. Metode yang digunakan diantaranya adalah Nakayasu, SCS dan ITB 1B. Data dasar yang digunakan sebagai analisa adalah data luasan daerah pengaliran sebesar 715 km² dan panjang sungai utama sebesar 70 Km.

Tabel 4. Rekapitulasi Curah Hujan Rancangan.

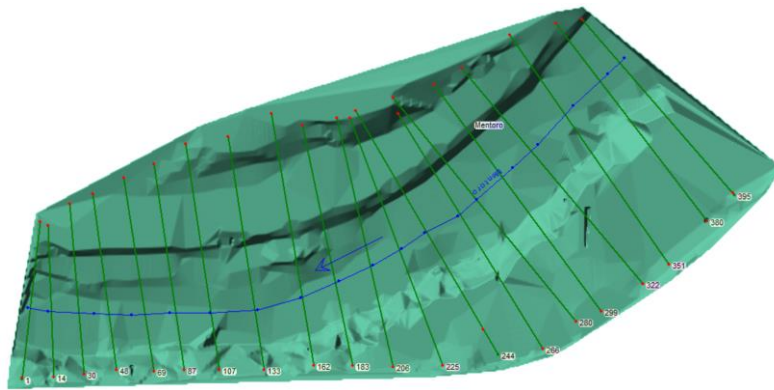
No	Kala Ulang (Tahun)	Nakayasu	SCS	ITB 1B
1	2	523.725	618.149	621.096
3	5	665.986	790.985	795.22
4	10	1123.863	1211.657	1255.025
5	25	1367.056	1480.864	1535.002
6	50	1515.292	1682.744	1744.771
7	100	1728.808	1883.134	1952.992
8	200	1908.357	2082.792	2310.650

Dari hasil perhitungan dengan metode Nakayasu, SCS dan ITB 1B dalam menghitung debit banjir rancangan, dipilih metode Nakayasu yang dapat merepresentasikan/ mendekati dengan kondisi lapangan.

Analisis Hidrolika

1. Kondisi eksisting

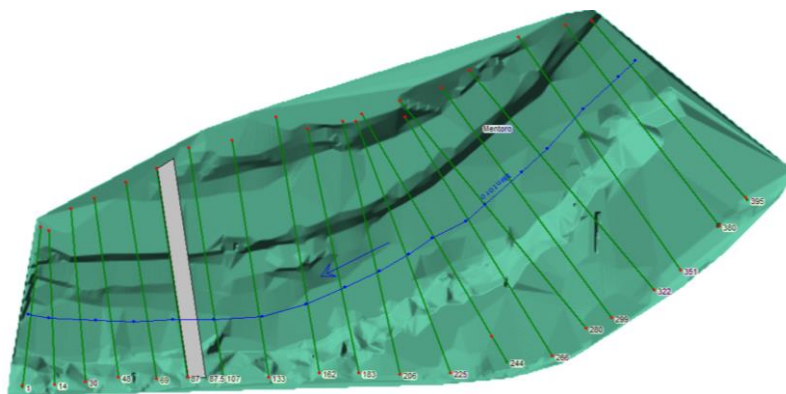
Skenario ini merupakan kondisi eksisting/ alamiah sungai dimana belum terdapat penggunaan bangunan Groundsill seperti terlihat pada Gambar 3 dibawah. Karakteristik aliran diamati dalam penelitian ini adalah menghitung Froude (Fr) dan kecepatan sebelum adanya Groundsill. Dari hasil analisis didapatkan nilai angka Froude (Fr) < 1 pada semua stasiun. Maka tipe aliran berdasarkan angka Froude (Fr) menunjukkan aliran yang sub kritis pada semua station. Sedangkan nilai kecepatan paling tinggi di kondisi ini adalah 3,95 m/s pada Sta +1.



Gambar 3. Geometri Sungai (Kondisi Eksisting).

2. Skenario 1 dengan penerapan Groundsill tunggal

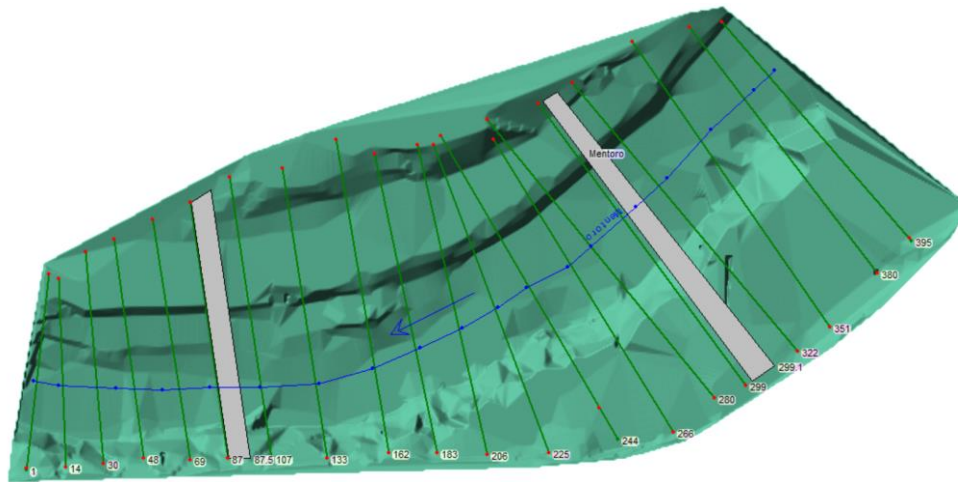
Penempatan Groundsill diletakkan pada bagian hulu dari Sta +1 dengan dimensi tinggi main dam 1,5 m. Dari hasil analisis didapatkan nilai kecepatan sebesar 1,35 m/s, sehingga apabila dibandingkan dengan kondisi eksisting nilai kecepatan di Sta +1 ini berkurang sebesar 2,6 m/s.



Gambar 4. Geometri Sungai Skenario 1 (Groundsill Tunggal)

3. Skenario 2 dengan penerapan Groundsill ganda

Skenario 2 digunakan sebagai perbandingan hasil penurunan kecepatan pada penelitian ini dengan penambahan Groundsill berseri yang diletakkan pada bagian hilir Sta +322 dengan tinggi main dam 1,5 m. Dari hasil analisis didapat hasil kecepatan pada Sta +299 sebesar 0,76 m/s dan di Sta +1 sebesar 1 m/s. Jika disandingkan dengan skenario 1 pada Sta +1 maka didapatkan penurunan nilai kecepatan dari kondisi eksisting sebesar 2,95 m/s.



Gambar 5. Geometri Sungai Skenario 2 (Groundsill Tunggal)

4. Rekapitulasi analisis

Rekapitulasi kecepatan dan angka Froude pada tiga skenario disajikan dalam Tabel 5. Dari hasil percobaan didapatkan bahwa semakin banyaknya Groundsill yang di plot pada geometri sungai maka akan semakin besar pula penurunan nilai kecepatannya. Hal ini menunjukkan adanya efektivitas bangunan Groundsill dalam memperkecil laju aliran yang ada di lokasi penelitian.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Analisis Penerapan Groundsill

River Sta	Eksisting		Skenario 1		Skenario 2	
	Kecepatan (m/s)	Froude	Kecepatan (m/s)	Froude	Kecepatan (m/s)	Froude
395	2.04	0.35	1.22	0.17	0.96	0.12
380	2.24	0.43	1.2	0.18	0.9	0.12
351	1.93	0.33	1.08	0.16	0.81	0.11
322	1.86	0.31	1.04	0.16	0.78	0.1
299	2.01	0.35	1.04	0.16	0.76	0.1
280	1.97	0.36	1	0.15	0.74	0.1
266	2.12	0.39	1.02	0.16	0.75	0.1
244	2.45	0.43	1.1	0.17	0.79	0.11
225	2.21	0.4	1.03	0.16	0.76	0.1
206	2.23	0.41	1.03	0.17	0.74	0.1

183	2.56	0.5	1.06	0.18	0.74	0.11
162	2.73	0.56	1.05	0.17	0.74	0.11
133	2.68	0.54	1.05	0.17	0.74	0.11
107	2.65	0.55	1.05	0.17	0.73	0.11
87	3.14	0.64	1.12	0.19	0.78	0.11
69	2.74	0.52	1.09	0.17	0.78	0.11
48	3.31	0.69	1.18	0.19	0.84	0.12
30	3.04	0.6	1.19	0.18	0.86	0.12
14	2.94	0.57	1.27	0.18	0.95	0.12
1	3.95	0.83	1.35	0.2	1	0.13

4. KESIMPULAN

Implementasi penambahan struktur ambang lebar atau ground sill di Sungai Grindulu bertujuan mempengaruhi perubahan geometri dan morfologi, sehingga nantinya didapatkan skenario terbaik untuk mengurangi potensi penurunan dasar permukaan sungai dan penumpukan atau pendangkalan sungai di hilir. Adapaun beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari pembahasan yang dilakukan sebagai berikut:

1. Pada kondisi eksisting didapatkan nilai angka Froude (Fr) < 1 pada semua stasiun, sehingga dapat dikategorikan dalam kondisi aliran yang sub kritis. Kemudian untuk variabel atau parameter kecepatan didapatkan nilai paling tinggi sebesar 3,95 m/s pada Sta +1.
2. Pada kondisi penambahan ground sill tunggal didapatkan nilai angka Froude (Fr) < 1 pada semua stasiun, sehingga dapat dikategorikan dalam kondisi aliran yang sub kritis. Kemudian untuk variabel atau parameter kecepatan didapatkan nilai paling tinggi sebesar 1,35 m/s pada Sta +1.
3. Pada kondisi penambahan ground sill ganda atau berseri yang diletakkan pada hilir Sta +322 dengan tinggi main dam 1,5 m, didapatkan nilai angka Froude (Fr) < 1 pada semua stasiun, sehingga dapat dikategorikan dalam kondisi aliran yang sub kritis. Kemudian untuk variabel atau parameter kecepatan didapatkan nilai paling tinggi sebesar 0,13 m/s dimana kecepatan pada Sta +299 sebesar 0,76 m/s dan di Sta +1 sebesar 1 m/s. Sehingga didapatkan penurunan nilai kecepatan dari kondisi eksisting sebesar 2,95 m/s
4. Dari ketiga skenario yang dilakukan penambahan ground sill ganda atau berseri memberikan pengaruh terbesar dalam penurunan laju aliran dimana nantinya digunakan sebagai pengontrol kecepatan serta menjaga degradasi dasar saluran sungai di hilir.

Saran

Saran yang dapat diberikan terkait pengendalian atau langkah preventif potensi bencana yang dimiliki Sungai Grindulu adalah dengan melakukan inventarisir pemanfaatan sumber daya air di Sungai Bengawan Solo baik perusahaan atau penggunaan sumber daya air sebagai media, perusahaan atau penggunaan air dan daya air sebagai materi,

pengusahaan atau penggunaan sumber air sebagai media, dan pengusahaan atau penggunaan sumber air, dan/atau daya air sebagai media dan materi. Sehingga nantinya adanya data inventaris pemanfaatan air dapat dilakukan kontrol dan evaluasi dalam penentuan kebijakan kedepannya. Kemudian perlu dilakukan koordinasi secara sinergis dengan kementerian ESDM selaku pemberi izin dari kegiatan penambangan pasir di badan sungai, agar perlu memperhatikan kaidah-kaidah pemanfaatan air di sungai sehingga tidak terjadi dampak negatif dari pemanfaatan tersebut.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan nikmatNya hingga saat ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo dan pihak terkait yang telah membantu kami dalam menyelesaikan penelitian ini. Penulis juga berterima kasih untuk diri sendiri karena sudah mau berjuang dalam menghadapi rintangan hidup.

6. DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional, "SNI 2415:2016 - Tata cara perhitungan debit banjir rencana," 2016.

Chow, Ven Te, David R Maidment, LarryW. Mays. 1988. Applied Hydrology. Singapore: McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering

Engineers, U.A. 2016. HEC-RAS River Analysis System. California: Hydrologic Engineer Center.

Gunawan, Gusta. 2017. Analisis Data Hidrologi Sungai Air Bengkulu Menggunakan Metode Statistik. Jurnal Inersia April Vol.9

Kristianto, Ayub Benny, Norken I Nyoman, Dharma I Gusti Bagus Sila. 2019. Komparasi Model Hidrograf Satuan Terukur Dengan Hidrograf Satuan Sintetis (Studi Kasus DAS Tukad Pakerisan). Jurnal Spektran Vol. 7, No. 1, Januari, Hal. 21 – 31

M.Z.S, Armain, Z, Hassan, M.A.Z, Mohd Remy Rozainy, A.N, Kamarudzaman, "Hydrodynamic Modelling of Historical Flood Event Using One Dimensional HEC-RAS in Kelantan Basin, Malaysia, "International Conference on Civil and Environmental Engineering, CENVIRON, vol. 920, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/920/1/012031.

Mutreja, K.N. (1986). Applied Hydrology. Tata Mc Graw-Hill. New Delhi.

Mustofa, Muhammad Jazuli, Kusumastuti, Dyah Indriana, Romdania, Yuda. 2015. Analisis Hidrologi dan Hidrolika pada Saluran Drainase Ramanuju Hilir Kotabumi. JRSDD. Vol. 3 No.2, Hal:303

Pangestu, Adi Daning, Sri Amini Yuni Astuti. Studi Gerusan di Hilir Bendung Kolam Olak Tipe Vlughter dengan Perlindungan Groundsill. ISSN: 0853-8557

Siswoyo, Hari. Pengembangan Model Hidrograf Satuan Sintetis Snyder Untuk Daerah Aliran Sungai di Jawa Timur. Malang: Universitas Brawijaya

Soewarno. (1995). Hidrologi - Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid II. Nova. Bandung.

Sukarno David Endro Tomici, Hendratta Liany A, Mangangka Isri R. 2019. Studi Pengalihan Alur Sungai Araren di Desa Pinasungkulan Kota Bitung. Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.7 Juli (835-846) ISSN: 2337-6732

SNI 2415 : 2016. Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Tungga, Anand Wijaya, Runi Asmaranto, Heri Suprijanto. Perencanaan Groundsill Pada Sungai Tinga-Tinga Desa Tukad Tinga-Tinga Kecamatan Gerokgak Kabupaten Buleleng Bali.

W. Environmental, : "Olmsted locks and dam; HEC-RAS; Quasi-unsteady; Sedimentation; Dredging.," pp. 410–420, 2016.

Yogafanny, Ekha. 2015. Pengaruh Aktifitas Warga di Sempadan Sungai terhadap Kualitas Air Sungai Winongo. Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan. Volume 7, Nomor 1, Januari Hal. 41-50

Zainuri, Ekhsan, Suprijanto Heri, Sisisnggih Dian. 2021. Studi Perencanaan Dinding Penahan Sebagai Upaya Pengendalian Banjir Sungai Meduri Kabupaten Pekalongan Jawa Tengah. Jurnal Teknik Pengairan, 12 (1) pp. 1-15