

Simulasi Hidrolika Sebelum dan Sesudah Normalisasi Sungai untuk Mengatasi Banjir di Area Hulu Bendung (Studi Kasus Sungai Penggaron Sebagai Hulu Bendung Pucang Gading)

Tessa Kusumaningsih¹, Slamet Imam Wahyudi², M. Faiqun Niám³

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang

Jalan Raya Kaligawe KM. 4, Kadilangu, Semarang, Jawa Tengah

¹E-mail: tessa.soemardjo29@gmail.com

Abstract — *Flooding in Semarang City remains a recurring and threatening problem. This study focuses on the Penggaron River upstream of the Pucang Gading Weir as one of the main sources of flooding. The objective of this research is to determine the river cross-sectional capacity before and after normalization. The research stages include calculating the design flood discharge using the Thiessen Polygon and Log Pearson Type III methods, as well as hydraulic modeling with HEC-RAS. The results show that the Penggaron River is unable to accommodate the Q₂ flood discharge (253.4 m³/s), indicating the need for normalization in the upstream area of the Pucang Gading Weir. The normalization efforts include dredging sediment from the riverbed and raising the river embankments. After normalization, the Penggaron River in the upstream area of the Pucang Gading Weir shows a significant reduction in water surface elevation and is capable of accommodating the Q₁₀₀ flood discharge (517.44 m³/s). The conclusion drawn from the analysis is that river normalization in the upstream section of the Pucang Gading Weir improves flood control capacity in the upper catchment area of the weir.*

Keywords: *Pucang Gading Weir; normalization; hydrology; hydraulics; HEC-RAS.*

Abstrak — *Banjir di Kota Semarang menjadi permasalahan yang terus berulang dan mengancam. Studi ini difokuskan pada Sungai Penggaron di Hulu Bendung Pucang Gading sebagai salah satu sumber utama banjir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas penampang sungai sebelum dan sesudah normalisasi. Tahapan penelitian dilakukan dengan perhitungan debit banjir rancangan dengan metode polygon thiessen dan log pearson III serta pemodelan HEC - RAS . Hasil studi menunjukkan Sungai Penggaron tidak mampu menampung debit banjir Q₂ (253.4 m³/det) sehingga perlu dilakukan normalisasi pada hulu Bendung Pucang Gading. Normalisasi yang dilakukan adalah dengan pengerukan sedimentasi pada dasar sungai dan peninggian tanggul sungai. Hasil normalisasi Sungai Penggaron di hulu Bendung Pucang Gading menunjukkan penurunan muka air yang signifikan dan dapat menampung debit banjir Q₁₀₀ (517,44 m³/det). Kesimpulan dari Analisa di atas adalah dengan dilakukannya normalisasi sungai di hulu Bendung Pucang Gading akan meningkatkan kemampuan pengendalian banjir di bagian hulu Bendung Pucang Gading.*

Kata-kata Kunci: *Bendung Pucang Gading; normalisasi, hidrologi; hidrolika, HEC-RAS.*

I. PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu wilayah geografis yang dibatasi oleh kenampakan topografi alami, seperti punggung bukit atau pegunungan, yang berfungsi sebagai pemisah antara satu sistem aliran dengan sistem lainnya. Wilayah ini memiliki peran penting dalam menampung, mengalirkan, dan mendistribusikan air hujan yang jatuh di atas permukaannya menuju sistem sungai utama, yang pada akhirnya bermuara ke badan air seperti waduk, danau, atau laut (Seyhan, 1990)

Terjadinya perubahan penggunaan lahan pada DAS dapat meningkatkan aliran permukaan (Run Off) yang signifikan. Menurut Undang – Undang No. 11 tahun 1974 tentang pengairan satu diantara cara yang dapat dilaksanakan yaitu memelihara dan / atau mengatasi penyebab

kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh air (Munfarid,2018).

Kota Semarang merupakan salah satu kota terbesar di Indonesia yang sering terjadi banjir setiap tahunnya. Sebagian besar masalah banjir terjadi di akibatkan oleh menurunnya fungsi Sungai yang ada. Sungai Penggaron menjadi salah satu Sungai yang mengalami permasalahan banjir tersebut. Sungai Penggaron terletak di 2 (dua) wilayah Kabupaten / Kota yaitu sisi kanan Sungai terletak di wilayah Kabupaten Demak dan sisi kiri Sungai terletak di wilayah Kota Semarang. Sungai Penggaron memiliki panjang sekitar 17.58 km.

Daerah hilir Sungai Penggaron merupakan daerah rawan banjir, dimana pada tahun 2023 telah terjadi dua kali banjir bandang di wilayah tersebut yang disebabkan oleh curah hujan yang tinggi

dimana penampang eksisting Sungai Penggaron tidak mampu untuk menampung dan berpotensi air limpas pada tanggul saat terjadi debit banjir yang tinggi.

Dampak dari permasalahan tersebut mengakibatkan rumah atau benda hanyut dan rusak serta menimbulkan kerugian ekonomi dan kesehatan bagi masyarakat sekitar Sungai Penggaron.

II. METODE

Studi kasus dilakukan pada Sungai Penggaron di Hulu Bendung Pucang Gading, Kecamatan Mranggen Kabupaten Demak. Proses pengumpulan data dilakukan dengan survei lokasi dan pengumpulan data pendukung dari Balai Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) Bodri Kutho dan Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pemali Juana. Adapun data yang diperlukan Adalah data curah hujan stasiun hujan Gunungpati, Jragung, Sigotek, Banyumeneng dan Pucang Gading tahun 2003 – 2022, peta rupa bumi dan geometri sungai Penggaron.

Penelitian ini dilaksanakan melalui tiga tahapan utama. Tahap pertama mencakup pengumpulan data primer dan sekunder, meliputi data curah hujan, peta topografi, serta informasi geometri sungai. Tahap kedua berfokus pada penentuan debit banjir rancangan, yang diawali dengan perhitungan curah hujan rata-rata menggunakan metode Polygon Thiessen. Selanjutnya, dilakukan analisis frekuensi hujan dengan pendekatan distribusi Log Pearson Type III untuk berbagai kala ulang (2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun), yang kemudian digunakan dalam perhitungan debit banjir rancangan menggunakan metode Gama I. Tahap ketiga melibatkan pemodelan hidraulik menggunakan perangkat lunak HEC-RAS versi 6.0 guna mengevaluasi kapasitas penampang sungai sebelum dan sesudah dilakukan normalisasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

Analisis Hidrologi dilakukan dengan maksud untuk mengetahui hujan rata-rata yang mewakili pada daerah tangkapan (*catcment area*) yang dalam studi ini terdapat 2 daerah tangkapan yaitu DAS Penggaron dan DAS Dolok, hujan rencana dan debit debit banjir rencana dengan cara

menganalisis data – data hujan harian maksimum yang didapat dari beberapa stasiun penangkar hujan disekitar wilayah tersebut. Data curah hujan dihitung dengan Metode *Polygon Thiessen* lalu didapatkan curah hujan harian maksimum dan disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2

Tabel 1 Curah hujan maksimum dengan metode *Polygon Thiessen* DAS Penggaron

No	Tahun	R max
1	2003	52,550
2	2004	139,702
3	2005	63,876
4	2006	78,254
5	2007	89,628
6	2008	77,816
7	2009	82,297
8	2010	66,058
9	2011	66,324
10	2012	29,110
11	2013	64,905
12	2014	92,743
13	2015	80,945
14	2016	102,496
15	2017	67,408
16	2018	51,090
17	2019	45,230
18	2020	59,058
19	2021	86,053
20	2022	62,624

Tabel 2 Curah hujan maksimum dengan Metode *Polygon Thiessen* DAS Dolok Hulu

No	Tahun	R max
1	2003	69,056
2	2004	179,226
3	2005	81,038
4	2006	86,618
5	2007	64,888
6	2008	74,356
7	2009	86,288
8	2010	81,712
9	2011	51,292
10	2012	71,387
11	2013	80,420
12	2014	137,924
13	2015	92,004
14	2016	125,886
15	2017	114,886
16	2018	47,503
17	2019	65,115
18	2020	48,197
19	2021	80,264
20	2022	61,509

Uji dispersi dilakukan untuk mengidentifikasi jenis distribusi statistik yang paling sesuai dalam analisis curah hujan rencana. Pengukuran pola sebaran ini bertujuan untuk menilai karakteristik data curah hujan, sehingga distribusi yang digunakan dapat mencerminkan kondisi aktual. Hasil pengujian dispersi disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4

Tabel 4. Pengukuran pola sebaran (uji dispersi) sub DAS Penggaron

No	Tahun	X	Xr	(X-Xr)	(X-Xr) ²	(X-Xr) ³	(X-Xr) ³
1	2003	53	72.91	-20.36	414.45	-8437.27	171765.54
2	2004	140	72.91	66.79	4461.44	297997.75	19904471.70
3	2005	64	72.91	-9.03	81.57	-736.77	6654.45
4	2006	78	72.91	5.35	28.58	152.77	816.69
5	2007	90	72.91	16.72	279.53	4673.53	78137.55
6	2008	78	72.91	4.91	279.53	118.20	580.11
7	2009	82	72.91	9.39	88.15	827.63	7770.44
8	2010	66	72.91	-6.85	46.93	-321.52	2202.69
9	2011	66	72.91	-6.58	43.36	-285.50	1879.93
10	2012	29	72.91	-43.80	1918.31	-84019.24	3679919.54
11	2013	65	72.91	-8.00	64.05	-512.65	4102.93
12	2014	93	72.91	19.83	875.41	7803.02	154768.84
13	2015	81	72.91	8.04	30.26	518.99	4170.73
14	2016	102	72.91	29.59	875.41	25900.88	766336.38
15	2017	67	72.91	-5.50	30.26	-166.42	915.37
16	2018	51	72.91	-21.82	476.05	-10386.74	226623.83
17	2019	45	72.91	-27.68	766.08	-21203.50	586871.88
18	2020	59	72.91	-13.85	191.82	-2656.69	36794.85
19	2021	86	72.91	13.14	172.78	2271.13	29853.07
20	2022	63	72.91	-10.28	105.76	-1087.62	11185.01
Total		1458.2		0.00	10526.60	210449.99	25675821.55

Parameter Statistik	
Jumlah Data	20
Xr	72.91 mm
Standart Deviasi (Sd)	23.54
Koefisien Variasi (Cv)	0.32
Koefisien Skewness (Cs)	0.94
Koefisien Kuintosis (CK)	2.50

Tabel 5. Pengukuran pola sebaran (uji dispersi) sub DAS Dolok Hulu

No	Tahun	X	Xr	(X-Xr)	(X-Xr) ²	(X-Xr) ³	(X-Xr) ³
1	2003	69	72.91	-20.36	414.45	-8437.27	171765.54
2	2004	179	72.91	66.79	4461.44	297997.75	19904471.70
3	2005	81	72.91	-9.03	81.57	-736.77	6654.45
4	2006	87	72.91	5.35	28.58	152.77	816.69
5	2007	65	72.91	16.72	279.53	4673.53	78137.55
6	2008	74	72.91	4.91	279.53	118.20	580.11
7	2009	86	72.91	9.39	88.15	827.63	7770.44
8	2010	82	72.91	-6.85	46.93	-321.52	2202.69
9	2011	51	72.91	-6.58	43.36	-285.50	1879.93
10	2012	71	72.91	-43.80	1918.31	-84019.24	3679919.54
11	2013	80	72.91	-8.00	64.05	-512.65	4102.93
12	2014	138	72.91	19.83	875.41	7803.02	154768.84
13	2015	92	72.91	8.04	30.26	518.99	4170.73
14	2016	126	72.91	29.59	875.41	25900.88	766336.38
15	2017	115	72.91	-5.50	30.26	-166.42	915.37
16	2018	48	72.91	-21.82	476.05	-10386.74	226623.83
17	2019	65	72.91	-27.68	766.08	-21203.50	586871.88
18	2020	48	72.91	-13.85	191.82	-2656.69	36794.85
19	2021	80	72.91	13.14	172.78	2271.13	29853.07
20	2022	62	72.91	-10.28	105.76	-1087.62	11185.01
Total		1699.6		0.00	20168.99	903618.85	96187439.75

Parameter Statistik	
Jumlah Data	20
Xr	84.98 mm
Standart Deviasi (Sd)	32.58
Koefisien Variasi (Cv)	0.38
Koefisien Skewness (Cs)	1.53
Koefisien Kuintosis (CK)	2.63

Data hasil analisis digunakan untuk menentukan jenis distribusi statistik yang paling tepat dalam perhitungan curah hujan rencana. Proses penentuan dilakukan dengan membandingkan selisih antara nilai koefisien skewness (Cs) dan kurtosis (Ck) dari data aktual terhadap nilai teoritis masing-masing distribusi. Distribusi yang memiliki selisih terkecil dianggap paling sesuai dan representatif untuk digunakan dalam analisis. Hasil evaluasi pemilihan jenis distribusi disajikan pada Tabel 6 dan Tabel 7

Tabel 6. Pemilihan jenis distribusi (sub DAS Penggaron)

Jenis Metode	Syarat	Hitungan	Keterangan
Gumbell Tipe I	Cs = 1.14	0.94	Tidak Memenuhi
	Ck = 5.4	2.5	Tidak Memenuhi
Log Pearson III	Cs ≠ 0.94	0.94	Memenuhi
	Ck = bebas	2.5	Memenuhi
Log Normal	Cs = 0±0.3	0.94	Tidak Memenuhi
	Ck = 3	2.5	Tidak Memenuhi
Normal	Cs = 0±0.3	0.94	Tidak Memenuhi
	Ck = 3	2.5	Tidak Memenuhi

Tabel 7. Pemilihan jenis distribusi (sub DAS Dolok)

Jenis Metode	Syarat	Hitungan	Keterangan
Gumbell Tipe I	Cs = 1.14	1.53	Tidak Memenuhi
	Ck = 5.4	2.63	Tidak Memenuhi
Log Pearson III	Cs ≠ 0.94	1.53	Memenuhi
	Ck = bebas	2.63	Memenuhi
Log Normal	Cs = 0±0.3	1.53	Tidak Memenuhi
	Ck = 3	2.63	Tidak Memenuhi
Normal	Cs = 0±0.3	1.53	Tidak Memenuhi
	Ck = 3	2.63	Tidak Memenuhi

Hasil dari pemilihan jenis distribusi diatas didapatkan jenis distribusi yang memenuhi syarat adalah jenis distribusi *Log Pearson Type III*.

Analisa curah hujan rencana pada daerah aliran sungai Penggaron Bendung Pucang Gading menggunakan jenis distribusi Log Pearson Type III sesuai dari hasil Analisa pemilihan jenis distribusi. Analisa curah hujan dengan distribusi Log Pearson Type III disajikan pada Tabel 9 dan Tabel 10

Tabel 9. Pengukuran pola sebaran (uji dispersi) sub DAS Penggaron

No	Tahun	LogX	LogXr	Log(X-Xr)	Log(X-Xr) ²	Log(X-Xr) ³	Log(X-Xr) ³
1	2003	1.72	1.84	-0.12	0.0145	-0.001752632	0.00021131
2	2004	2.15	1.84	0.30	0.0925	0.028111158	0.008547484
3	2005	1.81	1.84	-0.04	0.0013	-4.58929E-05	1.64309E-06
4	2006	1.89	1.84	0.05	0.0027	0.000143581	7.51846E-06
5	2007	1.95	1.84	0.11	0.0124	0.00137867	0.000153443
6	2008	1.89	1.84	0.059.39	0.0025	0.000124442	6.21285E-06
7	2009	1.92	1.84	0.07	0.0055	0.000409202	3.03797E-05
8	2010	1.82	1.84	-0.02	0.0005	-9.55618E-06	2.0279E-07
9	2011	1.82	1.84	-0.02	0.0004	-7.38648E-06	1.43852E-07
10	2012	1.46	1.84	-0.3819.83	0.1422	-0.05362699	0.020222953
11	2013	1.81	1.84	-0.03	0.0008	-2.40516E-05	6.94264E-07
12	2014	1.97	1.84	0.13	0.0159	0.002006897	0.000253144
13	2015	1.91	1.84	0.07	0.0045	0.000301359	2.02044E-05
14	2016	2.01	1.84	0.17	0.0288	0.004875097	0.00082663
15	2017	1.83	1.84	-0.01	0.0002	-1.92184E-06	2.3894E-08
16	2018	1.71	1.84	-0.13	0.0176	-0.002342545	0.000311112
17	2019	1.66	1.84	-0.19	0.0345	-0.006405245	0.001189545
18	2020	1.77	1.84	-0.07	0.0049	-0.000340969	2.38206E-05
19	2021	1.93	1.84	0.09	0.0088	0.000820608	7.68271E-05
20	2022	1.80	1.84	-0.04	0.002010526.60	-8.75275E-05	3.88621E-06
Total		36.82			0.392	-0.026	0.032

Parameter Statistik	
Jumlah Data	20
Xr	1.84 mm
Standart Deviasi (Sd)	0.14
Koefisien Variasi (Cv)	0.08
Koefisien Skewness (Cs)	-0.52
Koefisien Kuirtosis (CK)	1.86

Tabel 9. Pengukuran pola sebaran (uji dispersi) sub DAS Penggaron

No	Tahun	LogX	LogXr	Log(X-Xr)	Log(X-Xr) ²	Log(X-Xr) ³	Log(X-Xr) ⁴
1	2003	1.84	1.90	-0.06	0.0041	-0.000266001	1.71071E-05
2	2004	2.25	1.90	0.35	0.1224	0.042834796	0.014987491
3	2005	1.91	1.90	0.01	0.0000	1.38785E-07	7.18546E-10
4	2006	1.94	1.90	0.03	0.0012	3.96412E-05	1.35164E-06
5	2007	1.81	1.90	-0.09	0.0083	-0.000762169	6.96201E-05
6	2008	1.87	1.90	-0.030	0.0010	-3.3365E-05	1.07413E-06
7	2009	1.94	1.90	0.03	0.0011	3.41366E-05	1.10737E-06
8	2010	1.91	1.90	0.01	0.0001	6.75221E-07	5.92372E-09
9	2011	1.71	1.90	-0.19	0.0374	-0.007240641	0.001400778
10	2012	1.851	1.90	-0.05	0.0025	-0.000124189	6.19602E-06
11	2013	1.91	1.90	0.00	0.0000	6.37244E-09	1.18143E-11
12	2014	2.14	1.90	0.24	0.0558	0.013165528	0.00310874
13	2015	1.96	1.90	0.06	0.0036	0.000219207	1.32172E-05
14	2016	2.10	1.90	0.20	0.0386	0.00758417	0.001490084
15	2017	2.06	1.90	0.16	0.0246	0.003851743	0.000603777
16	2018	1.68	1.90	-0.23	0.0514	-0.011664943	0.002645514
17	2019	1.81	1.90	-0.09	0.0081	-0.000724923	6.51213E-05
18	2020	1.68	1.90	-0.22	0.0486	-0.010719305	0.002363499
19	2021	1.90	1.90	0.00	0.0000	1.02724E-09	1.03649E-12
20	2022	1.79	1.90	-0.11	0.01310	-0.001504031	0.000172323
Total		38.07			0.422	0.035	0.027

Parameter Statistik	
Jumlah Data	20
Xr	1.90 mm
Standart Deviasi (Sd)	0.15
Koefisien Variasi (Cv)	0.08
Koefisien Skewness (Cs)	0.61
Koefisien Kuitrosis (CK)	0.41

Data curah hujan harian maksimum rata-rata dari tahun 2003 hingga 2022 diolah untuk memperoleh nilai rata-rata dan standar deviasi. Kedua parameter ini kemudian dikombinasikan dengan karakteristik distribusi Log Pearson Tipe III, sebagaimana tercantum dalam Tabel 11, guna menghitung nilai curah hujan rencana untuk berbagai periode ulang tahunan.

Tabel 11 Nilai karakteristik Log Pearson III

Kala Ulang Tahunan	K
2	0.09
5	0.86
10	1.21
25	1.56
50	1.76
100	1.94

Nilai kala ulang yang tercantum juga digunakan sebagai dasar dalam analisis debit banjir rencana. Hasil akhir dari perhitungan curah hujan rencana ditampilkan pada Tabel 12

Tabel 12 Curah hujan daerah aliran sungai Penggaron

Kala Ulang Tahunan	Nilai Curah Hujan
2	71
5	92
10	104
25	116
50	124
100	132

Rekapitulasi hasil perhitungan debit banjir rencana yang diperoleh melalui metode Hidrograf

Satuan Unit Gama I disajikan pada Tabel 13. Tabel ini merangkum nilai debit untuk berbagai kala ulang tahunan berdasarkan karakteristik hidrologi wilayah DAS Bendung Pucang Gading

Tabel 13. Perhitungan Debit Banjir Rencana Dengan Metode Gama I

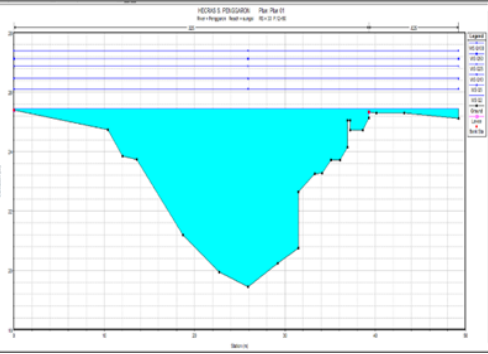
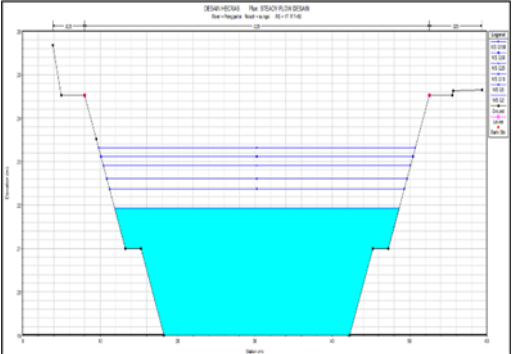
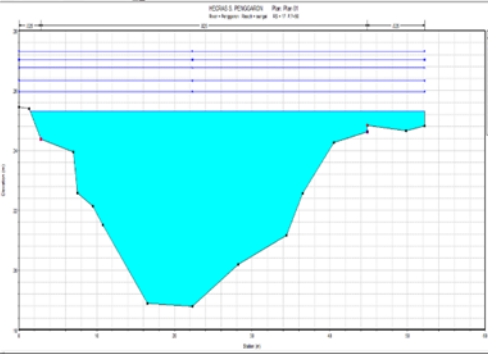
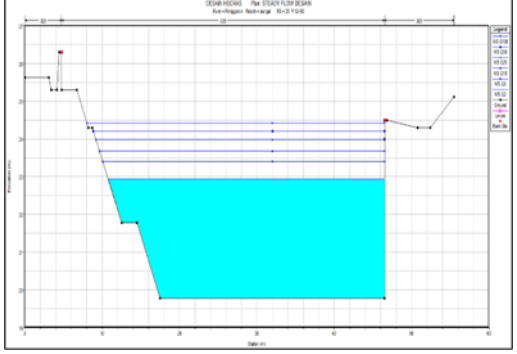
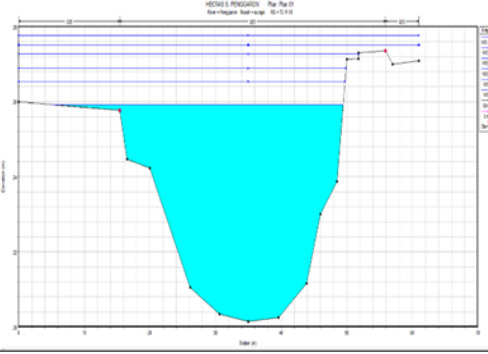
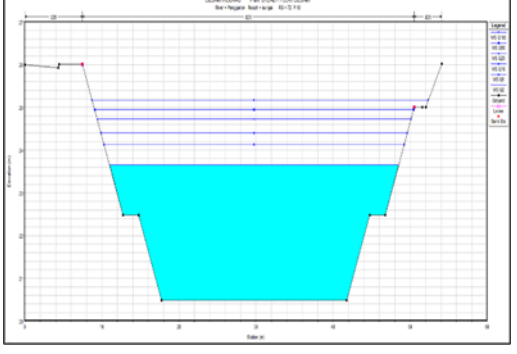
Periode Ulang	Debit Banjir Rencana (m ³ /det)
Q2	253.4
Q5	328.44
Q10	375.55
Q25	434.125
Q50	476.56
Q100	517.44

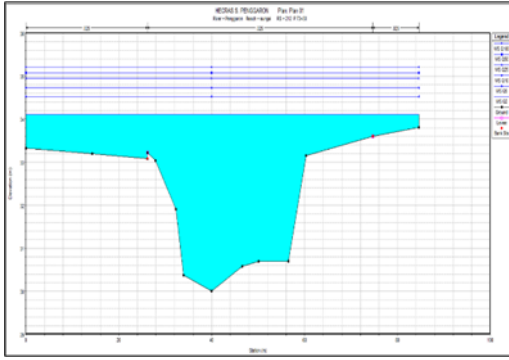
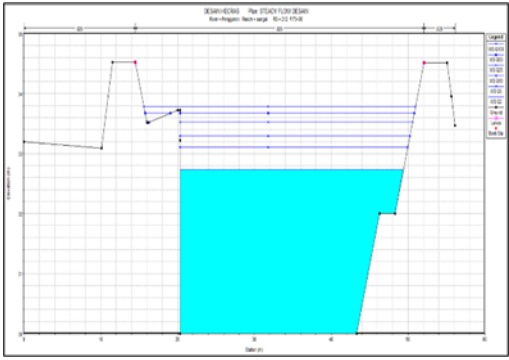
Analisis Hidrolika

Simulasi hidrolika bertujuan untuk mengetahui elevasi muka air pada penampang Sungai Penggaron terhadap Bendung Pucang Gading baik sebelum dan sesudah dilakukan normalisasi. Simulasi hidrolika dilakukan menggunakan bantuan aplikasi HEC-RAS. Simulasi hidrolika ini diawali dengan kondisi Sungai Penggaron sebelum normalisasi, dilanjutkan dengan kondisi normalisasi di hulu Bendung Pucang Gading.

Normalisasi yang dilakukan dengan melebarkan penampang sungai dan meninggikan tanggul sungai secara bertahap menggunakan aplikasi HEC – RAS. Dari hasil Analisis Hidrolika dengan menggunakan aplikasi HEC – RAS didapatkan perbandingan penampang sebelum dan sesudah normalisasi, yang disajikan dalam Tabel 14

Tabel 5 Perbandingan penampang melintang existing dan normalisasi

STA	Existing	Normalisasi
<p>P 73+30</p>	 <p> Elevasi Banjir = +34,11 Elevasi Tanggul Kiri = +33,09 Elevasi Tanggul Kanan = +33,60 </p>	 <p> Elevasi Banjir = +32,73 Elevasi Tanggul Kiri = +34,52 Elevasi Tanggul Kanan = +34,51 </p>
<p>P 18</p>	 <p> Elevasi Banjir = +25,92 Elevasi Tanggul Kiri = +25,78 Elevasi Tanggul Kanan = +27,36 </p>	 <p> Elevasi Banjir = +23,65 Elevasi Tanggul Kiri = +26,01 Elevasi Tanggul Kanan = +26,02 </p>
<p>P 12+50</p>	 <p> Elevasi Banjir = +26,11 Elevasi Tanggul Kiri = +25,44 Elevasi Tanggul Kanan = +25,33 </p>	 <p> Elevasi Banjir = +22,94 Elevasi Tanggul Kiri = +26,3 Elevasi Tanggul Kanan = +24,5 </p>

STA	Existing	Normalisasi
P 7+50	 <p>Elevasi Banjir = +25,32 Elevasi Tanggul Kiri = +24,38 Elevasi Tanggul Kanan = +24,83</p>	 <p>Elevasi Banjir = +21,93 Elevasi Tanggul Kiri = +24,52 Elevasi Tanggul Kanan = +24,52</p>

Hasil simulasi hidraulik menggunakan perangkat lunak HEC-RAS menunjukkan bahwa kondisi eksisting Sungai Penggaron di hulu Bendung Pucang Gading belum mampu menampung debit banjir Q2 sebesar 253,4 m³/detik. Oleh karena itu, dilakukan normalisasi sungai melalui pengerukan sedimentasi dasar sungai dengan lebar rata-rata 24 meter serta peninggian tanggul setinggi rata-rata 1,5 meter. Simulasi pasca-normalisasi menunjukkan penurunan muka air yang signifikan dan kapasitas sungai yang meningkat, sehingga mampu mengalirkan debit banjir hingga Q100 sebesar 517,44 m³/detik.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis hidraulik menggunakan perangkat lunak HEC-RAS, normalisasi Sungai Penggaron di hulu Bendung Pucang Gading terbukti efektif dalam menurunkan elevasi muka air banjir. Sebelum normalisasi, kapasitas sungai tidak mampu menampung debit banjir Q2 sebesar 253,4 m³/detik. Namun, setelah dilakukan pengerukan dasar sungai dan peninggian tanggul, kapasitas tampungan meningkat secara signifikan, sehingga mampu mengalirkan debit hingga Q100 sebesar 517,44 m³/detik. Temuan ini menunjukkan peningkatan efektivitas pengendalian banjir di wilayah hulu Bendung Pucang Gading.

DAFTAR PUSTAKA

Aprikaliana, D. E. (2021). *Kajian teknis hidrolis & kondisi eksisting Kali Babon Semarang*.

Choirul, D., Kusuma, R. F., Wahyuni, S. E., & Darsono, S. (2015). Pengendalian banjir DAS Dolok-Penggaron pada Sungai Babon. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4(4), 242–249. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>

Civil Engineering, & Sciej, J. (2021). *Sultra*, 2(2), 81–89.*

Mulyanto, H. R. (2018). *Sungai: Fungsi dan sifat-sifatnya*. Jakarta: Mobius.

Harto, S. B. R. (1996). *Analisis hidrologi*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa UGM.

Imanullah, H. R. (2021). Studi perencanaan normalisasi Sungai Babakan Kabupaten Brebes. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Pancasakti Tegal*, 1(1), 23–31.*

Istiarto. (2007). *Pelatihan software HEC-RAS*. Yogyakarta: Laboratorium Komputasi Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, FT UGM.

Joice, M. W., & Adhidarma, W. (1992). *Mengenal dasar-dasar hidrologi*. Bandung: Nova.

Karim, D. A., & Arsadani, R. (2022). Normalisasi Sungai Blorong guna menanggulangi banjir di Kabupaten Kendal. *JTI (Jurnal Teknik Indonesia)*, 3(1), 0–8. <https://ejournal.undaris.ac.id/index.php/jei/article/view/361>

Kodoatie, R. J., & Sugiyanto. (2001). *Banjir*. Semarang: Pustaka Pelajar.

Loebis, J. (1987). *Banjir rencana untuk bangunan air*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.

Mananoma, T. (2003). Fenomena alamiah erosi dan sedimentasi Sungai Progo Hilir. *Jurnal Teknik Sipil*, 1–10.

Mawardi, E., & Memed, M. (2006). *Desain hidraulik bendung tetap untuk irigasi teknis*. Bandung: Alfabeta.

Munfarid, S., Sisinggih, D., & Priyantoro, D. (n.d.). Studi penanggulangan banjir Sungai Serang Welahan Drainase (SWD) 2 di Kabupaten Kudus dan Jepara Provinsi Jawa Tengah.

Muntolib, D. (2006). *Evaluasi operasi pintu pengendali banjir Pucang Gading*. 1–76.

Prabawanti, N., Harsanti, W., & ... (2022). Perencanaan normalisasi sungai dan tanggul pengendali banjir Kali Pancir Kabupaten Jombang. *Jurnal Online Skripsi*, 3, 261–266. <http://jurnal.polinema.ac.id/index.php/jos-mrk/article/view/1118>

Ritaka Wangsa, A. A. R., Pradnyadari, N. L. M. A. M., & Ramadhana, M. A. (2021). Analisis kapasitas saluran pada proyek normalisasi sungai di Desa Adat Peminge Banjar Sawangan Nusa Dua Bali. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 10(2), 86–96. <https://doi.org/10.36733/jikt.v10i2.3005>

Saputra, A. B., & Nusantara, D. A. D. (2021). Kajian normalisasi terhadap kapasitas Sungai Gude Desa Pulolor berbasis HEC-RAS. *Jurnal Teknik Sipil*, 2(1), 17–22. <https://doi.org/10.31284/j.jts.2021.v2i1.1766>

Seyhan, E. (1990). *Dasar-dasar hidrologi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Soemarto, S. D. (1987). *Hidrologi teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi: Aplikasi metode statistik untuk analisa data*. Bandung: Nova.
- Solon, T. H., Sela, R. L. E., & Warouw, F. (2023). Dampak normalisasi Sungai Tondano terhadap kondisi lingkungan, sosial dan ekonomi masyarakat Kota Manado. *Sabua: Jurnal Lingkungan Binaan dan Arsitektur*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.35793/sabua.v12i1.48808>
- Sukmajati, E. I., Kusuma, M. S. B., Hatmoko, W., Farid, M., & Natasaputra, S. (2022). Kajian model matematik efektivitas normalisasi sungai terhadap penurunan risiko banjir: Studi kasus Sungai Tikala Kota Manado. *Jurnal Teknik Sipil*, 28(3), 301–308. <https://doi.org/10.5614/jts.2021.28.3.7>
- Suripin. (2004). *Buku ajar hidrolika*. Semarang: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Susetyo, W. A., Hendrasari, R. S., & Utomo, P. (2016). Pengendalian banjir Sungai Babon Kota Semarang, Jawa Tengah. *Jurnal Teknik Sipil*, 4–6.
- Teoritis, J., Bidang, T., Ketekniksipilan, R., Lingkungan, D., Pengendalian Banjir, S., Penggaron, S., Semarang, K., Devi, Y. L., Nur Trilita, M., & Handajani, N. (2023). Penggaron River flood study in Semarang Regency. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 4(230), 210–224.
- Triatmodjo, B. (2013). *Hidrologi terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wahyu, S. E. (2013). *Buku ajar kuliah hidrologi*. Semarang: Universitas Diponegoro.