

Analisis Stabilitas Bendung Kamijoro

Gentur Pinandito^{a*}, Puji Harsanto^b

^a Tim Supervisi Bendungan, PT. Virama Karya, Semarang

^b Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

DOI: <https://doi.org/10.18196/bce.v1i1.11098>

Riwayat Artikel

Diserahkan
1 Desember 2020

Direvisi
4 Januari 2021

Diterima
1 Februari 2021

*Penulis korespondensi
gpinandito@gmail.com

Abstrak

Bendung Kamijoro direncanakan untuk suplesi air di Bendung Pijenan yang mengairi daerah irigasi seluas 2.370 ha, yang terdiri atas daerah irigasi Jigutan seluas 296 ha dan Kebonongan seluas 2.074 ha. Selain dapat menyalurkan irigasi secara optimal, bendung juga harus memenuhi persyaratan stabilitas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai faktor aman Bendung Kamijoro terhadap gelincir, guling, maupun pipping yang mana merupakan persyaratan utama dalam menentukan apakah bendung dapat dikatakan stabil atau tidak. Pada kajian ini, pengecekan stabilitas terhadap pipping dilakukan dengan menggunakan Metode Lane, untuk pengecekan geser maupun guling dilakukan dengan menganalisis gaya-gaya yang bekerja pada bendung. Selain itu, dilakukan pula analisis reaksi pondasi akibat gaya-gaya vertikal yang bekerja pada bendung. Hasil dari nilai faktor aman bendung terhadap gelincir adalah sebesar 0,14 dan guling adalah sebesar 2,3 dengan persyaratan nilai faktor aman minimum sebesar 0,2 dan 1,69. Nilai angka aman rembesan terhadap pipping adalah 134,13 untuk kondisi muka air banjir dan 7,93 untuk kondisi muka air normal, dengan persyaratan angka aman minimum untuk rembesan Lane pada jenis pasir kasar adalah sebesar 5,0. Maka, dapat disimpulkan bahwa Bendung Kamijoro aman terhadap geser, guling maupun pipping.

Kata-kata kunci: stabilitas bendung, metode jaringan aliran, rembesan, erosi bawah tanah

© 2021 Bulletin of Civil Engineering UMY

1 PENDAHULUAN

Bendung adalah bangunan air yang dibangun secara melintang pada suatu sungai dan dibuat untuk meninggikan muka air sehingga air sungai dapat disadap dan dialirkan secara gravitasi ke jaringan irigasi (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2013). Permasalahan-permasalahan pada bendung sering sekali terjadi sehingga menghambat kinerja suatu bendung dan berakibat suplai air ke jaringan irigasi menjadi kurang optimal. Kerusakan-kerusakan dini yang terjadi pada bendung merupakan suatu permasalahan utama yang terjadi karena ketidakstabilan bendung dalam menghadapi gaya-gaya yang bekerja pada bendung itu sendiri. Beberapa kerusakan-kerusakan yang terjadi adalah erosi pada tanah di bawah bendung, rusaknya lantai rendah, pecahnya badan bendung, gerusan pasir/lumpur dan kerusakan lainnya akibat ketidakstabilan bendung (Prastumi dkk., 2011). Dengan adanya permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan kontrol stabilitas terhadap Bendung Kamijoro, sehingga Bendung Kamijoro dapat memenuhi persyaratan-persyaratan stabilitas yang telah ditentukan, yaitu gelincir, guling dan erosi bawah tanah atau *pipping* (Prasasti dkk.,

2013). Pada perhitungan stabilitas bendung, kolom olak diasumsikan dalam keadaan kering apabila dilakukan perhitungan pada saat debit normal, yaitu dimana tinggi muka air hanya mencapai elevasi puncak mercu (Syofyan & Frizaldi, 2017). Selain itu, pada saat debit banjir untuk tinggi muka air banjir maksimum dianjurkan tidak lebih dari 4,5 meter (Mangroe dkk., 2013).

Tinjauan dari segi eksentrisitas, daya dukung tanah, serta rembesan perlu dilakukan karena bendung haruslah aman terhadap penurunan tanah akibat beban struktur bangunan dan piping akibat rembesan yang terjadi (Firnanda dkk., 2011). Rembesan atau seepage terjadi karena perbedaan tinggi muka air pada bendung, sehingga aliran pada bagian hulu merembes masuk ke dalam tanah di sekitar bendung, maka berakibat timbulnya aliran air di dalam tanah dan memicu terjadinya *pipping* (Sukirman, 2014). Aliran air tanah juga dapat memicu terjadinya kegagalan struktur akibat gaya tekan ke atas air (*uplift*) (Asl dkk., 2015). Gaya *uplift* menyebabkan perlawanan gaya antara pondasi dengan tubuh bendung, sehingga memberikan tekanan maupun tegangan pada tubuh bendung yang dapat menurunkan nilai dari faktor aman geser maupun guling (Shahrbanozadeh dkk., 2015).

Pipping sangat bergantung terhadap kekuatan tahanan aliran air yang ada di dalam tanah. Tahanan aliran air bergantung kepada jenis tanah, ukuran butiran, bentuk butiran, rapat massa, serta bentuk geometri rongga pori. Tanah berbutir halus memiliki rembesan yang kecil dan daya rembes yang besar, hal ini dikarenakan tanah tersebut memiliki rapat massa yang tinggi sehingga mengakibatkan aliran rembesan yang masuk kedalam tanah akan sangat sedikit dan kecepatan alirannya akan besar, sehingga tahanan terhadap aliran air akan semakin kuat untuk jenis tanah tersebut. Sebaliknya dengan tanah berbutir kasar, karena rongga pori yang besar maka tanah ini akan mudah untuk ditembus air, sehingga jenis tanah ini akan lebih rawan terhadap terjadinya *pipping* (Sompie & Puntoring, 2014). Selain itu, pemasangan sheet pile yang lebih dalam pada bendung juga mampu untuk mengurangi terjadinya *pipping* (Aziz & Abdallah, 2017). Selain *pipping*, rembesan juga memicu terjadinya penyumbatan (*clogging*), yang terjadi karena air yang meresap memindahkan partikel-partikel yang tersimpan pada bagian pori tanah. Sehingga, efektifitas pori tanah dan konduktifitas hidrolis tanah berkurang, maka terjadilah penyumbatan. Maka, kemungkinan terjadi *pipping* berkurang karena seepage dapat tereduksi secara perlahan (Sroka dkk., 2014).

Dalam studi ini dilakukan dengan menentukan nilai dari faktor aman stabilitas pada Bendung Kamijoro terhadap gelincir, guling dan *pipping*. Stabilitas terhadap gelincir dan guling dianalisis dengan metode perhitungan gaya-gaya dan momen yang bekerja pada bendung, sementara itu stabilitas terhadap *pipping* dianalisis menggunakan Metode Angka Rembesan Lane. Sehingga dari hasil nilai faktor aman tersebut dapat diketahui

bahwa Bendung Kamijoro dapat dikatakan stabil atau tidak stabil.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

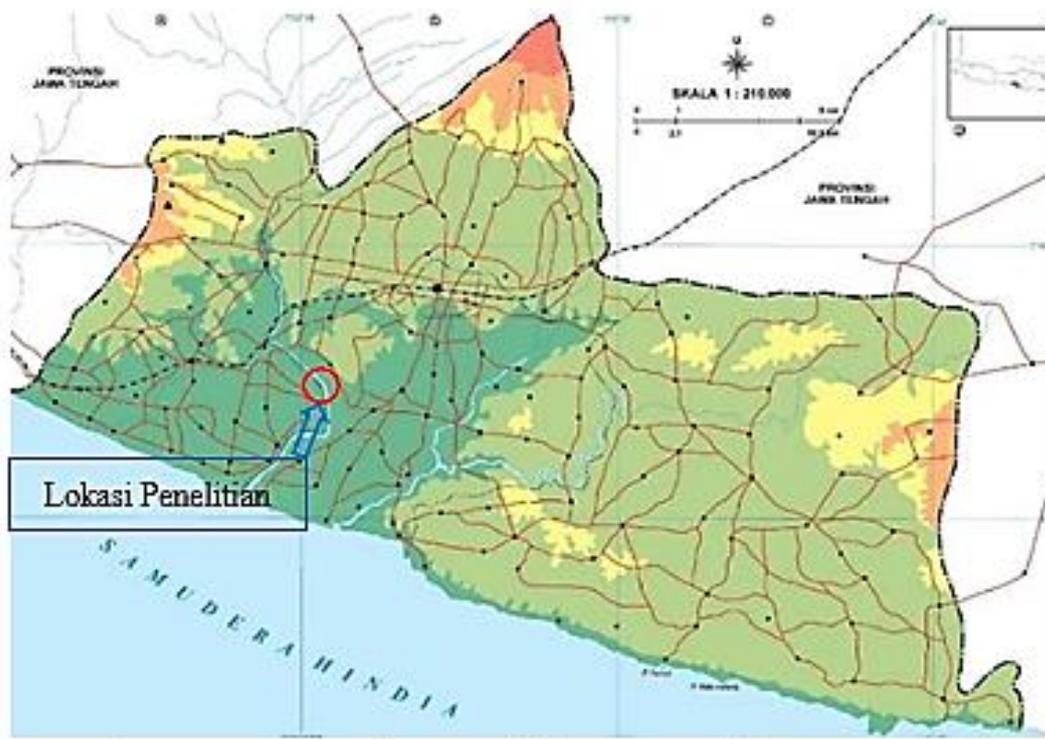
Penelitian tugas akhir ini dilakukan pada Bendung Kamijoro yang terletak pada aliran Sungai Progo pada Daerah Irigasi Kamijoro di Desa Sendangsari, Kecamatan Pajangan, Kabupaten Bantul. Sungai Progo ini memiliki panjang sungai utama 138 km, sisi barat dibatasi Gunung Sumbing, sisi timur Gunung Merbabu dan Merapi (Gambar 1). Kali Progo ini memiliki luasan DAS sebesar 2380 km². Jenis tanah pada lokasi tersebut adalah pasir, karena berkaitan dengan kondisi endapan Sungai Progo di lokasi sekitar Intake Kamijoro.

2.2 Analisis Gaya Berat Bangunan

Gaya berat bangunan dilakukan perhitungan dengan arah vertikal kebawah yang garis kerjanya melewati titik berat konstruksi, dan untuk kemudahan dalam perhitungannya maka tubuh bendung dibagi menjadi beberapa pias (Sabih dkk., 2017). Perhitungan gaya berat bangunan dapat dilakukan dengan mengalikan volume tubuh bendung pada pias tinjauan dengan rapat massa bahan bangunan (beton). Pembagian pias tubuh bendung Kamijoro ditunjukkan pada Lampiran Gambar A.1. Momen berat dihitung dengan mengalikan gaya berat tubuh bendung dengan lengan momen.

2.3 Analisis Gaya Gempa

Gaya gempa dilakukan perhitungan dengan arah horizontal dan garis kerjanya melewati titik berat konstruksi. Perhitungan gaya gempa dilakukan dengan



Gambar 1 Lokasi penelitian Bendung Kamijoro

mengalikan antara koefisien gempa dengan gaya berat tubuh bendung yang telah dihitung sebelumnya. Setelah hasil gaya gempa telah diketahui maka dapat dilakukan perhitungan momen gempa dengan lengan momen.

2.4 Analisis Gaya Uplift

Gaya *uplift* dianalisis dengan menggunakan metode jaringan aliran (*flow net*). Dalam penggambaran jaringan aliran, garis-garis aliran dan ekuipotensial haruslah tegak lurus satu sama lain, sehingga elemen-elemen aliran yang dibuat dapat mendekati bujur sangkar. Penggambaran jaringan aliran di bawah tubuh bendung Kamijoro ditunjukkan pada Lampiran Gambar A.2. Debit rembesan pada *flow net* berdasarkan Hukum Darcy. Debit aliran rembesan dapat dihitung dengan langkah-langkah berikut:

- Selisih tinggi muka air antara hulu dengan hilir (H)
- Jumlah kehilangan energi potensial (Nd)
- Jumlah saluran aliran atau *flow channels*
- Beda tinggi energy Δh , yaitu dengan persamaan 1.

$$\Delta h = \frac{H}{N_d} \quad (1)$$

- Debit total Δq , dihitung dengan menggunakan persamaan 2.

$$\Delta q = k \frac{H}{N_d} \quad (2)$$

Setelah dilakukan perhitungan debit total selanjutnya dilakukan perhitungan gaya *uplift* dengan tinjau beberapa titik pada tubuh bagian dasar bendung. Gaya *uplift* pada jaringan aliran dapat dihitung dengan langkah-langkah berikut:

- Jumlah kehilangan energi potensial terhadap titik tinjau A (lihat Gambar 2).
- Beda tinggi energi titik A

$$H_A = H_1 - (N_{d(A)} \times \Delta h) \quad (3)$$

dengan H_A adalah beda tinggi pada titik A (m) dan N_{dA} adalah jumlah *head drops* titik A

- Gaya *uplift* titik A

$$U_A = \rho_w \times (H_A - z_A) \quad (4)$$

dengan U_A adalah gaya *uplift* pada titik A (t/m^2), ρ_w adalah rapat massa air (t/m^3), dan $(H_A - z_A)$ adalah tinggi energi titik A dikurangi tinggi titik A dari tanah dasar (m).

- Momen *uplift* titik A

$$M_A = U_A x \quad (5)$$

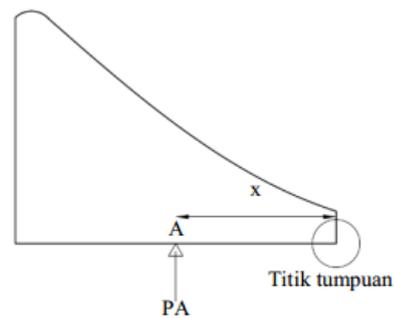
Dimana M_A adalah momen pada titik A (Tm).

2.5 Analisis Gaya Berat Air

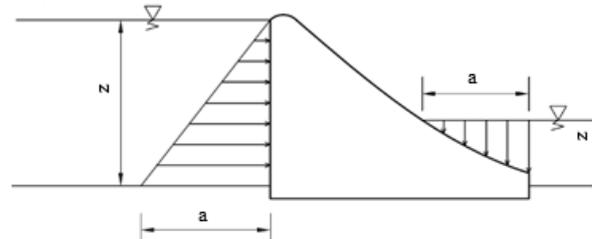
Gaya berat air pada bagian atas bendung terdiri dari gaya horizontal dan gaya vertikal sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3, gaya berat air dihitung dengan persamaan 6.

$$W_h = 0,5 \times a \times z \times l \times \rho_w \quad (6)$$

dimana W_h adalah gaya berat air (ton), a , z , dan l menunjukkan volume yang ditinjau.



Gambar 2 Gaya berat air pada tubuh bendung



Gambar 3 Gaya berat air pada tubuh bendung

Setelah gaya berat diketahui, kemudian dilakukan penghitungan momen dengan lengan momen adalah jarak pusat gaya terhadap titik tumpuan.

2.6 Analisis Gaya Tekan Lumpur

Gaya tekan lumpur pada bendung diakibatkan karena adanya kumpulan lumpur yang mengendap pada permukaan bendung. Kumpulan lumpur tersebut dibawa oleh aliran air akibat dari erosi dasar sungai maupun hanyutan sedimen-sedimen yang berasal dari gunung. Gaya tekan lumpur terhadap sisi hulu bangunan dapat dihitung dengan persamaan 7.

$$P_s = \frac{\rho_s h^2}{2} \left(\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right) \quad (7)$$

dengan P_s adalah gaya tekan lumpur (ton/m), ρ_s adalah rapat massa lumpur (ton/m^3), h adalah kedalaman lumpur (m), dan ϕ adalah sudut gesekan dalam.

Setelah gaya tekan diketahui, dapat dilakukan penghitungan momen yaitu dengan mengalikan gaya tekan lumpur (Wh) dengan lengan momen (y).

2.7 Analisis Reaksi Pondasi

Reaksi pada suatu pondasi diakibatkan oleh gaya-gaya vertikal baik dari tubuh bendung itu sendiri maupun gaya-gaya eksternal lainnya, sehingga menyebabkan pondasi bereaksi dengan menahan gaya-gaya tersebut dan meneruskannya ke tanah. Perhitungan reaksi pondasi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 8.

$$P = \sum \frac{W_V}{A} + \sum \frac{W_V e}{I} m \quad (8)$$

dengan P adalah tekanan vertikal pondasi (ton), W_V adalah gaya vertikal (ton), A adalah luas dasar (m^2), e adalah eksentrisitas pembebanan (m), I adalah momen kelembaman dasar ($t.m^2$) dan m adalah jarak dari titik

pusat luas dasar sampai ke titik dimana tekanan dikehendaki.

2.8 Stabilitas Terhadap Gelincir

Kontrol stabilitas terhadap gelincir, dilakukan menggunakan persamaan 9.

$$\frac{\sum W_H}{\sum (W_V - U)} = \tan \theta < \frac{f}{S_1} \quad (9)$$

dimana W_H adalah gaya horizontal (ton), θ adalah sudut resultan semua gaya terhadap garis vertical, f adalah koefisien gesekan (berdasarkan pada Tabel 1) dan S_1 adalah faktor aman terhadap gelincir (2 untuk kondisi normal dan 1,25 untuk kondisi ekstrim).

2.9 Stabilitas Terhadap Guling

Kontrol stabilitas terhadap guling dapat dihitung dengan persamaan berikut (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2013).

$$dx \geq S_2 \frac{Ux - Hx}{\tau} \quad (10)$$

Diman dx adalah tebal lantai pada titik x , Ux adalah gaya angkat pada titik x (t/m^2), Hx adalah kedalaman air dari titik x (m), τ adalah massa jenis bahan (t/m^3), S_2 adalah faktor aman terhadap guling (1,5 untuk kondisi normal dan 1,25 untuk kondisi ekstrem).

2.10 Stabilitas Terhadap Pipping

Kontrol stabilitas terhadap *pipping* dilakukan dengan persamaan 11.

$$C_L = \frac{\sum L_p + \frac{1}{3} \sum L_H}{H} \quad (11)$$

dimana C_L adalah angka rembesan Lane, L_p adalah panjang vertikal (m); L_H adalah panjang horizontal (m), dan H adalah beda tinggi muka air (m).

Tabel 1 Harga perkiraan koefisien gesekan (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2013)

Bahan	f
Pasangan batu pada pasangan batu	0,60 - 0,75
Batu keras berkualitas baik	0,75
Kerikil	0,50
Pasir	0,40
Lempung	0,30

Tabel 2 Harga Minimum Rembesan Lane (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2013)

Material	Rembesan C	
	Lane	Blight
Pasir sangat halus atau lanau	8,5	18
Pasir halus	7,0	15
Pasir sedang	6,0	-
Pasir kasar	5,0	12
Kerikil halus	4,0	-
Kerikil sedang	3,5	-
Kerikil kasar termasuk berangkal campur pasir	3,0	9
Bongkah dengan sedikit berangkal dan kerikil	2,5	4-6
Lempung lunak	3,0	-
Lempung sedang	2,0	-
Lempung keras	1,8	-
Lempung sangat keras	1,6	-

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 1 hingga 11, maka selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap angka rembesan guna menentukan kondisi keamanan bendung sesuai ketentuan harga minimum Lane pada Tabel 2.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gaya Berat Bangunan

Perhitungan gaya berat bangunan Bendung Kamijoro dilakukan dengan pembagian setiap pias bangunan. Berdasarkan dari hasil perhitungan gaya berat tubuh bendung seperti ditampilkan pada Tabel 3, diketahui nilai gaya berat bendung yaitu sebesar -313,710 ton, dengan total momen sebesar -8569,618. Momen gaya memiliki arah yang berlawanan dengan arah jarum jam, sehingga dapat diasumsikan nilai dari gaya maupun momennya bernilai negatif.

3.2 Gaya Gempa

Percepatan gempa pada lokasi Bendung Kamijoro memiliki koefisien gempa (K_h) sebesar 0,05-0,1 untuk periode 10 tahun dengan probabilitas 20%, pada penelitian ini diambil percepatan gempa sebesar 0.1. Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan gaya gempa. Total gaya gempa yang didapatkan dari analisis perhitungan adalah 31,37 ton dan momen gempa sebesar 70,6 tm.

3.3 Gaya Uplift Air

Gaya *uplift* pada bendung ini memiliki arah vertikal keatas melawan gaya berat tubuh bendung. Perhitungan gaya *uplift*, dilakukan dengan cara penggambaran jaringan aliran (*flow net*) seperti yang terlihat pada lampiran Gambar A.2, dan berikut diberikan hasil perhitungan gaya *uplift* air pada Tabel 4. Berdasarkan dari hasil perhitungan gaya *uplift*, diketahui bahwa nilai total gaya *uplift* adalah sebesar 195,16 ton dengan momen sebesar 5318,78 tm. Momen gaya memiliki arah yang sama dengan arah jarum jam, sehingga diasumsikan bernilai positif.

3.4 Gaya Berat Air

Pembagian elemen air pada bendung dapat dilihat pada lampiran Gambar A.3. Berdasarkan pada Gambar A.3, berikut diberikan hasil perhitungan gaya berat air Bendung Kamijoro pada Tabel 5. Dari hasil perhitungan, diketahui bahwa gaya berat air vertikal total adalah sebesar 387,221 ton dengan momen sebesar -8057,14 tm.

3.5 Gaya Tekan Lumpur

Gaya tekan lumpur mengakibatkan suatu gaya tekan horizontal maupun vertikal pada tubuh bendung, yang mana gaya tersebut diberikan pada lampiran Gambar A.4, berikut diberikan hasil perhitungan gaya tekan lumpur Bendung Kamijoro pada Tabel 6. Berdasarkan dari hasil perhitungan gaya tekan lumpur pada Tabel 6, massa jenis lumpur diambil nilai sebesar 1,86 (t/m^3) dengan sudut geseknya sebesar 30° , hal ini didasarkan pada hasil pengujian tanah di sekitar bendung sehingga dapat diketahui bahwa nilai total gaya tekan lumpur vertikal dan

Tabel 3. Hasil perhitungan gaya berat bangunan dan gaya gempa

Pias	Gravitasi			Gempa		
	Gaya Berat, W (Ton)	Lengan, x (m)	Momen (Tm)	Gaya Gempa (Ton)	Lengan, y (m)	Momen (Tm)
GI	-2,45	51,45	-126,053	0,2	3,830	0,938
GII	-2,7	50,85	-137,295	0,3	3,250	0,878
GIII	-6,66	48,3	-321,678	0,7	4,250	2,831
GIV	-0,6	48,1	-28,860	0,1	3,750	0,225
GV	-3,75	45,97	-172,388	0,4	3,000	1,125
GVI	-1,83	46,57	-85,223	0,2	4,910	0,899
GVII	-2,06	45,63	-93,998	0,2	5,230	1,077
GVIII	-2,43	44,61	-108,402	0,2	5,050	1,227
G1	-6,9	43,5	-300,150	0,7	5,240	3,616
G2	-12,1	41,65	-503,965	1,2	5,610	6,788
G3	-5,5	39,97	-219,835	0,6	5,130	2,822
G4	-14,04	44,57	-625,763	1,4	3,000	4,212
G5	-4,13	43,15	-178,210	0,4	3,500	1,446
G6	-1,08	43,3	-46,764	0,1	2,170	0,234
G7	-10,08	41,65	-419,832	1,0	3,500	3,528
G8	-5,76	40	-230,400	0,6	3,500	2,016
G9	-2,88	39,8	-114,624	0,3	1,830	0,527
G10	-14,4	38,65	-556,560	1,4	2,500	3,600
G11	-0,62	37,6	-23,312	0,1	3,190	0,198
G12	-5,81	37,45	-217,585	0,6	1,840	1,069
G13	-2,16	37,3	-80,568	0,2	-0,170	-0,037
G14	-1,71	36,3	-62,073	0,2	2,720	0,465
G15	-20,16	35,95	-724,752	2,0	0,840	1,693
G16	-39,6	23,9	-946,440	4,0	0,670	2,653
G17	-121,5	18,4	-2235,600	12,2	1,750	21,263
G18	-2,1	1,73	-3,633	0,2	3,080	0,647
G19	-0,9	1,4	-1,260	0,1	0,670	0,060
G20	-6,9	0,58	-4,002	0,7	1,250	0,863
G21	-5,88	0,7	-4,116	0,6	3,380	1,987
G22	-7,02	-0,53	3,721	0,7	2,500	1,755
Jumlah	-313,710		-8569,618	31,371		70,604

horizontal adalah sebesar -0,93 ton dan 0,91 ton dengan momennya sebesar -42,46 tm dan 4,86 tm.

3.6 Reaksi Fondasi

Perhitungan reaksi pondasi dapat dikakukan dengan cara membagi total gaya vertikal keseluruhan pada bendung dengan luasan tiap titik pondasi, yang mana titik pondasi diberikan pada lampiran Gambar A.5. Berikut diberikan hasil perhitungan total gaya vertikal pada bendung dan luasan tampang tiap titik pondasi pada Tabel 7 dan Tabel 8. Dengan menggunakan persamaan 8, diperoleh nilai reaksi setiap titik pondasi sebesar 11,05 t/m².

3.7 Stabilitas terhadap Gelincir

Stabilitas bendung terhadap gelincir dapat diketahui jika koefisien gesekan diperkirakan 0,40 untuk jenis pasir

(lihat Tabel 1) dan nilai faktor aman diambil 2,0 yaitu untuk kondisi pembebanan normal. Menggunakan persamaan 9, didapatkan nilai 0,14 (<faktor aman) sehingga Bendung Kamijoro dapat dikatakan aman terhadap gelincir.

3.8 Stabilitas terhadap Guling

Tinjauan terhadap guling diambil di dua titik lantai kolam olak, yaitu titik M dan Q (lihat lampiran Gambar A.2). Berdasarkan Tabel, untuk hasil perhitungan gaya *uplift* telah diketahui nilai gaya *uplift* untuk titik M dan Q adalah sebesar 10,2 t/m² dan 9,34 t/m², dengan kedalaman air pada hilir sebesar 8,18 m. Selain itu, tebal lantai beton pada titik tersebut adalah sebesar 2,3 m dan 1,69 m. Perhitungan dilakukan dengan kondisi pembebanan normal dengan faktor aman 1,5.

Tabel 4 Hasil perhitungan gaya uplift pada bendung

Point	Head Drops	Tinggi Point (m)	Beda Tinggi (m)	gaya tekan	tekanBerat (ton)	Lengan (m)	Momen (Tm)
	N_d	z	H	P	U	x	
A	1	7,12	15,32	8,20	8,20	51,10	419,24
B	6	7,13	15,30	8,17	8,17	50,60	413,24
C	7	8,54	15,29	6,75	6,75	50,37	340,06
D	8	8,1	15,29	7,19	7,19	48,09	345,56
E	9	6,17	15,28	9,11	9,11	44,55	405,86
F	10	7,21	15,27	8,06	8,06	42,79	345,08
G	11	7,11	15,27	8,16	8,16	40,54	330,77
H	12	5,20	15,26	10,06	10,06	39,4	396,50
I	13	5,18	15,26	10,08	10,08	37,87	381,65
J	14	3,19	15,25	12,06	12,06	37	446,31
K	16	3,19	15,24	12,05	12,05	34,9	420,59
L	20	4,82	15,22	10,40	10,40	29,9	310,94
M	24	4,93	15,20	10,27	10,27	24,95	256,16
N	28	5,1	15,18	10,08	10,08	19,9	200,49
O	32	5,33	15,15	9,82	9,82	14,9	146,36
P	36	5,56	15,13	9,57	9,57	9,89	94,65
Q	40	5,77	15,11	9,34	9,34	4,98	46,50
R	42	5,91	15,10	9,19	9,19	1,83	16,81
S	43	4,91	15,09	10,18	10,18	1,15	11,70
T	44	4,93	15,09	10,16	10,16	0	0,000
U	46	8,81	15,08	6,27	6,27	-1,56	-9,77
Jumlah					195,16		5318,78

Tabel 5 Hasil perhitungan gaya berat air vertikal dan horizontal pada bendung

Pias	Gaya Berat Vertikal	Lengan (m)	Momen (tm)	Pias	Gaya Berat	Horizontal	Lengan (m)	Momen (tm)
	(ton)		x		(ton)			
W_v					W_H			
WV1	-18.81	45.49	-855.76	WH1	4,495	5,82	26,161	
WV2	-1.43	46.71	-66.70	WH2	29,58	3,18	94,064	
WV3	-19.82	41.16	-815.75	WH3	0,875	3,43	3,001	
WV4	-0.78	43.06	-33.93					
WV5	-3.20	39.70	-127.00					
WV6	-15.25	37.45	-571.11					
WV7	-268.77	15.30	-4112.24					
WV8	-59.15	24.93	-1474.61					
Jumlah	-387,22		-8057,15	Jumlah	34,95		123,227	

Tabel 6. Hasil perhitungan gaya tekan lumpur pada bendung

Elm	Rapat massa, ρ_s (ton/m ³)	h (m)	Gaya Tekan, PS (ton/m ³)	Berat (ton)	WV (ton)	WH (ton)	Lengan X (m)	Lengan y(m)	Momen V (Tm)	Momen H (Tm)
SH1		1,42	0,625	0	0,63	0	4,97	0	3,12	
SH2	1,86	0,95	0,279	0	0,28	0	6,27	0	1,75	
SV1	1,45		0,652	-0,65	0	46,69	0	-30,44	0	
SV2	0,95		0,279	-0,28	0	43,06	0	-12,01	0	
Jumlah			0,93		0,91			-42,46	4,87	

Menggunakan Persamaan 10, diketahui bahwa Bendung Kamijoro dapat dikatakan aman terhadap guling.

3.9 Stabilitas terhadap Pipping

Pengecekan terhadap *pipping* dilakukan dengan menggunakan Metode Lane. Pengecekan terhadap *pipping* ini dilakukan pada 2 kondisi yaitu pada muka air normal dan banjir. Tabel 9 menunjukkan data perhitungan angka aman rembesan (C_L) pada tanah dibawah bendung. Dengan menggunakan persamaan 11, diperoleh nilai C_L pada kondisi banjir dan normal secara berturut-turut adalah 134,13 dan 7,93.

Berdasarkan hasil perhitungan angka aman rembesan Lane dan ketentuan harga minimum rembesan Lane untuk jenis tanah pasir kasar (lihat Tabel 2), dapat disimpulkan bahwa lapisan tanah dibawah bendung aman terhadap *pipping* pada kondisi banjir maupun pada kondisi muka air normal. Karena persyaratan aman terhadap *pipping* untuk jenis pasir kasar hanyalah sebesar 5,0. Besar atau tidaknya nilai angka rembesan lane ini bergantung pada nilai dari selisih antara tinggi muka air hulu dan hilir, karena rembesan terjadi apabila terdapat perbedaan tinggi muka air hulu dengan hilir yang cukup signifikan. Berdasarkan hasil perhitungan diatas nilai dari angka aman rembesan lane pada kondisi banjir sangat

Tabel 7 Hasil perhitungan total gaya vertikal pada bendung

Komponen Gaya	Gaya Vertikal
Berat sendiri	-313,71
Gaya gempa	0,000
Gaya air permukaan	-387,22
Gaya air <i>uplift</i>	195,16
Gaya tekan lumpur	-0,93
Jumlah	-506,69

Tabel 8 Hasil perhitungan luasan tampang tiap titik pondasi

Pondasi	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)
A	0,5		0,5
B	2		2,0
C	0,5		0,5
D	1,05		1,1
E	1,95	1	2,0
F	2,1		2,1
G	1,5		1,5
H	2,1		2,1
I	33,02		33,0
J	1,15		1,2
Jumlah			45,9

Tabel 9 Data perhitungan angka rembesan Lane

Kondisi	Panjang Bendung (m)	Pondasi	Tinggi muka air (m)	
			Hulu	Hilir
Ver.		Hor.		
Banjir	19,49	46,15	(+28,54)	(+28,28)
Normal	19,49	46,15	(+24,50)	(+20,10)

tinggi yaitu sebesar 134,13. Hal ini dikarenakan perbedaan tinggi antara muka air hulu dengan hilir sangatlah kecil yaitu hanya berkisar 0,26 m.

4 KESIMPULAN

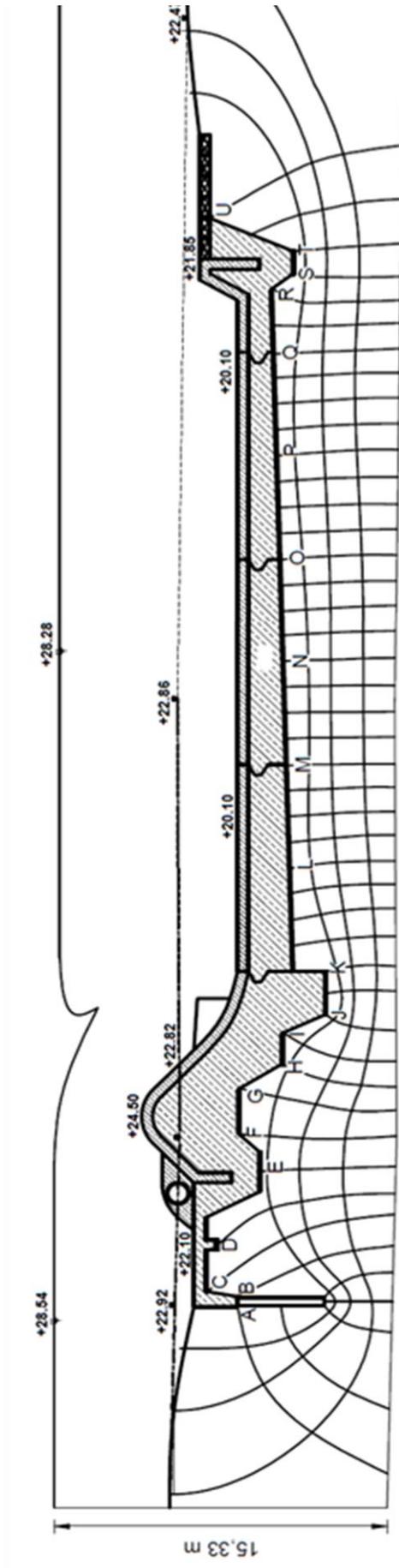
Berdasarkan hasil analisis stabilitas pada Bendung Kamijoro, dapat disimpulkan bahwa:

- Berdasarkan kepada analisis yang telah dilakukan untuk kontrol stabilitas bendung terhadap gelincir, maka Bendung Kamijoro dapat dikatakan aman terhadap gelincir. Hal ini dikarenakan nilai dari tangen resultan semua gaya pada bendung memiliki nilai 0.14, yang mana nilai ini lebih kecil dari nilai koefisien gesekan tanah dibagi oleh nilai faktor aman yaitu sebesar 0.2.
- Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada dua titik tinjauan (titik M dan titik Q) untuk kontrol stabilitas terhadap guling, maka Bendung Kamijoro dapat dikatakan aman terhadap guling. Hal ini dikarenakan dari kedua titik tersebut yaitu titik M dan titik Q, tebal lantai kolam olak memiliki nilai 2.3 dan 1.69, yang mana nilai ini lebih besar dari faktor amannya yaitu 1.26 dan 0.725.
- Faktor aman (*safety factor*) terhadap *pipping* pada Bendung Kamijoro ini adalah sebesar $C = 134.13$ (untuk kondisi banjir) dan $C = 7.93$ (untuk kondisi muka air normal), yang mana persyaratan aman

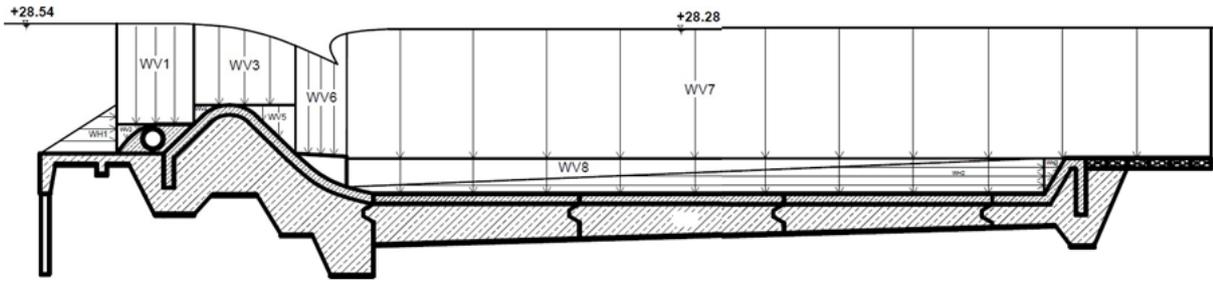
terhadap *pipping* untuk nilai aman rembesan Lane pada jenis pasir kasar hanyalah sebesar 5,0. Maka Bendung Kamijoro ini dapat dikatakan sangat aman terhadap *pipping*.

Daftar Pustaka

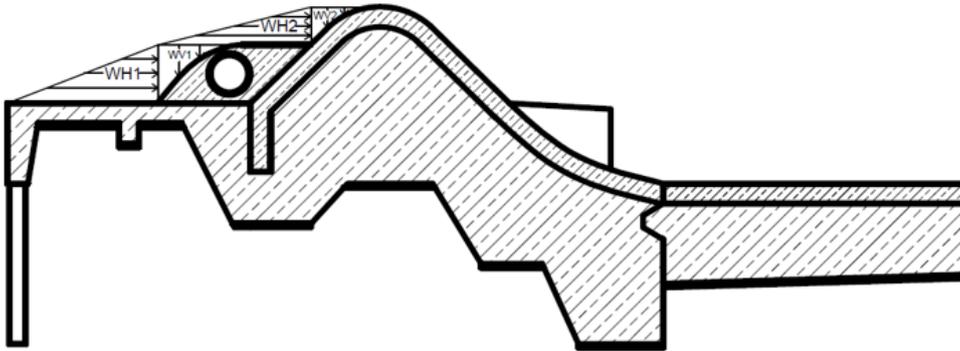
- Asl, M.S, Parvizi, M., Armin, M., Berronnes, R.F., 2015, Internal Erosion under Spillway Rested on an Embankment Dam, *International Journal of Mining and Geo-Engineering*, 49(2), 269-279
- Aziz, L.J., Abdallah, H.M., 2017. Suitable Location of Sheet Pile Under Dam Resting on Sandy Soil with Cavity. *Kufa Journal of Engineering*, 9(2), 168-188.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2013, *Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama KP-02*, Kementerian Pekerjaan Umum Jakarta
- Firnanda, A., Fauzi, M., Siswanto, 2011, Analisis Stabilitas Bendung (Studi Kasus: Bendung Tamiang), *JomFTEKNIK*, 3(2), 1-11.
- Mangroe, V.R., Wuisan, E.M., Kawet, L., Tangkudung, H., 2013, Perencanaan Bendung untuk Daerah Irigasi Sulu, *Jurnal Sipil Statik*, 1(7), 533-541
- Prasasti, I., Suprpto, M., Surjandari, N.S., 2013, Evaluasi Hidrolis Kerusakan dan Konsep Perbaikan Bendung Cileumeuh di Kabupaten Cilacap, *Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 54-65
- Prastumi, Suseno, H., Pratama, F.Y., 2011, Studi Perencanaan Bentuk Bendungan Beton Sederhana yang Paling Efisien, *Rekayasa Sipil*, 5(3), 130-136.
- Sabihi, S., Fauzi, M., Siswanto, 2011, Analisis Perencanaan Bendung (Studi Kasus Bendung Botung), *JomFTEKNIK*, 4(2), 1-17
- Shahrbanozadeh, M., Barani, G.A., Shojaee, S., 2015, Simulation of Flow Through Dam Foundation by Isogeometric Method, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 18, 185-193.
- Sompie, O.B.A., Puntororing, C., 2014. Analisis Tegangan-Regangan, Tekanan Air Pori dan Stabilitas Model Dam Timbunan Tanah. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(4), 205-214.
- Sroka, Z., Walczak, Z., Wosiewicz, B., 2014, Description and Application of a Model of Seepage Under a Weir Including Mechanical Clogging, *Journal of Water and Land Development*, 21, 3-9.
- Sukirman, 2014, Analisis Rembesan Pada Bendung Tipe Urugan Melalui Uji Hidrolik Di Laboratorium Hidro FT UNSRI, *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(2), 238-244.
- Sofyan, Z., Frizaldi, 2017. Analisa Desain Bendung D.I Kawasan Sawah Laweh Tarusan (3.273 Ha) Kabupaten Pesisir Selatan Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 4(1), 70-78.



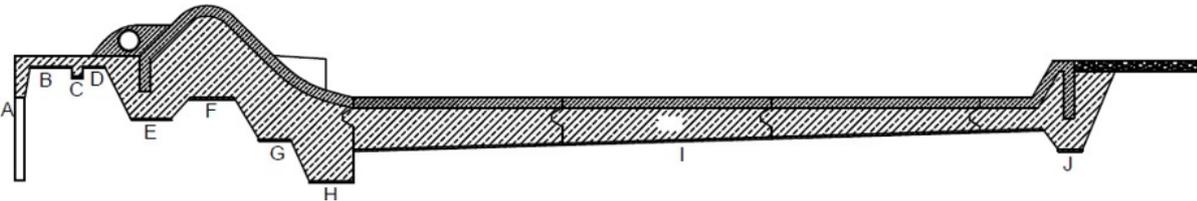
Gambar A.2 Jaringan Aliran Bendung Kamijoro



Gambar A.3 Gaya Berat Air Bendung Kamijoro



Gambar A.4 Gaya Tekan Lumpur Bendung Kamijoro



Gambar A.5 Pembagian Titik Pondasi