

STUDI PERENCANAAN TANGGUL BANJIR DI SUNGAI BENGAWAN SOLO PADA RUAS KOTA SURAKARTA, JAWA TENGAH

Bayu Dwipayogo¹, Dian Sisingsih², Dwi Priyantoro²

¹)Mahasiswa Program Sarjana Teknik Pengairan Universitas Brawijaya

²)Dosen Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Teknik Pengairan Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur, Indonesia
Jalan MT. Haryono 167 Malang 65145, Indonesia
e-mail: bayu.dwipayogo@yahoo.com

ABSTRAK : Dengan sering terjadinya banjir pada sungai Bengawan Solo di Surakarta, dengan rata-rata ketinggian 0,3-1 m yang dikarenakan semakin memburuknya hulu sungai Bengawan Solo dan cepatnya pertumbuhan penduduk yang terjadi pada daerah bantaran sungai yang mengakibatkan tidak mampunya sungai untuk mengalirkan debit yang lewat. Maka harus dilakukan pengendalian banjir. Dalam kajian ini menggunakan dinding penahan tanah yang direncanakan untuk debit kala ulang Q_{25th} , dengan menggunakan Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu. Yang ditambah dengan adanya pengaruh outflow dari waduk Wonogiri yang berada di hulu dari kota Surakarta lalu menggunakan bantuan program *HEC-RAS* untuk mengetahui analisis hidrolika pada kondisi eksisting dengan Q_{25th} yang telah dihitung. Dari hasil perhitungan didapatkan debit sebesar 2435,327 m³/dt yang mengakibatkan terjadinya limpasan yang paling besar adalah setinggi 8,586 m.

Kata Kunci: Dinding Penahan, Banjir, Tanggul Banjir, *HEC-RAS*.

ABSTRACT : Bengawan Solo river in Surakarta has a frequent flooding with an average height of 0.3-1 m. This happened by reason of the deteriorating of upstream condition and the rapid growth of the population occurring in the river banks which resulted in the inability of the river to flow passing discharge . Therefore, it is necessary to do flood control such as a retaining wall. This study uses a retaining wall planned for 25 years return period by Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph. In addition, this study also analyzes the influence of outflow from Wonogiri reservoir where is in the upstream of Surakarta city, then using *HEC-RAS* program to know hydraulics analysis on existing condition with 25 years return period which has been calculated. The calculation obtained the discharge of 2435,327 m³ / s, and it resulted the largest runoff is as high as 8.586 m.

Keywords: Retaining Wall, Flood, Flood levee, *HEC-RAS*.

PENDAHULUAN

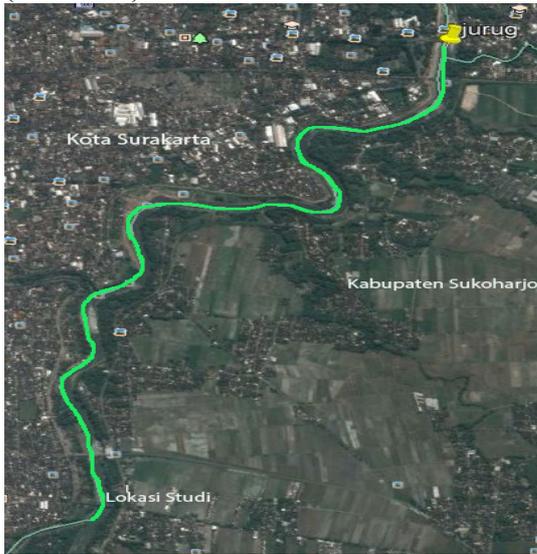
Air memang dibutuhkan oleh banyak orang, tetapi air juga bisa membuat bencana seperti banjir. Banjir bisa disebabkan karena perubahan lahan yang seharusnya sebagai tempat menyerap air tetapi dikarenakan hutan yang gundul atau perubahan lahan.

Beberapa tahun terakhir ini debit banjir di Bengawan Solo mengalami peningkatan dan kapasitas sungai sudah tidak mencukupi, sehingga mengakibatkan banjir dengan genangan dengan kisaran ketinggian 30-100 cm pada pemukiman penduduk yang berlokasi di kecamatan Jebres dan Kecamatan Pasar Kliwon.

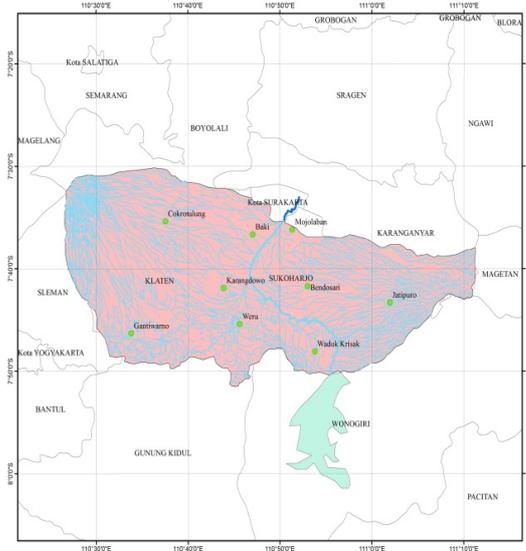
Berdasarkan uraian di atas, maka harus dilakukan penanggulangan banjir untuk kota Solo. Yang pada kasus ini menggunakan tanggul banjir dengan jenis Dinding Penahan Tanah. Dengan menambah tanggul maka menambah pula kapasitas tampungan sungai Bengawan Solo di Kota Surakarta.

Kota Surakarta yang juga dikenal sebagai Kota Solo, merupakan sebuah dataran rendah yang terletak di cekungan lereng pegunungan Laqu dan pegunungan Merapi. Dengan luas sekitar 44 km², Kota Surakarta terletak diantara 110° 45' 15"-110° 45' 35" Bujur Timur dan 70° 36"-70° 56"

Lintang Selatan.(Gambar 1). Peta Daerah Tangkapan Sungai (DTS) Bengawan Solo. (Gambar 2)



Gambar 1. Lokasi Studi
Sumber: Google Earth (2018)



Gambar 2. Peta Daerah tangkapan Sungai Bengawan Solo

Sumber: Hasil Analisa *Arc-Gis* (2018)

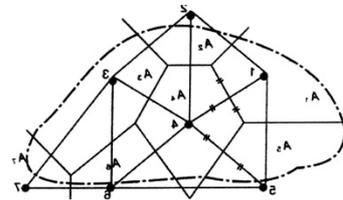
Data – Data Penelitian

Data Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan serta peta Stasiun Hujan, meliputi 6 stasiun hujan (Jatipuro, Baki, Mojolaban, Bendosari, Weru, Waduk Krisak, Cokrotulung, Karangdowo, Gantiwarno) dengan 25 tahun (1995-2014) yang didapat dari Balai Besar Wilayah Bengawan Solo.

Peta Topografi yang didapat dari Bakosurtanal. Data Karakteristik Sungai yang didapat dari Balai Besar Wilayah Sungai Citarum. Data Mekanika Tanah yang didapat dari PT. Citraha Consindotama

Analisis Data Curah Hujan Rerata Daerah dengan Metode *Polygon-Thiessen*

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rencana pemanfaatn air dan rencana pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah (*area rainfall*), bukan curah hujan pada suatu titik tertentu (*point rainfall*). Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/daerah dan dinyatakan dalam mm (Sosrodarsono, 1993, p.27)



Gambar 3. Metode *Polygon-Thiessen*
Sumber: Sosrodarsono, 2003

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (1)$$

Dengan:

\bar{R} = curah hujan daerah

R_1, R_2, \dots, R_n = curah hujan di tiap titik pengamatan dan n adalah jumlah titik pengamatan

A_1, A_2, \dots, A_n = bagian daerah yang mewakili tiap titik pengamatan

Curah hujan maksimum daerah tahunan tiap stasiun didapat dari hasil perkalian prosentase luas daerah dengan curah hujan (Sosrodarsono, 2003,p.28)

$$d = p_1 \cdot d_1 + p_2 \cdot d_2 + \dots + p_n \cdot d_n \quad (2)$$

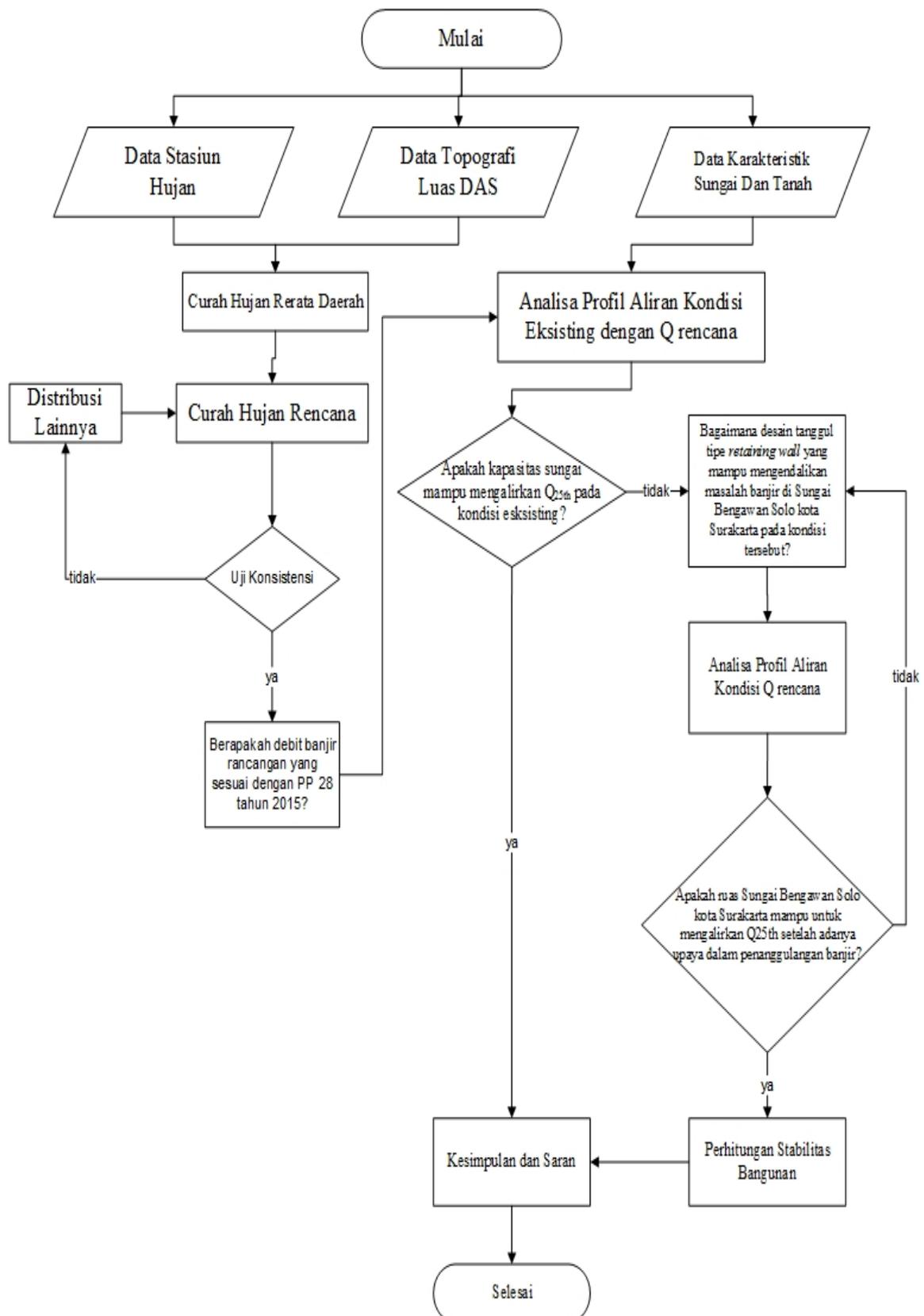
Dengan:

d = Curah hujan maksimum daerah

P_n = Koefisien *Thiessen*

D_n = Tinggi hujan yang diukur di staisun stasiun pengukuran

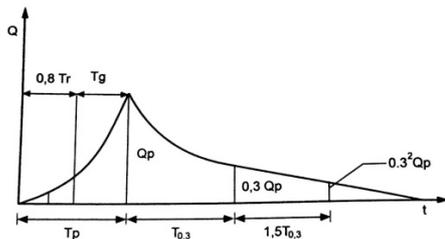
Langkah – Langkah Studi



Gambar 4. Diagram alir perencanaan dinding penahan tanah

Debit Banjir Rancangan

Debit banjir rancangan adalah debit maksimum yang mungkin terjadi pada suatu daerah dengan peluang kejadian tertentu. Untuk menaksir banjir rancangan digunakan hidrograf sintetis yang telah dikembangkan di negara-negara lain, dimana parameter-parameternya disesuaikan terlebih dulu dengan karakteristik daerah pengaliran yang ditinjau. Adapun parameter dan karakteristik daerah pengaliran meliputi (Soemarto, CD, 1987 : 164). Pada kajian ini debit banjir dihitung dengan menggunakan metode hidrograf satuan sintetis Nakayasu



Gambar 5. Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

Sumber: Triatmodjo, 2008

Analisa Profil Aliran Menggunakan HEC-RAS

Elevasi muka air pada sungai perlu dianalisis untuk mengetahui sisi mana yang terjadi luapan dan hambatan pada alur sungai, sehingga dapat ditentukan dimensi dari perbaikan sungai. Analisa Hidrolika pada studi ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS 5.0, perangkat lunak ini merupakan salah satu program yang digunakan untuk menentukan profil aliran sungai berdasarkan debit rancangan dengan periode ulang tertentu atau yang direncanakan. HEC-RAS adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh Bill S. Eichert dari The Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers.

Perencanaan Dinding Penahan Tanah

Tanggul disepanjang sungai adalah salah satu bangunan yang paling utama dan paling penting dalam usaha melindungi masyarakat dari genangan-genangan yang disebabkan oleh banjir. Tanggul dibangun dengan konstruksi menerus yang sangat panjang serta membutuhkan bahan urugan yang volumenya sangat besar.

Pada daerah yang memiliki pemukiman padat, disamping tanggul pasangan biasanya juga dapat dibuang pula tanggul tembok/parapet. Tanggul ini dapat terbuat dari beton biasa atau beton bertulang. Adapun konstruksinya pada bagian bawah hingga mencapai elevasi banjir rencana dibuat dari urugan biasa, sedangkan pada tinggi jagaan dibuat dari tembok. Bentuk dinding penahan harus sedemikian hingga resultan gaya-gaya terletak pada bagian tengah sejarak sepertiga lebar atau $e < B/6$ (e = eksentrisitas dihitung dari pusat fondasi).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Hidrologi

Stasiun hujan hanya memberikan kedalaman hujan titik dimana stasiun tersebut berada, sehingga hujan pada suatu luasan harus di perkirakan dari titik pengukuran tersebut. Dalam analisa hidrologi sering diperlukan untuk menentukan hujan rerata pada daerah tersebut, pada penelitian ini akan menggunakan dua metode, yaitu Metode Rerata Aritmatik dan Metode *Polygon-Thiessen*.

Tabel 1. Hasil perhitungan koefisien *Thiessen*

Stasiun Hujan	Luas (Km ²)	Kr
Jatipuro	346.312	0.173
Baki	150.379	0.075
Mojolaban	59.980	0.030
Bendosari	185.638	0.092
Weru	184.456	0.092
Waduk Krisak	149.997	0.075
Cokrotulung	459.000	0.229
Karangdowo	170.412	0.085
Gantiwarno	300.792	0.150
Jumlah	2006.965	1

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Berikut adalah hasil analisa peta curah hujan rerata daerah menggunakan metode *Polygon-Thiessen* dengan bantuan program aplikasi *Arc-Gis*.

maksimal 306,250 m³/dt dari data 2007-2016:

Dari hasil perhitungan maka didapatkan Q₂₀ sampai dengan Q₂₀₀ untuk outflow rata-rata dari waduk wonogiri sebesar Q₂₀ = 2016,475 m³/dt, Q₂₅ = 2171,028 m³/dt, Q₅₀ =

2284,080 m³/dt, Q₁₀₀ = 2396,015 m³/dt, Q₂₀₀ = 2507,665 m³/dt dan untuk outflow maksimal dari waduk wonogiri sebesar Q₂₀ = 2280,774 m³/dt, Q₂₅ = 2435,327 m³/dt, Q₅₀ = 2548,379 m³/dt, Q₁₀₀ = 2660,314, dan Q₂₀₀ 2771,963 m³/dt.

Perencanaan Dinding Penahan

Dinding penahan direncanakan dengan tujuan untuk menahan tanah dari bahaya longsor. Tekanan tanah yang dialami oleh bangunan berupa tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif. Dimana koefisien tekanan tanah aktif dan pasif dihitung menggunakan persamaan berikut:

Tekanan tanah aktif:

$$\phi = 11.31^\circ$$

$$\beta = 0,00^\circ$$

$$\theta = 0^\circ$$

$$k_h = 0,1$$

$$k_v = 1/3. K_h = 0.033$$

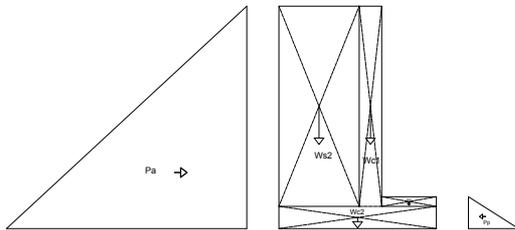
$$\Psi = \tan^{-1}(k_h / 1 - k_v) = 1.404$$

$$K_a = 0,672$$

$$K_{ae} = 0,693$$

$$K_p = 0,981$$

$$K_{pe} = 1,457$$



Gambar 7. Stabilitas Bangunan Pertama Kondisi Kosong Normal

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Tabel 6. Rekapitulasi Stabilitas Dinding Penahan Bangunan Pertama

Kondisi	FS Guling	FS Geser
Kosong Normal	2.202	0.703
Kosong Gempa	2.809	0.871
Penuh Normal	1.454	0.633
Penuh Gempa	7.029	1.278
Rapid Drawdown Normal	1.945	0.428
Rapid Drawdown Gempa	2.615	0.526

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Tabel 7. Rekapitulasi Stabilitas Dinding Penahan Bangunan Kedua

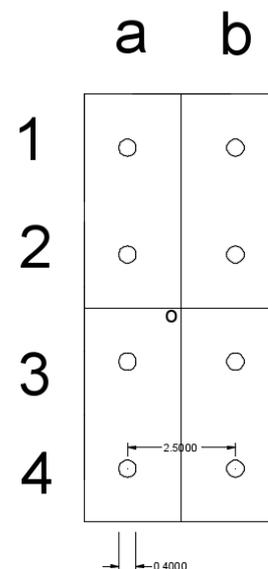
Kondisi	FS Guling	FS Geser
Kosong Normal	104.269	10.947
Kosong Gempa	10.131	2.133
Penuh Normal	2.707	0.517
Penuh Gempa	3.464	1.304
Rapid Drawdown Normal	369.047	34.469
Rapid Drawdown Gempa	13.496	3.107

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Perhitungan Pondasi Tiang Pancang

Kemampuan tiang dapat dianalisis dengan memperhatikan kekuatan bahan tiang. Untuk mengetahui kekuatan yang diijinkan pada tiap tiang perlu mengetahui tegangan tekan pada bahan tiang dan luas penampang tiang. Adapun perhitungan kekuatan bahan tiang dijabarkan sebagai berikut (sesuai spesifikasi yang dikeluarkan oleh Wikabeton):

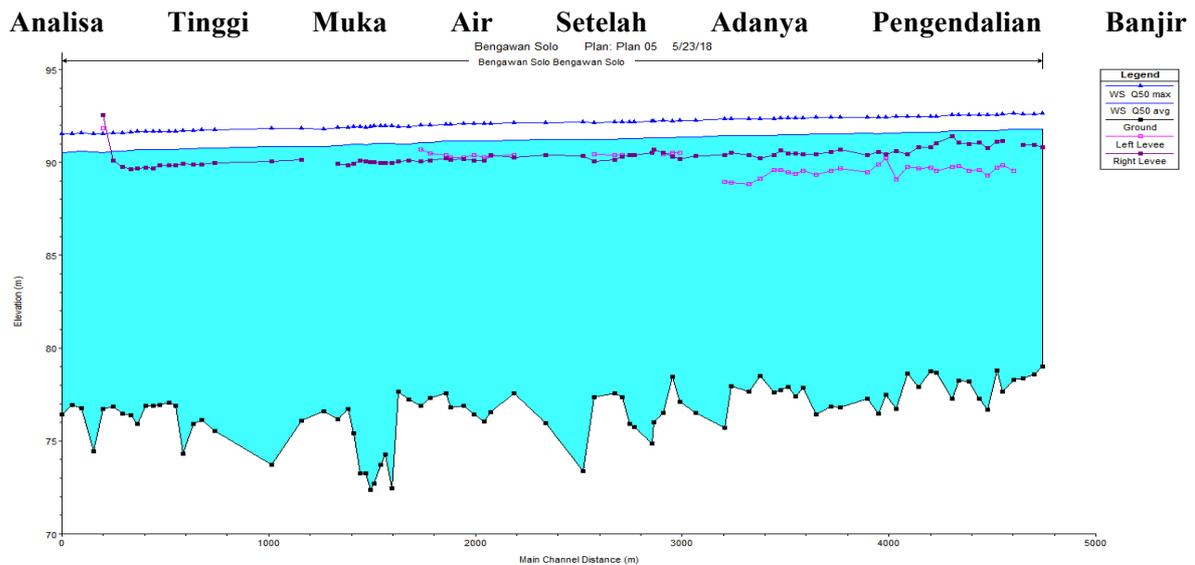
Ukuran tiang = 400 mm (diameter)
 Berat (Wp) = 191 kg.m
 F'c = 52 MPa
 P tiang = 114,40 ton
 Kedalaman = 6 meter (bangunan pertama) dan 11 meter (bangunan kedua)



Gambar 8. Desain kelompok tiang

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Untuk mengetahui apakah tiang bor yang telah didesain dapat menerima beban



Gambar 6. Tinggi limpasan pada potongan *Long Section* Kondisi Eksisting

Sumber: Analisa HEC-RAS, 2018

sesuai dengan beban maka dilakukan analisis mengenai perhitungan.

$$\Sigma V = 44,671 \text{ ton (1 meter panjang)}$$

$$= 446,712 \text{ ton (10 meter panjang)}$$

$$e' = 0,122$$

$$M_y = \Sigma V * e' = 446,712 * 0,122 = 50,251 \text{ ton.m}$$

$$n = 8 \text{ buah}$$

$$n_y = 4$$

$$n_x = 2$$

$$X_{max} = 1,25 \text{ m}$$

$$Y_{max} = 3,75 \text{ m}$$

Jumlah kwadrat absis-absis tiang pancang:

$$\Sigma x^2 = 10 \cdot 2 \cdot 1,25^2 = 31,250 \text{ m}^2$$

$$\Sigma Y^2 = 2,5 \cdot 2 \cdot 3,75^2 + 2,5 \cdot 2 \cdot 1,25^2 = 78,125 \text{ m}^2$$

Beban yang diterima tiap tiang maksimum adalah:

$$P_{max} = \frac{\Sigma V}{n} + \frac{M_y \cdot X_{max}}{n_y \cdot \Sigma x^2} + \frac{M_x \cdot Y_{max}}{n_x \cdot \Sigma y^2} = 57,547 \text{ ton}$$

Tabel 8. Pembagian tekanan pada kelompok tiang

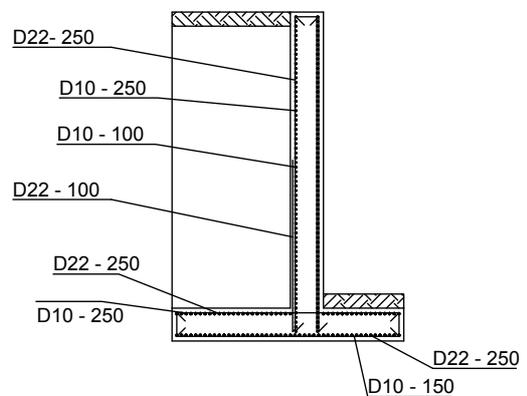
Tiang	Jarak	a	b
1	3.75	56.542	57.548
2	1.25	55.738	56.743
3	-1.25	54.934	55.939
4	-3.75	54.130	55.135

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Syarat, $P_{max} < P_{tiang} = 57,548 < 114,40$ OK

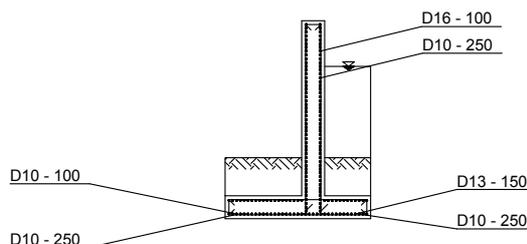
Analisa Beton Bertulang

Dinding penahan pada studi ini direncanakan menggunakan tipe *Cantilever Wall* dengan mutu beton $f'c = 25 \text{ Mpa}$, tebal selimut beton 100 mm, untuk mutu baja digunakan $f_y = 400 \text{ MPa}$



Gambar 9. Penulangan Bangunan Pertama

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018



Gambar 10. Penulangan Bangunan Kedua

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Untuk hasil analisa dinding penahan disajikan pada tabel 9 dan 10.

Tabel 9. Rekapitulasi Penulangan Bangunan Pertama

Potongan a-a	Kondisi	Mu (kN/m)	Tulangan (mm)		
			Dutama	Jarak	Dbagi
	Penuh Normal	199.80	13	100	10
	penuh Gempa	113.91	10	150	10
	Kosong Normal	685.44	22	100	10
	Kosong Gempa	683.62	22	100	10
	Rapid drawdown normal	268.54	16	150	10
	Rapid drawdown gempa	342.54	16	100	10

Potongan b-b	Kondisi	Mu (kN/m)	Tulangan (mm)		
			Dutama	Jarak	Dbagi
	Penuh Normal	76.18	10	200	10
	penuh Gempa	460.55	19	100	10
	Kosong Normal	263.16	13	100	10
	Kosong Gempa	175.95	13	150	10
	Rapid drawdown normal	263.21	13	100	10
	Rapid drawdown gempa	175.92	13	150	10

Potongan c-c	Kondisi	Mu (kN/m)	Tulangan (mm)		
			Dutama	Jarak	Dbagi
	Penuh Normal	159.48	13	150	10
	penuh Gempa	113.94	13	200	10
	Kosong Normal	379.75	16	100	10
	Kosong Gempa	116.55	13	200	10
	Rapid drawdown normal	88.75	10	200	10
	Rapid drawdown gempa	149.96	13	150	10

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Tabel 10. Rekapitulasi Penulangan Bangunan Kedua

Potongan a-a	Kondisi	Mu (kNm)	Dutama	Tulangan (mm)	
				Jarak	Dbagi
	Penuh Normal	277.75	16	100	10
	penuh Gempa	14.90	10	250	10
	Kosong Normal	100.91	13	200	10
	Kosong Gempa	5.55	10	250	10
	Rapid drawdown normal	116.06	13	200	10
	Rapid drawdown gempa	3.33	10	250	10

Potongan b-b	Kondisi	Mu (kNm)	Dutama	Tulangan (mm)	
				Jarak	Dbagi
	Penuh Normal	25.09	10	250	10
	penuh Gempa	8.83	10	250	10
	Kosong Normal	27.49	10	100	10
	Kosong Gempa	33.82	10	150	10
	Rapid drawdown normal	17.96	13	150	10
	Rapid drawdown gempa	37.52	10	100	10

Potongan c-c	Kondisi	Mu (kNm)	Dutama	Tulangan (mm)	
				Jarak	Dbagi
	Penuh Normal	7.81	10	250	10
	penuh Gempa	1.29	10	250	10
	Kosong Normal	57.10	10	200	10
	Kosong Gempa	82.79	10	100	10
	Rapid drawdown normal	20.19	10	250	10
	Rapid drawdown gempa	69.23	10	100	10

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Debit banjir yang sesuai dengan PP 28 tahun 2015 adalah kala ulang 25 tahun dengan outflow maksimum yang didapatkan dari waduk wonogiri didapatkan debit sebesar 2435,327 m³/dt
2. Pada kondisi eksisting dengan menggunakan kala ulang 25 tahun, penampang-penampang sungai tidak dapat menampung luapan debit banjir dari patok 625-710, dengan limpasan paling besar adalah setinggi 8,586m.
3. Tanggul banjir yang di rencanakan adalah dinding penahan tanah (*retaining*

wall) pada patok 661 dengan tinggi bangunan 6 m dan 3,6 m. Yang memiliki angka keamanan guling dan geser pada bangunan pertama (dibawah) :

- Kondisi Kosong : 2,202 (guling), 0,703 (geser)
 - Kondisi Kosong Gempa : 2,809 (guling), 0,871 (geser)
 - Kondisi Penuh : 1,454 (guling), 0,633 (geser)
 - Kondisi Penuh Gempa : 7,029 (guling), 1,278 (geser)
 - Kondisi Rapid Drawdown : 1,945 (guling), 0,428 (geser)
 - Kondisi Rapid Drawdown Gempa : 2,615 (guling), 0,526 (geser)
- Dan angka keamanan pada bangunan kedua (diatas):
- Kondisi Kosong : 104,269 (guling), 10,947 (geser)
 - Kondisi Kosong Gempa : 10,131 (guling), 2,133 (geser)
 - Kondisi Penuh : 2,707 (guling), 0,517 (geser)
 - Kondisi Penuh Gempa : 3,464 (guling), 20,263 (geser)
 - Kondisi Rapid Drawdown : 369,047 (guling), 34,469 (geser)
 - Kondisi Rapid Drawdown Gempa : 13,496 (guling), 3,107 (geser)

Yang memiliki tulangan D25 - 100 mm dan Dbagi 10 - 250 mm untuk bangunan pertama (dibawah), serta tulangan D16 - 100 mm dan Dbagi 10 - 250 mm untuk bangunan kedua (diatas). Dikarenakan tidak mampunya menahan stabilitas geser maka di tambahkan tiang pancang sedalam 6 m untuk bangunan pertama dan 11 m pada bangunan kedua.

4. Setelah adanya upaya penanggulangan banjir tidak terjadi lagi adanya limpasan pada patok 625-710.

DAFTAR PUSTAKA

- Hadisusanto, Nugroho. 2010. *Aplikasi Hidrologi*. Malang : Jogja Mediautama
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2014. *Analisis dan Perencanaan Fondasi 1*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Istiarto. 2012. *Diktat Kuliah Teknik Sungai*. Yogyakarta: Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gajah Mada
- Istiarto. 2012. *Modul Pelatihan – Simulasi Aliran 1 Dimensi dengan Bantuan Program Hidrodinamika HEC-RAS*. Yogyakarta: Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gajah Mada..
- Limantara, Lily M. 2009. *Hidrologi Teknik Terapan*. Malang: CV Citra
- Sastrodiharjo, Siswoko. 2012. *Upaya Mengatasi Masalah Banjir Secara Menyeluruh*. Jakarta : PT. Mediatama Saptakarya
- Soemarto, CD. 1987. *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional
- Soewarno. 1995. *Hidrologi – Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid 1*. Bandung: Nova.
- Sosrodarsono, Suyono dan K. Takeda. 1985. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Sosrodarsono, Suyono dan K. Takeda. 2003. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Sosrodarsono, Suyono dan K. Takeda. 1977. *Bendungan Tipe Urugan*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Sosrodarsono, Suyono dan M. Tominaga. 1984. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.