

Tinjauan Ulang Desain Bendung Pleret terhadap Pengambilan Air Irigasi Saluran Induk Progomanggis Magelang

S. Sudarno

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar,
Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Magelang Utara, Magelang, Jawa Tengah 56116
E-mail : sudarno69@ymail.com

Yudhana Priambodo Rahman

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar,
Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Magelang Utara, Magelang, Jawa Tengah 56116
E-mail : sudarno69@ymail.com

Abstrak

Bendung Pleret merupakan salah satu induk Saluran Progomanggis untuk keperluan irigasi Warga Magelang dan sekitarnya. Berdasarkan data dari Kantor PSDA Secang Magelang, bahwa Bendung Pleret mengalami penurunan dalam mensuplai air ke Saluran Manggis. Tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan solusi kepada Dinas Pengairan setempat untuk dapat memperbaiki kinerja saluran Irigasi Manggis dengan cara meninggikan mercu Bendung Pleret dan menurunkan hulu sungai. Berdasarkan hasil perhitungan di lapangan yang mengacu pada data-data Balai PSDA Secang, Kabupaten Magelang, air yang mengalir hanya memiliki debit 2,91 m³/detik dari batas minimum 3 m³/detik. Perhitungan terhadap guling dan geser pada saat air normal dan air banjir dinyatakan aman. Akan tetapi elevasi mercu bendung hanya 1,2 dari ketinggian hulu sungai dan tinggi mercu 3 m. Ketika mencapai maksimum tinggi muka air banjir hanya 2,06 m, sehingga pintu pengambilan kurang bekerja maksimal dan air yang masuk ke pengambilan saluran manggis menjadi kurang.

Kata-kata Kunci : Bendung, irigasi, debit sungai, analisis stabilitas.

Abstract

Pleret weir is one of the main prosthromic ducts for irrigation purposes for residents of Magelang and its surroundings. Based on data from the Secang PSDA Office in Magelang, the Pleret weir has decreased in supplying water to the Mangosteen Channel. The purpose of this study was to provide a solution to the local Irrigation Service to be able to improve the performance of the Mangosteen Irrigation channel by raising the lighthouse of Pleret Dam and lowering the river up stream. Based on the results of calculations in the field that refer to data from the Secang PSDA office, Magelang Regency, the flowing water only has a flow of 2.91 m³ / s from the minimum limit of 3 m³ / s. Calculation of rolling and sliding when normal water and flood water is declared safe. However the dam elevation is only 1.2 from the height of the river up stream and the height of the lighthouse is 3 m. When reaching the maximum the flood water level is only 2.06 m, so the door to take is not working optimally and the water entering the mangosteen canal is less.

Keywords : Weir, irrigation, river discharge, stability analysis.

1. Pendahuluan

Bendung merupakan bangunan air yang berfungsi mensuplai kebutuhan air dari suatu sungai. Selain itu bendung berfungsi untuk meninggikan elevasi muka air, serta menyalurkan air ke saluran pembawa dan masuk kepersawahan guna keperluan irigasi agar dapat memenuhi kebutuhan pertanian berupa pangan serta menunjang kehidupan manusia (Sularno,2011).

Pengembangan sumber daya air sungai merupakan bentuk usaha untuk menyediakan dan memanfaatkan air yang selalu sesuai dengan siklus hidrologi. Namun jika tidak dikelola dengan cara yang benar, dapat terjadi kekurangan air di musim kemarau. Hal ini dapat berakibat tidak berjalannya kegiatan pertanian yang mengancam ketersediaan pangan bagi masyarakat. Oleh karena itu pengelolaan sumber daya air sangat

penting, maka perlu dilakukan upaya untuk mengelola sumber daya air, agar terjamin ketersediaan air sepanjang tahun. Salah satu caranya adalah dengan meninjau ulang kinerja bendung (Tunas G.I.,2007).

Bendung Pleret yang merupakan suplai tambahan untuk saluran Progomanggis yang diambilkan dari Sungai Elo yang sumber airnya berasal dari Gunung Merbabu yang terletak di Desa Pleret Payaman Magelang dengan debit rata-rata sungai 3 m³/detik. Irigasi Manggis memiliki areal seluas 1360,66 ha dengan panjang saluran 34,785 km (Balai PSDA Kabupaten Magelang, 2017). Keberadaan daerah irigasi ini dalam upaya untuk meningkatkan kebutuhan air untuk irigasi daerah persawahan Payaman dan Sidotopo Kota Magelang. Sedangkan yang menjadi permasalahan selama ini adalah berkurangnya debit

yang diambil dari pintu pengambilan. Bendung Pleret yang merupakan bagian dari daerah irigasi Manggis (Fardiaz dkk,2015). Sehingga sering mengalami kekurangan dalam sektor pertanian. Mengingat pertumbuhan penduduk semakin meningkat harus diimbangi dengan kebutuhan pangan, sehingga pembangunan atau perbaikan perlu dilakukan untuk menjaga ketersediaan air dan mengairi sawah. Maka dari itu salah satu cara untuk menambah debit irigasi Saluran Manggis adalah dengan meninjau ulang bangunan Bendung Pleret (Alfin, 2017).

2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas dapat dilihat bahwa kebutuhan air untuk daerah irigasi Saluran Induk Managgis sudah tidak tercukupi akibat dari rusaknya bendung dan ketinggian mercu yang terlalu rendah sehingga pada penelitian ini akan meninjau ulang konstruksi Bendung Pleret untuk memenuhi kebutuhan debit irigasi saluran Induk Progomanggis (Wigati dkk,2016).

3. Batasan Masalah

1. Lokasi pengamatan adalah daerah Bendung dan saluran irigasi Induk Manggis.
2. Studi kasus ditekankan pada perhitungan stabilitas Bendung dan saluran irigasi Manggis.
3. Data-data yang diperlukan berupa data hidrologi, peta-peta,data teknik, geologi, dan mekanika tanah.
4. Tidak memperhitungkan sedimen dan rencana anggaran biaya.
5. Meninjau dan menghitung hasil debit saluran irigasi di lapangan terhadap perhitungan yang ada.
6. Menganalisa debit sungai yang terjadi pada Bendung Pleret dengan kala ulang 100 tahun.

4. Landasan Teori

4.1 Pengertian dan fungsi bendung

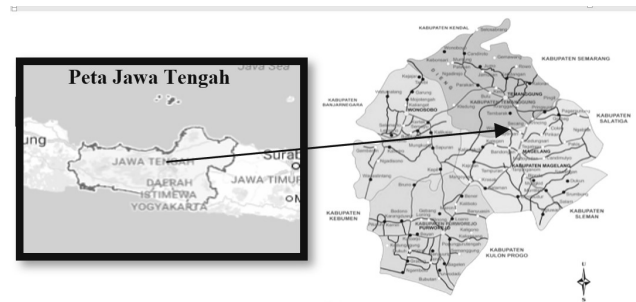
Bendung adalah bangunan air yang dibangun melintang sungai atau sudetan yang berfungsi untuk meninggikan elevasi muka air sungai dan mendapatkan tinggi terjunan yang sesuai, sehingga air dapat disadap dapat dialirkan secara arah gravitasi ke tempat yang diperlukan (Brahmasta dkk, 2010).

Bendung berfungsi antara lain untuk meninggikan elevasi muka air, agar air sungai dapat disadap sesuai dengan kebutuhan dan untuk mengendalikan aliran, angkutan sedimen serta geometri sungai sehingga air dapat dimanfaatkan secara aman, efektif, efisien dan optimal (Mangore dkk, 2013).

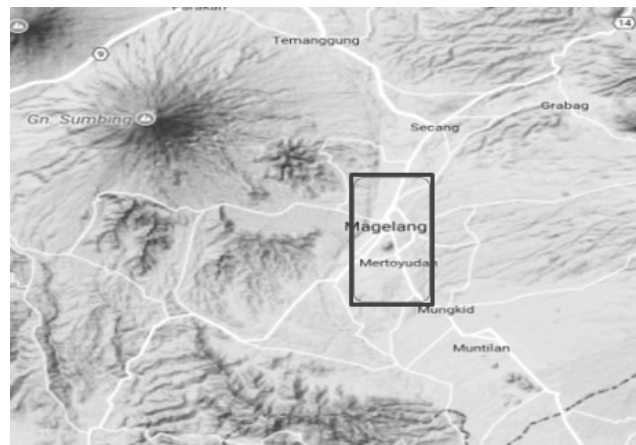
4.2 Perencanaan konstruksi bendung

4.2.1 Menghitung muka air banjir

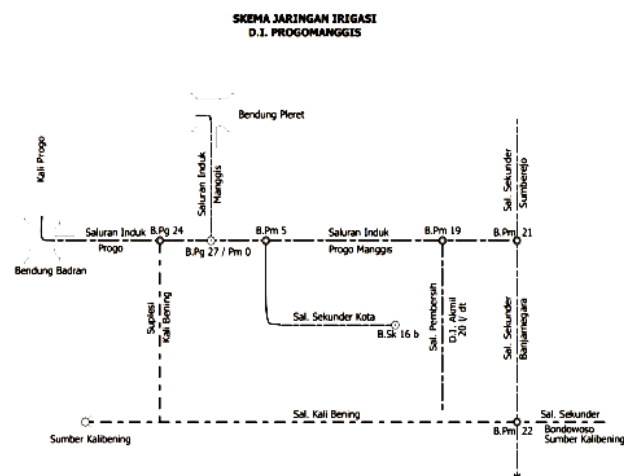
Perhitungan tinggi muka air banjir dengan memperhatikan data berikut:



Gambar 1 Peta lokasi pengamatan Kabupaten Magelang
Sumber : Google Map



Gambar 2 Peta topografi (Sumber : Google Map)



Gambar 3. Skema jaringan irigasi D.I. Progomanggis
Sumber : Balai PSDA Sempu, Secang, Magelang

1. Menentukan elevasi mercu bendung,
2. Elevasi dasar sungai,
3. Menghitung tinggi mercu bendung,
4. Elevasi hulu sungai,
5. Elevasi hilir sungai,
6. Hitung jari-jari hidrulis penampang dengan rumus

$$R = \frac{A}{P} \quad (1)$$

7. Hitungan besarnya kecepatan aliran dengan rumus :

$$\text{Chezy : } V = c \cdot \sqrt{R \cdot S_o} \quad (2)$$

8. Nilai koefisien kecepatan (c) dihitung dengan rumus :

$$\text{Bazin : } c = \frac{87}{1 + \frac{\alpha}{\sqrt{R}}} \quad (3)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran (m/det)

C = Koefisien kecepatan (fungsi dari bentuk profil dan kekasarannya)

R = Jari-jari hidrolis (m)

S_o = Kemiringan sungai rata-rata (m)

A = Koefisien kekasaran (untuk sungai, harga α dapat diambil antara 1,5 – 1,75)

9. Hitungan debit (Q_{hitung}) dengan rumus :

$$Q = A \cdot V \quad (4)$$

Menurut buku standar perencanaan irigasi (KP 02) kriteria perencanaan bagian bangunan utama persamaan yang digunakan untuk menentukan muka air banjir di atas mercu adalah sebagai berikut :

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3} \left(\sqrt{\frac{2}{3} \cdot g} \right) \cdot B_e \cdot H^{1.5} \quad (5)$$

Dimana :

Q = Debit rencana (Q₁₀₀)

C_d = Koefisien debit (C_d = C_o · C₁ · C₂)

B_e = Lebar efektif bendung

H_e = Tinggi energi diatas mercu

g = Percepatan gravitasi (9,80 m/dt²)

Koefisien debit C_d adalah hasil dari :

C_o = Merupakan fungsi dari H_e/r

C₁ = Merupakan fungsi dari P/H_e

C₂ = Merupakan fungsi dari P/H_e dan kemiringan muka hulu bendung (*Up Stream*). Bendung pleret, direncanakan memakai mercu tipe Ogee dengan permukaan bagian hulu vertikal, Sehingga nilai koefisien C_d antara lain

C_o = Merupakan konstanta = (1.30)

C₁ = Merupakan fungsi dari H_e / H₁ dan P / H₁

C₂ = Dipakai apabila permukaan mercu bendung bagian hulu miring.

$$Q = C \cdot L \cdot B_e \cdot H_1^{1.5} \quad (6)$$

Dimana :

L = B_e dan C = nilai antara 1,70 – 2,20

1. Lebar Efektif Bendung

Lebar efektif bendung adalah lebar bendung yang bekerja secara efektif untuk melewati debit di sungai. Lebar efektif bendung akan dipengaruhi oleh adanya pilar-pilar dan pintu pembilas. Berikut adalah persamaan untuk menentukan lebar efektif bendung :

$$B_{eff} = B - \Sigma t - 0,2 \Sigma b \quad (7)$$

Dimana :

B_{eff} = Lebar efektif bendung (m)

B = Lebar total bendung (m)

Σ t = Jumlah tebal pilar bendung (m)

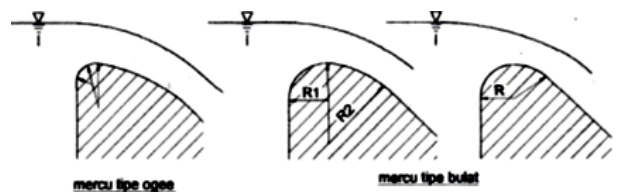
Σ b = Jumlah lebar pintu pembilas (m)

2. Elevasi Mercu Bendung

Elevasi mercu bendung ditentukan terhadap muka air rencana pada bangunan sadap, elevasi sawah tertinggi yang akan dialiri. Tinggi bendung yang dimaksud adalah jarak dari lantai muka bendung sampai pada puncak bendung (Wulandari I., 2009).

Mercu Ogee

Mercu Ogee (lihat **Gambar 4**) berbentuk tirai luapan bawah dari bendung ambang tajam aerasi. Oleh karena itu mercu ini tidak akan memberikan tekanan subatmosfir pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada debit rencana. Untuk debit yang lebih rendah, air akan memberikan tekanan ke bawah pada mercu (KP – 02, 2010).



Gambar 4 Bentuk mercu bendung

Sumber : Pedoman Irigasi KP-02

3. Tinjauan Gerusan di Hilir Bendung

Perhitungan ini bertujuan untuk menghitung berapa dalamnya gerusan yang dapat terjadi pada ujung kolam olakan. Untuk menghitung kedalaman gerusan digunakan rumus-rumus sebagai berikut :

$$\text{Kennedy : } m = 1,11 \cdot q^{0,61} \quad (8)$$

$$\text{Lacey : } m = 0,90 \cdot q^{2/3} \quad (9)$$

4. Lantai Muka Bendung

Lantai muka bendung adalah lantai yang berfungsi untuk mengurangi tekanan air ke atas pada bidang kontak antara pondasi bangunan dan dasar pondasi. Dalam menentukan panjang lantai muka, ada beberapa metode empiris yang sering digunakan yaitu :

a. Metode Bligh

Dalam menentukan panjang lantai muka dengan metode Bligh menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$LV + LH \geq Cr. \Delta H \quad (10)$$

dengan :

L_v = Panjang vertikal bidang kontak (m)

L_H = Panjang horisontal bidang kontak (m)

Cr = *Creep ratio*

ΔH = Beda tekanan (m)

b. Metode Lane

Dalam menentukan panjang lantai muka dengan metode Lane menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$LT = LV + 1/3.LH \quad (11)$$

dengan :

LT = Panjang total (m)

L_v = Panjang vertikal bidang kontak (m)

L_H = Panjang horisontal bidang kontak (m)

5. Perhitungan Air Pintu Pengambilan

Pada perencanaan Bendung Pleret direncanakan *intake* kiri dengan pintu berlubang dua, lebar satu pintu 1,2 meter dan tinggi pintu 1,5 meter, Kapasitas pengambilan harus sekurang-kurangnya 120% dari kebutuhan pengambilan (*dimention requirement*), sehingga rumus pengaliran yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$Q_n = \mu . b . h . \sqrt{2 . g . z} \quad (12)$$

Dimana :

Q_n = Debit rencana (m^3/det)

μ = Koefisien pengaliran

h = Tinggi pintu intake (m)

b = Lebar pintu intake (m)

g = Gaya gravitasi = $9,81 \text{ m/det}^2$

z = Kehilangan tinggi energi pada bukaan antara 0,15 - 0,3 m.

6. Perencanaan Pintu Pembilas

Lantai pembilas merupakan kantong tempat mengendapnya bahan-bahan kasar di depan pembilas. Sedimen yang terkumpul dapat dibilas dengan jalan membuka pintu pembilas secara berkala guna menciptakan aliran terkonsentrasi tepat di depan pengambilan.

$$Q_n = \mu . b . h . \sqrt{2 . g . z} \quad (13)$$

Dimana :

Q_n = Debit rencana (m^3/det)

μ = Koefisien pengaliran

h = Tinggi pintu intake (m)

b = Lebar pintu intake (m)

g = Gaya gravitasi = $9,81 \text{ m/det}^2$

z = Kehilangan tinggi energi pada bukaan antara 0,15 – 0,3 m.

7. Perhitungan Saluran Irigasi

Kemiringan memanjang saluran irigasi dihitung menggunakan rumus :

$$V = K . R^{\frac{2}{3}} . I^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

Dimana :

K = koefisien kekasaran ;

R = jari-jari hidrolis ;

I = kemiringan permukaan dasar saluran.

5. Analisis Hidrologi dan Meteorologi

Analisis hidrologi adalah bentuk analisa dan perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik hidrologi yang ada pada daerah tertentu, perhitungan digunakan untuk memperkirakan curah hujan, debit air banjir, kebutuhan air dan ketersediaan yang akan digunakan sebagai dasar analisis selanjutnya dalam perencanaan konstruksi bangunan air (Susiawan T.A,2015). Analisis hidrologi meliputi data curah hujan selama 10 tahun (**Tabel 1**) dan data suhu / temperature (**Tabel 2**).

Survei meteorologi adalah survei tentang masalah atmosfer, misalnya, suhu, udara, cuaca, angin, dan berbagai sifat fisika dan kimia atmosfer lainnya yang digunakan untuk keperluan prakiraan cuaca. Kondisi iklim di daerah pengamatan mempunyai karakteristik temperatur tinggi, kelembaban udara tinggi dan curah hujan sedang. Temperatur rata-rata sekitar $20,30^\circ$ dan kelembaban udara relatif rata-rata 46,26 % dan curah hujan rata-rata 1.061 mm per tahun.

Selain itu data mekanika tanah, meliputi kelembapan/*humidity* (**Tabel 3**), angin / *wind* (**Tabel 4**), data penyinaran matahari (**Tabel 5**), dan data mekanika tanah (**Tabel 6**).

Data dari survei mekanika tanah digunakan untuk mengetahui struktur dan jenis tanah. Pekerjaan penyidikan tanah dilakukan guna mendapatkan data serta gambaran mengenai keadaan, jenis dan sifat-sifat mekanis tanah di lokasi pekerjaan jaringan irigasi Bendung Pleret.

Tabel 1. Curah hujan tahunan rata-rata

Tahun	Bulan												Tahunan (mm)
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember	
2005	187	234	268	386	90	240	42	2	34	88	102	299	1.954
2006	486	156	153	260	244	0	0	0	0	0	53	306	1.658
2007	118	175	269	135	94	156	19	0	0	19	174	252	1.411
2008	132	142	197	146	73	13	0	0	3	266	413	244	1.629
2009	483	186	316	145	262	122	0	0	0	9	193	92	1.808
2010	277	384	391	159	225	65	87	102	218	214	118	223	2.463
2011	301	257	459	281	246	21	0	0	0	105	325	415	2.41
2012	580	271	114	194	171	107	0	0	0	179	211	346	2.173
2013	496	315	332	296	229	197	201	0	0	184	177	262	2.689
2014	277	302	318	235	121	46	139	7	0	25	288	456	2.214
Rerata	333.7	242.2	281.7	223.7	175.5	96.7	48.8	11.1	25.5	108.9	205.4	289.5	2.0409
Max	580	384	459	386	262	240	201	102	218	266	413	456	2.689
Min	118	142	114	135	73	0	0	0	0	0	53	92	1.411

(Sumber :Balai PSDA Sempu, Secang, Magelang)

Tabel 2. Suhu udara stasiun pengamatan klimatologi Sempu, Secang, Magelang

Bulan Tahun	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
2007	20.00	20.00	20.30	20.30	20.30	20.30	20.00	20.00	20.00	20.30	20.00	20.30
2008	20.30	20.00	20.30	20.30	20.30	20.30	20.00	20.30	20.00	20.30	20.00	20.30
2009	20.30	20.00	20.30	20.30	20.30	20.30	20.00	20.30	20.00	20.30	20.00	20.30
2010	20.00	20.30	20.30	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.30	20.00	20.30
2011	20.00	20.00	20.30	20.30	20.30	20.00	20.00	20.30	20.00	20.30	20.00	20.30
2012	20.00	20.00	20.00	20.30	20.30	20.30	20.00	20.30	20.00	20.30	20.00	20.30
2013	20.00	20.30	20.30	20.30	20.30	20.30	20.00	20.30	20.00	20.30	20.00	20.30
2014	20.30	20.00	20.30	20.00	20.30	20.30	20.00	20.30	20.30	20.30	20.00	20.30
Jumlah	160.90	160.60	162.10	161.8	162.10	161.80	160.00	161.80	160.30	162.40	160.00	162.4
Rerata	20.113	20.075	20.263	20.23	20.263	20.225	20.00	20.225	20.0375	20.30	20.00	20.30

(Sumber: Balai PSDA Sempu, Secang, Magelang)

Tabel 3. Kelembaban relatif stasiun pengamatan klimatologi Sempu, Secang, Magelang

Bulan Tahun	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
2002	87	87	87	86	87	90	91	88	86	86	87	87
2003	85	85	85	86	85	86	81	81	84	88	89	85
2004	87	85	86	86	86	87	82	82	83	90	87	86
2005	91	87	92	89	84	81	82	79	78	79	86	88
2006	85	87	82	84	84	83	80	77	78	87	88	87
2007	23.8	23.6	23.6	23.9	24	23.8	23.6	22.8	23	22.4	23.2	23.5
2008	23.2	7.4	20.4	23	22.8	22.6	21.1	22.2	22.7	23.8	23.7	23.5
2009	23.5	23.4	24	24.6	25.5	25.3	23.7	22.5	23.3	24.2	24.3	24.2
2010	23.8	24.1	23.9	24.3	23.8	24.4	24.6	25.3	23.8	23.8	23.9	23.8
2011	23.8	23.6	23.6	23.9	24	23.8	23.6	22.8	23	23.1	23.4	23.8
2012	23.7	23	23.6	23.8	23.6	23.6	23.2	23	23.1	23.6	24.1	24
2013	24.1	24	24	24	24.1	23.9	23.1	22.3	22.1	23.4	23.3	23.2
2014	23	22.9	23.4	23.7	23.8	23.6	22.5	24.8	25	23.1	23.6	23.3
Jumlah	623.9	603	619	622.2	617.6	618	601.4	592.7	595	617.4	626.5	622.3
Rerata	47.99	46.385	47.6	47.862	47.51	47.5	46.26	45.592	45.7692	47.4923	48.192	47.8692

(Sumber: Balai PSDA Sempu, Secang, Magelang)

Tabel 4. Kecepatan angin (km/jam)

Bulan Tahun	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
2002	1.28	1.71	1.71	1.28	1.28	1.28	1.71	2.57	2.14	1.71	1.71	0.85
2003	2.31	2.31	1.37	3.08	3.85	2.31	3.85	6.16	5.39	5.39	0.21	3.08
2004	2.31	2.31	2.31	3.08	3.85	3.85	5.39	6.93	5.39	6.16	3.72	2.31
2005	0.86	0.86	0.86	1.28	0.86	2.57	2.99	3.42	3.42	1.71	1.28	0.86
2006	0.96	0.90	1.07	0.86	1.28	0.86	1.71	2.57	2.57	2.14	1.28	0.86
2007	23.20	19.40	33.70	36.90	32.40	46.50	44.90	54.00	77.80	122.50	55.80	36.60
2008	57.90	50.25	42.60	39.00	42.20	47.80	66.00	61.40	86.00	50.30	38.80	56.80
2009	36.60	38.20	35.10	32.10	32.20	33.70	50.20	58.90	86.70	66.00	45.90	43.30
2010	27.90	31.20	28.90	30.40	26.20	27.60	25.10	31.70	23.70	29.20	29.00	26.30
2011	23.20	19.40	33.70	36.90	32.40	46.50	44.90	54.00	77.80	64.90	34.80	45.10
2012	34.80	37.20	52.80	34.60	36.20	44.70	63.80	70.90	84.80	62.50	49.60	18.00
2013	18.10	8.40	12.90	12.80	9.80	12.00	21.30	28.70	39.70	24.10	11.10	13.90
2014	12.50	8.00	8.80	8.40	6.30	6.40	37.60	14.80	50.30	69.00	43.40	49.10
Jumlah	241.92	220.14	255.82	240.68	228.82	276.07	369.45	396.05	545.71	505.61	316.60	297.06
Rata2 (Km/Jam)	18.61	16.93	19.68	18.51	17.60	21.24	28.42	30.47	41.98	38.89	24.35	22.85
Rata2 (m/det)	5.17	4.70	5.47	5.14	4.89	5.90	7.89	8.46	11.66	10.80	6.76	6.35

(Sumber: Balai PSDA Sempu, Secang, Magelang)

Tabel 5. Lama penyinaran matahari (%) stasiun pengamatan klimatologi Sempu

Bulan Tahun	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
2002	41.00	49.00	47.00	65.00	70.00	60.00	70.00	67.00	47.00	42.00	30.00	34.00
2003	41.00	50.00	45.00	64.00	72.00	60.00	71.00	65.00	49.00	40.00	24.00	34.00
2004	36.00	40.00	41.00	64.00	65.00	65.00	70.00	66.00	50.00	46.00	27.00	35.00
2005	40.00	43.00	43.00	60.00	80.00	77.00	70.00	84.00	67.00	69.00	43.00	58.00
2006	52.00	43.00	62.00	76.00	82.00	80.00	71.00	80.00	61.00	30.00	42.00	38.00
2007	18.40	16.00	19.10	27.50	40.00	50.50	46.30	59.40	58.30	5.60	40.90	7.20
2008	36.30	29.60	23.90	44.20	54.40	52.00	57.50	47.00	53.00	35.30	25.70	23.40
2009	24.90	16.30	40.50	37.30	42.70	23.00	42.10	56.10	49.60	44.00	35.00	40.40
2010	22.20	29.40	31.90	37.60	33.10	12.80	21.40	52.10	32.00	25.00	23.00	18,70
2011	18.40	16.00	19.1	27.50	40.00	50.50	46.30	59.10	58.30	43.70	29.10	25.50
2012	17.90	26.90	18.30	45.70	56.70	61.30	55.30	63.60	51.40	44.60	40.20	24.50
2013	20.50	29.40	28.90	33.20	40.00	33.70	47.50	54.80	51.30	52.60	31.10	19.90
2014	12.50	15.50	30.80	32.80	44.30	35.90	37.60	46.20	50.30	42.80	26.80	35.00
Jumlah	381.10	404.10	450.50	614.80	720.20	661.70	706.00	800.30	678.20	520.60	417.80	374.90
Rerata	29.32	31.08	34.65	47.29	55.40	50.90	54.31	61.56	52.17	40.05	32.14	31.24

(Sumber: Balai PSDA Sempu, Secang, Magelang)



Gambar 6. Bendung Pleret
(Sumber : Foto lapangan)

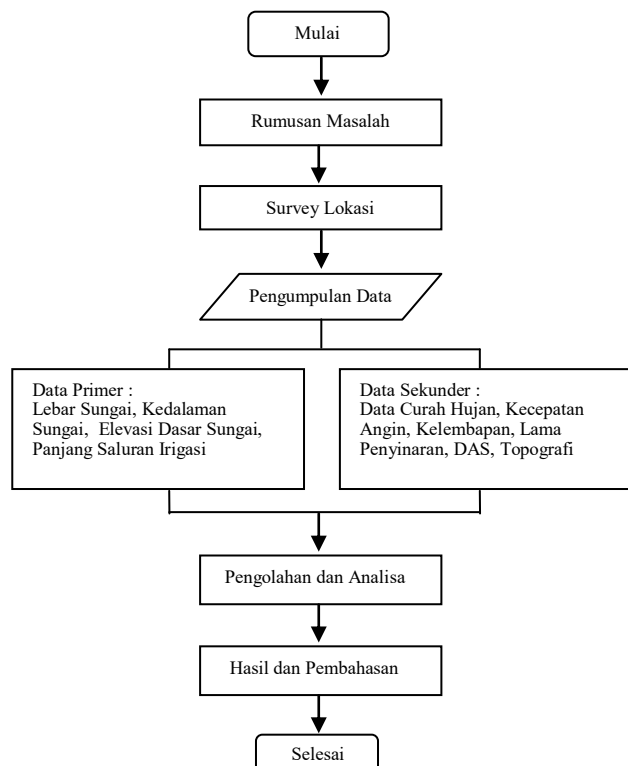


Gambar 7. Penampang sungai

Tabel 6. Data mekanika tanah

Nomor Boring		B1	B2
Kedalaman (m)		1,00 2,00	2,00
Kadar air W (%)		32,181 34,436	44,380
Berat Volume (gr/cc)	γ (gr/cc)	1,774 1,753	1,725
	γ_k (gr/cc)	1,342 1,304	1,195
Berat jenis (G)		2,614 2,635	2,586
Direct Shear Test	ϕ (derajat)	23,85 21,44	22,30
	c (kg/cm ²)	0,2200 0,2000	0,3300
Angka pori (e)		0,9478 1,0207	1,1640
Derajat saturasi S		0,8875 0,8890	0,9860

6. Metode Penelitian



Gambar 5. Diagram alir penelitian

7. Hasil Dan Pembahasan

Data Perencanaan Bendung Pleret

Perencanaan Hidrolis Bendung:

Elevasi mercu bendung = +395.84 m

Elevasi dasar sungai = +389.89 m

Tinggi mercu bendung = 3,00 m

Elevasi hulu sungai = +394.64 m

Elevasi hilir sungai = +393.74 m

Pada perencanaan Bendung Pleret, profil sungai dinormalisasikan dan dianggap trapesium dengan :

Sungai (kemiringan tebing) m = 1 : 1

Lebar dasar sungai b = 39 meter

Kemiringan dasar sungai I = 0,05

Koefisien kekasaran manning n = 0,024

Dengan cara coba-coba untuk mencari nilai ketinggian h tertentu, sehingga diperoleh debit banjir rencana pada Tabel 7.

7.1 Menentukan muka air banjir (MAB) di hilir rencana bendung

Berbasarkan perhitungan dilapangan didapat Q_{awal} sebesar 144,34 m³/ detik < Q_{rencana} dari hasil hitungan 144,35 m³/ detik.

Elevasi dasar sungai = + 1151,50

Tinggi air banjir rencana hilir = + 0.77 +

Elevasi MAB di hilir bendung = + 1152,27

7.2 Menentukan lebar efektif bendung

Lebar bendung yaitu jarak antara tembok pangkal disatu sisi dan tembok pangkal disisi lain. Lebar bendung ini sebaiknya sama dengan lebar rata – rata sungai pada bagian yang stabil atau normal atau 1.00 sampai 1.20 dari lebar rata – rata pada ruas yang stabil.

$$Be = Bn - 2 (n \cdot Kp + Ka) \cdot He \quad (15)$$

Dimana :

Be = Lebar efektif bendung (m)

n = Jumlah pilar

Bn = Lebar bersih bendung, yaitu lebar total dikurangi jumlah lebar pilar

Kp = Koefisien kontraksi pilar

Ka = Koefisien kontraksi pangkal bendung

He = Tinggi energi

Tabel 7. Perhitungan debit banjir rencana

Lebar Sungai	H (m)	i	n	m	F (m ²)	O (m)	R (m)	V (m/ detik)	Q (m ³ / detik)
(b)									
39	0.2	0.054	0,04	1.5	7.86	41.65	0.19	1.91	14.99
39	0.4	0.054	0,04	1.5	15.84	42.05	0.38	3.02	47.9
39	0.6	0.054	0,04	1.5	23.94	42.45	0.56	3.96	94.74
39	0.77	0.054	0,04	1.5	30.92	42.79	0.72	4.67	144.35
39	0.8	0.054	0,04	1.5	32.16	42.85	0.75	4.79	153.99
39	1	0.054	0,04	1.5	40.5	43.25	0.94	5.55	224.75

(Sumber : Hasil hitungan)

1. Pilar (Kp)

Berujung segi empat dengan sudut yang dibulatkan dengan $r = 0,1$ t nilai adalah $= 0,02$

Berujung Bulat dengan nilai $= 0,01$

Berujung runcing dengan nilai $= 0,00$

Pangkal tembok (Ka)

Segi empat bersudut 90° ke arah aliran.....0.20

Bulat bersudut 90° ke arah aliran dengan $0.5 H_e > r > 0.15 H_e$ 0.10

Bulat bersudut 45° ke arah aliran $r > 0.5 H_e$...0.00
Berdasarkan data yang ada dan dari ketentuan ketentuan tersebut diatas, maka lebar efektif bendung Pleret adalah

$B_t = 39,00 \text{ m}$; $n = 1 \times 100 \text{ m}$; $B_{\text{intake}} = 2,00 \text{ m}$

$$B_n = 39,00 - (100 + 2) = 36,00 \text{ m}$$

$K_p = 0,02$

$K_a = 0,10$

$$B_e = B_n - 2(n \cdot K_p + K_a) \cdot H_e$$

$$B_e = 36,00 - 2(1 \cdot 0,02 + 0,1) \cdot H_e$$

$$= 36,00 - 0,24 H_e$$

7.3 Menentukan muka air banjir (MAB) di atas mercu bendung

Perhitungan coba-coba menghasilkan $H_e = 2,217 \text{ m}$, maka $B_e = 35,47 \text{ m}$. Maka nilai H_1 adalah $2,09 \text{ m}$.

$$\Delta H = Z = (\text{elevasi Mercu} + H_c) - \text{MAB hilir} \quad (16)$$

$$\Delta H = Z = (1.154,50 + 1,19) - 1.151,27 = 4,42 \text{ m}$$

1. Debit banjir lebar (q)

q = Debit per satuan lebar ($\text{m}^3/\text{detik}/\text{m}$)

Q = Debit rencana ($Q_{100} = 144,34 \text{ m}^3/\text{detik}$)

B_e = Lebar efektif bendung ($B_e = 35,47 \text{ m}$)

Jadi

$$q = 4.07 \text{ m}^3/\text{detik}/\text{m}$$

2. Kecepatan di hulu bendung (v)

$$v = \frac{q}{(P + H_1)} \quad (17)$$

Dimana :

v = Kecepatan di hulu bendung (m/detik)

q = Debit per satuan lebar ($\text{m}^3/\text{detik}/\text{m}$)

P = Tinggi bendung ($P = 3.00 \text{ m}$)

H_1 = Tinggi energi diatas mercu ($H_1 = 2.09 \text{ m}$)

$$v = 4,07/(3,00+2,09)$$

$$v = 0.80 \text{ m/dt}$$

3. Tinggi persamaan energi (Ha)

$$H_a = k = \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (18)$$

$$H_a = 0,80^2/(2 \times 9,8)$$

$$H_a = 0.033 \text{ m}$$

Tinggi Muka Air Kritis (H_c)

$$H_c = (4,07^2/9,8)^{1/3}$$

$$H_c = 1,19 \text{ m}$$

Tinggi Muka Air Banjir di Hulu (H_d); $H_d = H_1 - H_a$

$$H_d = 2,09 - 0,033$$

$$H_d = 2,06 \text{ m}$$

Jadi elevasi mercu bendung $= + 1154,50$

Elevasi muka air banjir di atas mercu $= + 1156,56$

Tinggi MAB (H_d) $= + 2,06 \text{ m}$

4. Perhitungan air pintu pengambilan

Pada perencanaan bendung Pleret direncanakan intake kiri dengan pintu berlubang dua, lebar satu pintu $1,2$ meter dan tinggi pintu $1,5$ meter, Kapasitas pengambilan harus sekurang-kurangnya 120% dari kebutuhan pengambilan (dimension requirement), sehingga rumus pengaliran yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$Q_n = \mu \cdot b \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot z} \quad (19)$$

Dimana :

Q_n = Debit rencana (m^3/detik)

μ = Koefisien pengaliran

h = Tinggi pintu intake (m)

b = Lebar pintu intake (m)

g = Gaya gravitasi $= 9,81 \text{ m}/\text{detik}^2$

z = Kehilangan tinggi energi pada bukaan antara $0,15 - 0,3 \text{ m}$

Data perencanaan pintu pengambilan didapat :

$$b = 1.200, h = 1.500 \quad Q_n = \mu \cdot b \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot z}$$

$$Q_n = 0,8 \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,3}$$

$$Q_n = 3,49 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$3,49 = 1,2 \cdot Q$, maka $Q = 2,91 \text{ m}^3/\text{dt}$ (untuk pintu pengambilan)

Debit yang diperlukan untuk mengairi sawah dihitung dengan rumus :

$$Q = c \cdot a \cdot A \quad (20)$$

$$144,34 = 0,85 \cdot a \cdot 1360,66$$

$$a = 0,124 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Jadi kebutuhan air normal adalah $0,124 \text{ m}^3/\text{dt}$.

5. Perhitungan air pintu pembilas

B = 1.250, H = 1.500 maka tinggi bukaan (a) pintu adalah

$$Qn = \mu \cdot b \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot z} \quad (21)$$

$$a = \frac{2,91}{0,8 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,3}} = 1,2 \text{ m}$$

6. Perhitungan panjang lantai muka

Berdasarkan hasil penyelidikan pada lokasi rencana bendung pleret, diketahui material dasar sungai berupa boulder, batu kecil, kerikil, maka harga C = 4,00 (PSDA KP 02).

$$\Delta H = L / C \quad (22)$$

$$4,42 = L / 4,00$$

$$L = 17,68 \text{ meter}$$

a. Teori Bligh

Total panjang vertikal, $\Sigma L_v = 5,0 \text{ m}$, total panjang horizontal, $\Sigma L_h = 1,48 \text{ m}$, beda tinggi tekanan, $\Delta H = 4,42 \text{ m}$. Panjang *creep line*, $L_c = C \cdot \Delta H = 4,4 \cdot 4,42 = 17,68 \text{ m}$. Panjang lantai muka, $L_m = L_c - \Sigma L_v - \Sigma L_h = 54 - 15,26 - 16,33 = 22,41 \text{ m}$.

b. Teori Lane

Panjang *creep line*, $L_c = C \cdot \Delta H = 3,0 \cdot 6,0 = 18,00 \text{ m}$. Panjang lantai muka, $L_m = L_c - \Sigma L_v - 1/3 \cdot \Sigma L_h = 18,00 - 15,26 - 1/3 \cdot 16,33 = -2,70 \text{ m}$ (Tidak perlu lantai muka).

Tabel 8. Perhitungan berat Bendung Pleret

Gaya	Perhitungan		Berat (G)		Jarak Ke titik O			
	b(m)	h (m)	BJ (t/m ³)	(m ³)	X (m)	Y (m)	MX (tm)	MY(tm)
G1	0.58	1.35	2.40	1.88	4.14	4.75	7.78	8.93
G2	1.22	0.50	2.40	1.46	3.37	5.20	4.92	7.59
G3	1.46	0.90	2.40	3.15	3.12	4.45	9.84	14.03
G4	0.45	0.45	2.40	0.49	2.10	4.30	1.02	2.09
G5	2.93	1.50	2.40	10.55	2.97	3.25	31.33	34.28
G6	0.75	0.75	2.40	1.35	1.00	6.16	1.35	8.32
G7	2.93	1.50	2.40	10.55	2.97	4.27	31.33	45.04
G8	1.47	1.00	2.40	3.53	3.68	1.58	12.98	5.57
G9	1.50	2.50	2.40	9.00	0.75	2.49	6.75	22.41
Σ				41.95			107.30	148.26

(Sumber : Perhitungan)

8. Gaya Akibat Tekanan Tanah Kontak (K)

Berdasarkan data penyelidikan geologi dan mekanika tanah pada lokasi rencana bendung pleret, diketahui parameter – parameter dari tanah dasar pondasi sebagai berikut :

$$\gamma_t = 1,44 \text{ ton/m}^3$$

$$\phi = 9,7^\circ$$

$$K_a = 2,04 ; K_p = 1,86$$

9. Perhitungan Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah harus diperhitungkan terhadap keadaan air normal dan pada saat air banjir. Besarnya daya dukung tanah dihitung dengan menggunakan rumus terzaghi (Bambang S, 2015) yaitu:

$$q_{\text{ultimate}} = c \cdot N_c + \gamma_t \cdot D_f \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma_t \cdot B \cdot N_\gamma \quad (23)$$

Dimana :

$$q_{\text{ultimate}} = \text{Daya dukung tanah (t/m}^2\text{)}$$

$$c = \text{Kohesi (t/m}^2\text{)}$$

$$\gamma_t = \text{Berat jenis tanah (t/m}^3\text{)}$$

$$D_f = \text{Kedalaman pondasi (m)}$$

$$B = \text{Lebar pondasi (m)}$$

Pada perencanaan bendung ini, pondasi ditempatkan pada kedalaman :

$$D_f = +1.151,00 - (+1.149,00)$$

$$D_f = 2,5 \text{ meter}$$

$$B = 4,43 \text{ meter}$$

Parameter tanah dasar pondasi (pasir dan batuan) yaitu:

$$\gamma_t = 1,44 \text{ (t/m}^3\text{)}; \phi = 9,7^\circ ; C = 4,5 \text{ (t/m}^2\text{)} \quad (24)$$

Untuk $\phi = 9,7^\circ$ dari grafik terzaghi didapat harga-harga :

$$N_c = 9,6; N_q = 2,7 ; N_\gamma = 1,2, \text{ Maka didapat :}$$

$$q_{\text{ult}} = C \cdot N_c + \gamma_t \cdot D_f \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma_t \cdot B \cdot N_\gamma$$

$$q_{\text{ult}} = 4,5 \cdot 9,6 + 4,5 \cdot 2,50 \cdot 2,7 + 0,5 \cdot 4,5 \cdot 4,43 \cdot 1,20$$

$$q_{\text{ult}} = 85,54 \text{ t/m}^2$$

Nilai Sf diambil sebesar 3, maka $Q_{\text{all}} = Q_{\text{ult}} / 3$

$$Q_{\text{all}} = 85,54 / 3 = 28,51 \text{ t/m}^2$$

a. Kontrol Terhadap Guling

$$Sf = \frac{\Sigma M_T}{\Sigma M_G} \geq 1,5$$

$$Sf = 244,64 / 60,07$$

$$Sf = 4,07 \geq 1,5 \text{ (Aman)}$$

Bangunan aman terhadap guling

b. Kontrol Terhadap Geser

$$Sf = 49,15 / 22,74 = 2,16 \geq 1,2 \text{ (Aman)}$$

Tabel 9. Rekapitulasi gaya dan momen keadaan air normal

Gaya	Besarnya Gaya		Jarak ke Titik O		Momen Tahan (tm)	Momen Guling (tm)
	H (ton)	V (ton)	X (m)	Y (m)		
G	-	41.95	5.64	-	236.61	-
PH	0.9	-	-	1.00	-	0.9
PV	-	2.7	0.51	-	1.38	-
WH	4.5	-	-	2.2	-	9.9
WV	-	4.5	1.27	-	5.72	-
Ka	2.04	-	-	0.67	-	1.37
Kp	-1.86	-	0.5	-	0.93	-
Σ	5.58	49.15	-	-	244.64	12.17
Hi	15.11	-	-	0.57	-	8.62
Vi	-	-13.85	2.31	-	-	32.06
Σ	20.69	35.30	-	-	244.64	52.84
FG	2.04	-	-	3.53	-	7.23
Σ	22.74	35.30	-	-	244.64	60.07

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 10. Rekapitulasi gaya dan momen keadaan banjir

Gaya	Besarnya Gaya		Jarak ke Titik O		Momen Tahan (t.m)	Momen Guling (t.m)
	H (ton)	V (ton)	X (m)	Y (m)		
G	-	41.95	5.64	-	236.61	-
PH	0.9	-	-	1.00	-	0.90
PV	-	2.7	0.51	-	1.38	-
WH1	4.50	-	-	3.50	-	15.75
WH2	3.00	4.5	1.27	4.00	-	12.00
WH3	2.58	-	-	1.51	-	3.90
WH4	2.58	-	-	0.76	-	1.96
WV1	-	6.18	6.25	-	38.63	-
WV2	-	2.58	0.76	-	1.96	-
Ka	2.04	-	-	0.67	-	1.37
Kp	-1.86	-	0.5	-	0.93	-
Σ	13.74	57.91	-	-	279.51	35.87
Hi	21.56	-	-	0.57	-	12.29
Vi	-	-19.63	2.31	-	-	45.44
Σ	35.30	38.28	-	-	279.51	93.60
FG	2.04	-	-	3.53	-	7.23
Σ	37.35	38.28	-	-	279.51	100.83

(Sumber : Perhitungan)

a. Kontrol Terhadap Bahaya Guling

$$sf = \frac{\sum M_T}{\sum M_G} \geq 1.5 \quad (25)$$

$$Sf = 279,51 / 100,83$$

$$Sf = 2,77 \geq 1,5 \quad (\text{Aman})$$

b. Kontrol terhadap geser :

$$Sf = 57,91 / 37,35 = 1,55 \geq 1,2 \quad (\text{Aman})$$

10. Menghitung Kedalaman Gerusan Bendung Pleret

$$q = \frac{Qd}{B_{eff}} ; m = 1,11q^{0,61} \text{ atau } m = 0,9q^{\frac{2}{3}} \quad (26)$$

Dimana : Qd = debit rencana (m³/dt) ; Beff = Lebar Bendung ; m = kedalaman gerusan dihilir bendung

$$q = \frac{Qd}{B_{eff}} = \frac{144,34}{35,47} = 4,069 \quad (27)$$

$$m = 1,11q^{0,61} = 1,11 \cdot 4,096^{0,61} = 2,62 \text{ m}$$

$$m = 0,9 \cdot q^{\frac{2}{3}} = 0,9 \cdot 4,096^{\frac{2}{3}} = 2,304 \text{ m}$$

kedalaman gerusan dapat dimungkinkan sebesar 2,3 m sampai dengan 2,62 m.

11. Pengambilan Air Saluran Irigasi Bendung

Tampang saluran trapesium m = 1, bahan galian galuh bergradasi kerikil, pasangan batu kali K = 45; Q = 2,91 m³/dt ; v = 0,8 m/dt , dengan panjang saluran Induk Manggis L = 1,15 km dengan kemiringan saluran 0,05, b = 1,15 m (Sumber : Balai PSDA Secang, Magelang).

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{2,91}{0,8} = 3,6375 \text{ m}^2 \quad (28)$$

Perhitungan tampang trapesium : A = (b + m.h).h :

$$R = \frac{A}{P} ; P = b + 2h\sqrt{m^2 + 1} \quad (29)$$

Didapat dengan persamaan kuadrat tinggi air saluran h = 1,417 m, keliling basah P = 5,1578 m dan jari-jari hidrolis R = 0,705 m.

$$V = K \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} = 45 \cdot (0,705)^{\frac{2}{3}} \cdot (0,05)^{\frac{1}{2}} = 8 \text{ m/dt} \quad (30)$$

12. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan data dari lapangan, saluran irigasi Bendung Pleret masih aman dan layak ditinjau dari segi konstruksi bendung dan bentuk saluran. Dari evaluasi debit untuk pengambilan Saluran Manggis masih kurang optimal dikarenakan elevasi mercu yang kurang tinggi dan harus diperbaiki. Adapun data analisis sebagai berikut :

1. Keadaan air normal

a. Kontrol terhadap guling :

$$Sf = 4,07 \geq 1,5 \quad (\text{Aman})$$

b. Kontrol terhadap geser :

$$Sf = 2,16 \geq 1,2 \quad (\text{Aman})$$

2. Keadaan air banjir

a. Kontrol terhadap guling :

$$Sf = 2,77 \geq 1,5 \quad (\text{Aman})$$

b. Kontrol terhadap geser :

$$Sf = 1,55 \geq 1,2 \quad (\text{Aman})$$

3. Kecepatan pada saluran pengambilan

$$3,49 \text{ m/dt} > 0,8 \text{ m/dt}$$

4. Debit yang mengalir pada bendung

$$2,91 \text{ m}^3/\text{dt} < 3 \text{ m}^3/\text{dt} \quad (\text{Belum Aman})$$

13. Saran

Perlu adanya perbaikan dan revitalisasi dari Dinas PU Pengairan berupa peninggian mercu bendung agar dapat meningkatkan keandalan pintu pengambilan sehingga air dari Sungai Elo dapat digunakan semaksimal mungkin untuk kegiatan pengairan sawah dan ladang pertanian.

Daftar Pustaka

- Alfin. 2017. Laporan Kerja Praktek Rehabilitasi Irigasi D.I Progomanggisangis. Prodi Teknik Sipil, Universitas Tidar; p.19-52.
- Apriani D.W., Utomo F.N., Wahyuni S.E.,Hardiyati S. 2013. Evaluasi dan Perencanaan Kembali Bendung Sapon. Jurnal Karya Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro; 2(1) : 1-9.
- Balai Besar Pengolahan Sumber Daya Air. 2017. Data Analisis Hidrologi dan Meteorologi. September. BBWSO Secang. Magelang.
- Brahmasta B., Jata L., Wahyuni S.E., Kurniani D.2010. Perencanaan Bendung Progo Jumo Sungai Progo Kabupaten Temanggung. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro; p.1-10.
- Fardiaz D.K., Purwitaningtyas R., Wahyuni S.E. 2015. Evaluasi Fungsi Bendung dan Perencanaan Kembali Bendung Katulampa. Jurnal Karya Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro; 4(4) : 546-560.
- Ismoyo M.J. 2010. Pengaturan Pintu Irigasi Mrican Kanan Dalam Pengoperasian Kebutuhan Air. Jurnal Pengairan; 1(2) :1-10.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2013. Perencanaan Jaringan Irigasi KP-01. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Direktorat Irigasi dan Rawa, Jakarta:Balitbang.PU.<https://www.scribd.com/document/377997905/SDA-KP01-Spesifikasi-Teknis-KriteriaPerencanaan-Cover-KP01-KP09-pdf>, diakses 17 Januari 2018.
- Mangore R.V., Wuisan E.M., Kawet L., Tangkudung H. 2013. Perencanaan Bendung Untuk Daerah Irigasi Sulu. Jurnal Sipil Statik, fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Juni 2013; 1(7): 533-541.
- Sari I.K., Limantara L.M., Priyantoro D. 2011. Analisa Ketersediaan dan Kebutuhan Air Pada DAS Sampean. Jurnal Pengairan; 2(1): 1-13.
- Sularno. 2011. Tinjauan Analisis Stabilitas Bendung Tetap (Studi Kasus Bendung Ngajen Pada Sungai Brambangan Sukoharjo). Program Studi D-III Infrastruktur Perkotaan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Surendro B. 2015. Rekayasa Fondasi Teori dan Penyelesaian Soal. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Susiawan T.A., Pranoto S., Priambodo Y.N. 2015. Penentuan Kapasitas dan Tinggi Mercu Embung Wonoboyo Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Di Desa Cemoro. Jurnal Karya Teknik Sipil; 4 (4) :512-518.
- Tunas G.I. 2007. Optimasi Parameter Model Mock Untuk Menghitung Debit Andalan Sungai Miu. Jurnal Smartek, Februari 2007; 5(1): 40-48.
- Wigati R.,Soedarsono., Rizki F.2016. Kajian Ulang Bendung Tetap Cipaas. Jurnal Fondasi, Jurusan Teknik Sipil, fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten; 5(2): 62-73.
- Wulandari I. 2009.Tinjauan Kembali Bendung Kedung Ombo Dalam Hal Kelayakan Elevasi Mercu Bendung. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah.

