

ANALISIS REMBESAN DAN STABILITAS BENDUNGAN MARGATIGA DENGAN METODE ELEMEN HINGGA MODEL 2D MENGGUNAKAN SOFTWARE PLAXIS CE V20

Alwi Melani¹, M. Ichwanul Yusup², Fitri Aida Sari³ dan Nila Prasetyo Artiwi⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Banten Jaya, Jl. Raya Ciwaru II No.73 Kota Serang, Banten

Email: alwi216@gmail.com

Email: ichwanulyusup@yahoo.com

Email: fitriaidasari01@gmail.com

Email: nilaprasetyo@unbaja.ac.id

ABSTRAK

Bendungan Margatiga merupakan bendungan komposit antara bendungan beton gravity dan bendungan urugan batu dengan inti tegak. Rembesan pada bendungan type urugan merupakan hal yang pasti terjadi dan tidak dapat dihindarkan. Namun, rembesan yang berlebihan dan tidak terkontrol dapat menyebabkan perlemahan pada bendungan type urugan. Dari pengalaman kejadian dimasa lalu rembesan merupakan penyebab utama terhadap kegagalan pada bendungan type urugan. Rembesan akan menyebabkan erosi buluh ini akan semakin berkembang dan membesar sehingga terjadi kelongsoran pada bendungan. Analisis data dalam penelitian ini dimodelkan dengan metode elemen hingga 2d menggunakan program PLAXIS V20. Plaxis merupakan program elemen hingga yang dikembangkan untuk analisis deformasi, stabilitas, dan aliran air tanah dalam rekayasa geoteknik. Analisis dilakukan dengan beberapa skenario variasi tinggi muka air, yaitu: saat selesai konstruksi, muka air normal, muka air banjir dan kondisi surut cepat. Dari hasil analisis keamanan bendungan berupa nilai faktor keamanan (FK) didapat nilai terkritis adalah 1,13 pada kondisi muka air normal dengan pembebanan gempa desain maksimum pada periode ulang T= 5000 tahun. Debit rembesan pada saat muka air banjir pada kaki bendungan di sisi hilir didapat $3,56 \times 10^{-4}$ m³/detik pada bendungan urugan kiri dan $3,05 \times 10^{-4}$ m³/detik pada bendungan urugan kanan.

Kata kunci: bendungan margatiga, analisis stabilitas lereng, analisis rembesan, metode elemen hingga, faktor keamanan

1. PENDAHULUAN

Bendungan Margatiga terletak pada sungai Way Sekampung ± 54,74 Km di sisi hilir Bendung Argoguruh secara administrasi terletak di Desa Negeri Jemanten (Tumpuan Kiri) dan Desa Trisinar (Tumpuan Kanan), Kecamatan Margatiga, Kabupaten Lampung Timur Provinsi Lampung. Secara geografis Bendungan Margatiga terletak pada 105° 28' 45" – 105° 29' 46" BT dan 5° 11' 59" – 5° 12' 54" LS.

Bendungan Margatiga merupakan bendungan tipe komposit yaitu berupa bendungan beton gravity dan bendungan urugan dengan inti tegak pada sisi kiri dan kanan dari bendungan beton gravity. Pembangunan Bendungan Margatiga bertujuan untuk mengairi Daerah Irigasi seluas 16.588 Ha. Daerah Irigasi yang mendapat manfaat dari bendungan Margatiga adalah Daerah Irigasi (DI) Jabung Kiri seluas 5.638 Ha dan Daerah Irigasi (DI) Jabung Kanan 10.950 Ha. Bendungan Margatiga diproyeksikan sebagai penyedia air irigasi sehingga dapat meningkatkan intensitas tanam DI Jabung sampai dengan 200 persen. Selain itu, Bendungan Margatiga juga bermanfaat sebagai penyedia air baku di Lampung Timur sebesar 0,80 m³/detik, reduksi banjir sebesar 83,1 m³/detik, konversi air dan pengembang wisata (Virama Karya, 2015).

Selain manfaatnya yang besar bagi kebutuhan manusia, akan tetapi bendungan juga dapat memicu bencana yang besar pula ketika terjadi kegagalan pada bendungan tersebut. Apabila bendungan runtuh

maka akan memicu banjir bandang yang mengakibatkan kerugian yang sangat besar baik jatuhnya korban jiwa, kehilangan harta benda, kerusakan infrastruktur dan kerusakan lingkungan (Sujono, 2012).

Desain sebuah bendungan harus memenuhi tiga kriteria pokok bendungan, yaitu: aman terhadap kegagalan struktur, aman terhadap kegagalan hidraulik dan aman terhadap kegagalan akibat rembesan. Rembesan yang keluar melalui tubuh bendungan atau pondasi merupakan salah satu indikator penting untuk mengetahui kondisi keamanan suatu bendungan (Soedibyo, 2003).

Rembesan pada bendungan urugan merupakan kejadian yang tidak dapat dihindari, akan tetapi rembesan yang berlebihan berpotensi membahayakan bendungan. Rembesan yang berlebihan dapat mengakibatkan terjadinya erosi buluh yang semakin lama semakin berkembang dan semakin luas, yang kemudian disusul dengan terjadinya longsoran atau keruntuhan bendungan (Garg, 1976).

Erosi buluh merupakan erosi yang berkembang pada bendungan. Diawali dari titik pusat rembesan yang mempunyai beda tinggi tekanan yang cukup besar sehingga mampu menimbulkan kecepatan yang menimbulkan erosi (Departemen Pekerjaan Umum, 1999)

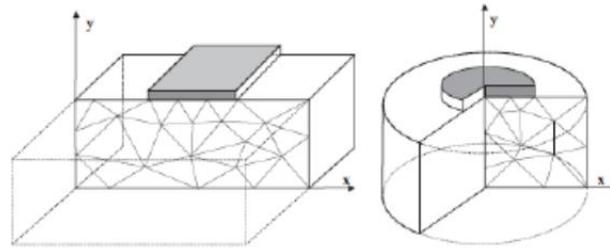
Berdasarkan pada peristiwa kegagalan bendungan yang telah terjadi, sebagian besar kegagalan bendungan disebabkan oleh rembesan yang tidak terkendali. Maka pengendalian rembesan merupakan faktor esensial dalam mendesain sebuah bendungan.

Air pada keadaan statis didalam tanah, akan mengakibatkan tekanan hidrostatik yang arahnya ke atas (*uplift*). Akan tetapi, jika air mengalir lewat lapisan tanah, aliran air akan mendesak partikel tanah sebesar tekanan rembesan hidrodinamis yang bekerja menurut arah alirannya. Besarnya tekanan rembesan merupakan fungsi dari gradien hidrolik (Hardiyatmo, H. C. 2002).

Debit rembesan yang cukup besar yang keluar dari kaki bendungan apabila tidak membawa material halus maka hal tersebut tidak akan memicu terjadinya keruntuhan struktural. Namun, apabila hal tersebut dibiarkan akan dapat menimbulkan kehilangan air yang cukup besar, yang akan mengganggu kebutuhan air (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Direktorat Sungai Danau dan Waduk, 2005)

Plaxis merupakan paket *software* dengan metode elemen hingga yang telah dikembangkan khusus untuk analisa deformasi dan stabilitas pada proyek rekayasa geoteknik. Prosedur input grafis yang sederhana memungkinkan penggunaanya dengan mudah memodelkan struktur yang kompleks dan fasilitas output yang disempurnakan dapat memberikan presentasi rinci hasil komputasi. Perhitungannya sendiri sepenuhnya otomatis dan berdasarkan prosedur numerik yang kuat. Pengembangan *plaxis* dimulai pada tahun 1987 di *Delft University of Technology* sebagai inisiatif dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Pengelolaan Air Belanda (*Rijkwaterstaat*). Tujuan awalnya adalah mengembangkan kode elemen hingga 2D yang mudah digunakan untuk analisis tanggul sungai di tanah lunak dataran rendah Belanda. Pada tahun-tahun berikutnya, *PLAXIS* diperluas untuk mencakup sebagian besar bidang rekayasa geoteknik lainnya. Karena kegiatan yang terus berkembang, perusahaan *PLAXIS (Plaxis bv)* dibentuk pada tahun 1993. Pada 2018, *PLAXIS* adalah bagian dari *Bentley Systems, Incorporated*, sebuah perusahaan yang berbasis di Amerika Serikat yang mengkhususkan diri dalam perangkat lunak untuk perencanaan, desain, dan pemeliharaan proyek infrastruktur.

Pada permodelan *plaxis 2d* bidang yang dimodelkan dapat didefinisikan menjadi bidang regangan (*plain strain*) dan *axis-simetri*. Model *plain strain* digunakan untuk geometri dengan penampang (kurang lebih) seragam dan status tegangan yang sesuai serta skema pembebanan pada panjang tertentu yang tegak lurus terhadap penampang (arah-z). Sedangkan pada model *axis-simetris* digunakan untuk struktur melingkar dengan (kurang lebih) penampang radial seragam dan skema pembebanan di sekitar sumbu pusat, di mana deformasi dan keadaan tegangan diasumsikan identik dalam segala arah radial (PLAXIS, 2012).



Gambar 1 Model *Plain Strai* dan Axis-simetri
Sumber: Manual Plaxis

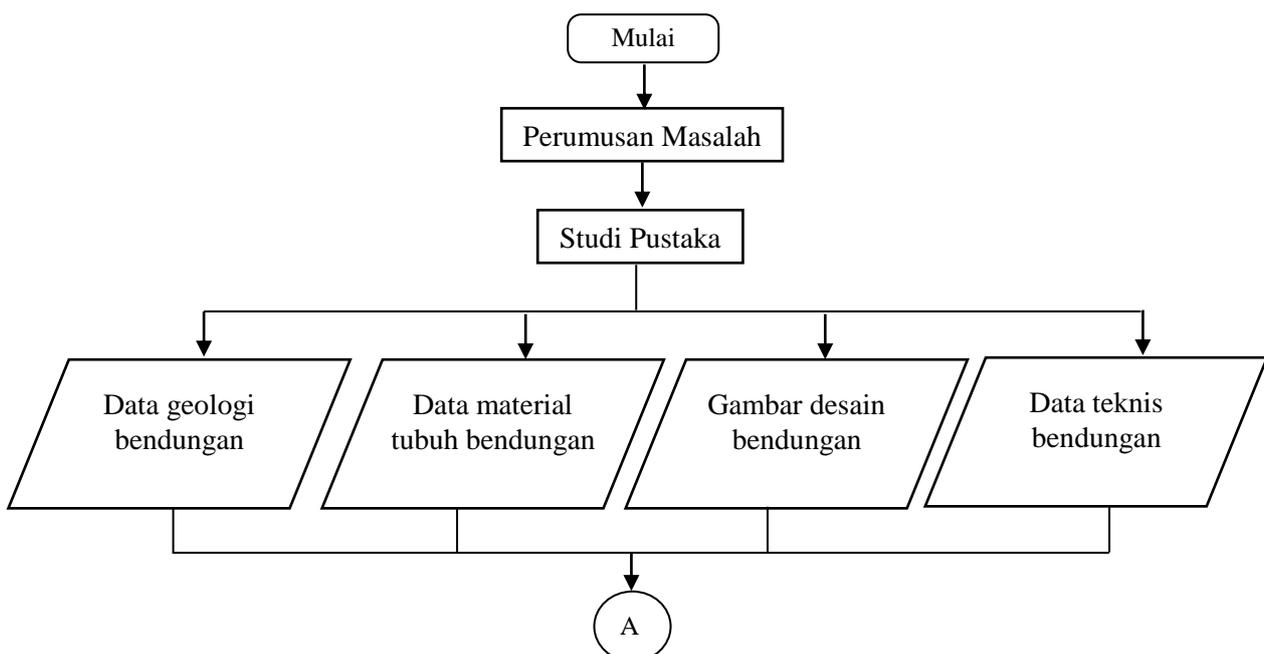
2. METODOLOGI PENELITIAN

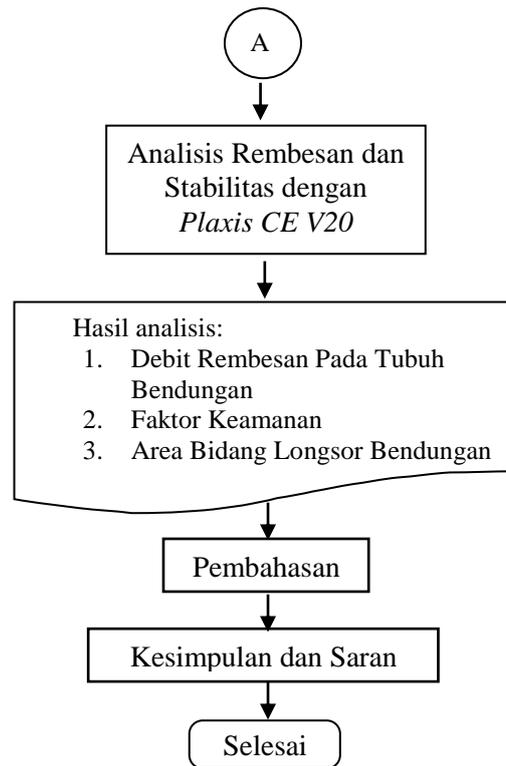
Penelitian dilakukan di Bendungan Margatiga, Kecamatan Margatiga Kabupaten Lampung Timur Provinsi Lampung. Secara geografis Bendungan Margatiga terletak pada $105^{\circ} 28' 45''$ - $105^{\circ} 29' 46''$ BT dan $5^{\circ} 11' 59''$ - $5^{\circ} 12' 54''$ LS. Penelitian ini dilaksanakan selama empat bulan yaitu, mulai bulan maret 2022 sampai dengan juni 2022.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif. Di mana hal yang ingin diketahui dari Bendungan Margatiga adalah nilai Faktor Keamanan stabilitas bendungan pada variasi muka air yang berbeda serta nilai debit rembesan yang terjadi pada tubuh bendungan.

Data yang digunakan pada studi ini adalah data sekunder yang diperoleh dari konsultan supervisi pembangunan Bendungan Margatiga melalui izin dari BBWS Mesuji Sekampung. Data sekunder tersebut berupa data properties material untuk struktur bendungan urugan, data properties pondasi bendungan, geometri bendungan urugan dan tinggi muka air rencana. Selain itu juga digunakan data-data dari standar dan literatur sebagai pendekatan untuk menganalisis permasalahan terkait pada studi ini.

Analisis data dalam studi ini dimodelkan dengan model numerik berupa metode elemen hingga menggunakan program *PLAXIS CE V.20* yang memberikan keluaran berupa nilai faktor keamanan, debit rembesan, area bidang runtuh pada kondisi akhir pembangunan, pada kondisi waduk terisi air penuh, pada kondisi waduk terisi air sebagian dan pada kondisi waduk terisi air penuh kemudian turun secara tiba-tiba. Hasil faktor keamanan yang diperoleh akan dibandingkan dengan syarat minimum faktor keamanan dari RSNI-M-03-2002, sehingga bendungan dapat dinyatakan aman atau tidak aman. Gambaran sistematis pengerjaan studi secara keseluruhan dapat dilihat pada **Gambar 1**





Gambar 2 Bagan Alir Penelitian
Sumber: Hasil Analisis, 2022

3. DATA DAN ANALISA

3.1 Parameter Material Bendungan Urugan

Parameter yang digunakan dalam permodelan merupakan data pengujian laboratorium yang dilakukan pada material yang terpasang.

Tabel 1 Parameter Model Plaxis

No.	Material	Densitas		Kuat Geser			Permeabilitas K (cm/s)	Modulus Elastisitas E (kN/m ²)
		γ_{dry} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	c (kN/cm ²)	ϕ (^o)	ψ (^o)		
1	Zona I Inti Lempung	15,97	20,00	22,80	31,80	1,80	$9,549 \times 10^{-7}$	5000
2	Zona 2 Filter Halus	15,23	16,15	0,035	33,40	3,40	$1,34 \times 10^{-2}$	35000
3	Zona 3 Filter Kasar	15,92	17,07	0,052	31,40	1,40	$4,01 \times 10^{-3}$	40000
4	Zona 4 Rockfill	21,40	22,20	0,03	40,53	10,53	1×10^{-2}	100000
5	Pondasi Tuff	16,00	18,63	0,09	28,23	0	1×10^{-4}	1200000

Sumber: Yodya Karya KSO, 2022

3.2 Kelas Risiko Bendungan

Dalam penentuan percepatan puncak yang digunakan untuk Bendungan Margatiga, dilakukan kelas risiko terlebih dahulu. Adapun poin-poin yang digunakan dalam penentuan kelas risiko disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 1 Kelas Risiko Bendungan Margatiga

No.	Pengaruh Risiko	Ukuran	Faktor Risiko	Bobot
1	Kapasitas (m ³)	68,89	FR _K	4
2	Tinggi (m)	20	FR _T	2
3	Kebutuhan Evakuasi (orang)	100 – 1000	FR _E	8
4	Tingkat Kerusakan Hilir	Tinggi	FR _H	10
			FR _{Total}	24
			Klasifikasi	III (Tinggi)

Sumber: Hasil Perhitungan Penelitian, 2022

Berdasarkan kelas risiko bendungan kemudian dilakukan penentuan beban gempa rencana mengikuti Keputusan DirJen SDA No. 27/KPTS/D/2008 mengenai Pedoman Analisa Dinamik Bendungan Urugan.

Kelas risiko Bendungan Margatiga termasuk kelas III (Tinggi), maka:

1. Analisis dengan persyaratan tanpa kerusakan pada periode ulang $T=100$ tahun yakni 0.20 g untuk konstruksi permanen dengan $FK \geq 1.20$ sesuai dengan kriteria yang berlaku.
2. Persyaratan diperkenankan ada kerusakan tanpa keruntuhan pada periode ulang $T=5000$ tahun yakni 0.50 g dengan $FK \geq 1.00$, jika tidak dipenuhi harus dilakukan analisis dinamik untuk menghitung alihan tetap (alihan tetap harus kurang dari 50% tinggi jagaan).

Koefisien gempa termodifikasi Bendungan Urugan Margatiga adalah sebagai berikut:

1. Persyaratan tanpa kerusakan pada periode ulang $T = 100$ tahun menghasilkan percepatan gempa maksimum di permukaan tanah sebesar:
 $K_h = 0,20$
 $K_o = \alpha_2 \times K_h = 0,5 \times 0,2 = 0,10$
 Untuk $y/H = 0,25$; $K_f = K_o \times (2,5 - 1,85y/H) = 0,204$
 Untuk $y/H = 0,50$; $K_f = K_o \times (2,0 - 0,60y/H) = 0,170$
 Untuk $y/H = 0,75$; $K_f = K_o \times (2,0 - 0,60y/H) = 0,155$
 Untuk $y/H = 1,00$; $K_f = K_o \times (2,0 - 0,60y/H) = 0,140$
2. Persyaratan tanpa kerusakan pada periode ulang $T = 5000$ tahun menghasilkan percepatan gempa maksimum di permukaan tanah sebesar:
 $K_h = 0,50$
 $K_o = \alpha_2 \times K_h = 0,5 \times 0,5 = 0,25$
 Untuk $y/H = 0,25$; $K_f = K_o \times (2,5 - 1,85y/H) = 0,509$
 Untuk $y/H = 0,50$; $K_f = K_o \times (2,0 - 0,60y/H) = 0,425$
 Untuk $y/H = 0,75$; $K_f = K_o \times (2,0 - 0,60y/H) = 0,388$
 Untuk $y/H = 1,00$; $K_f = K_o \times (2,0 - 0,60y/H) = 0,350$

3.3 Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Masa Setelah Pembangunan

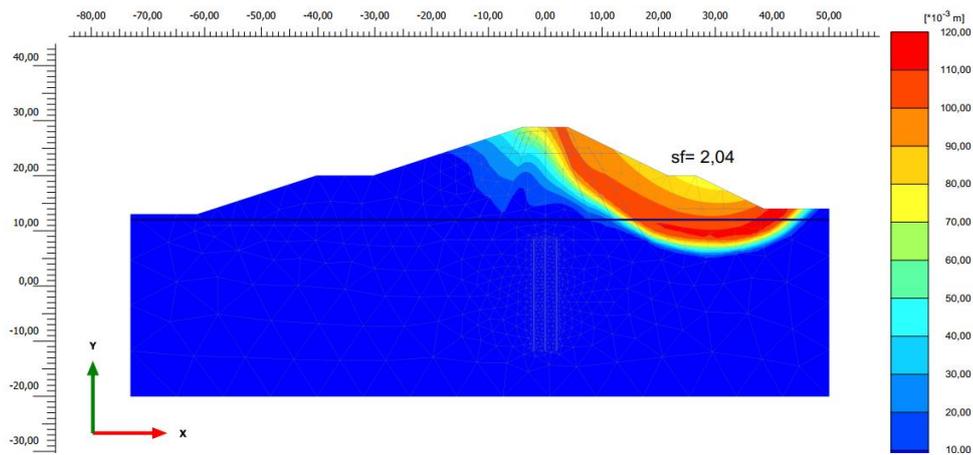
Analisa stabilitas lereng Bendungan Margatiga pada kondisi *after construction*, kondisi tekanan air pori didasarkan pada kondisi muka air sungai way sekampung. Hasil analisis keamanan Bendungan Margatiga pada kondisi *after construction* dengan skenario pembebanan statik, pembebanan gempa OBE (*Operated Based Earthquake*) dan MDE (*Maximum Design Earthquake*) adalah sebagai berikut:

Tabel 2 Resume Hasil Analisis Keamanan Bendungan Kondisi Setelah Pembangunan

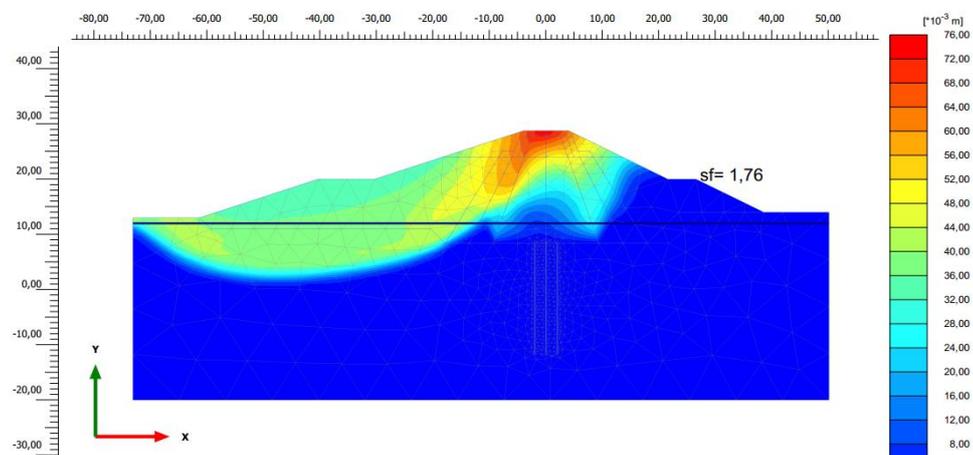
Pembebanan	k	Faktor Keamanan	Keterangan
Statik	0	2,04	Syarat FK > 1,50
Gempa OBE	0,070	1,76	Syarat FK > 1,20
Gempa MDE	0,175	1,21	Syarat FK > 1,00

Sumber: Hasil Perhitungan Penelitian, 2022

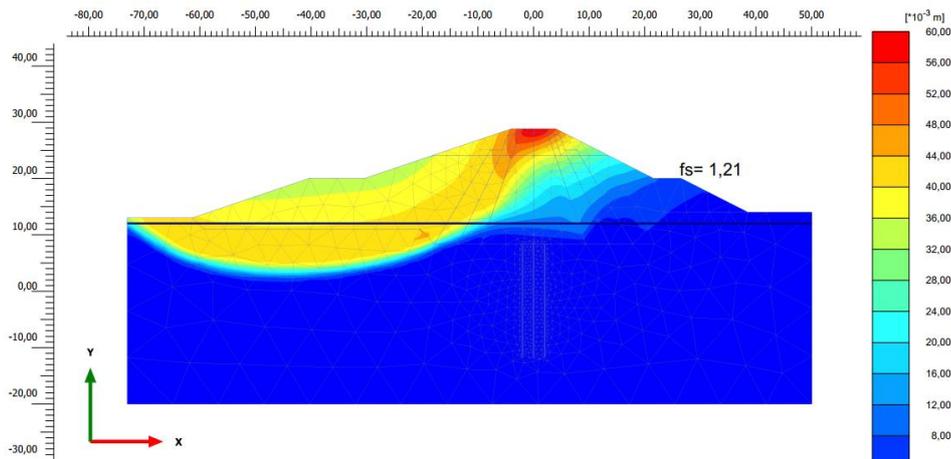
Hasil analisis untuk bidang gelincir yang terjadi pada kondisi setelah pembangunan dapat dilihat pada **Gambar 3 – Gambar 5**.



Gambar 3 Bidang Gelincir Beban Statik Kondisi Setelah Pembangunan
Sumber: Hasil Perhitungan, 2022



Gambar 4 Bidang Gelincir Beban OBE Kondisi Setelah Pembangunan
Sumber: Hasil Perhitungan, 2022



Gambar 5 Bidang Gelincir Beban MDE Kondisi Setelah Pembangunan
Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

3.4 Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Muka Air Normal

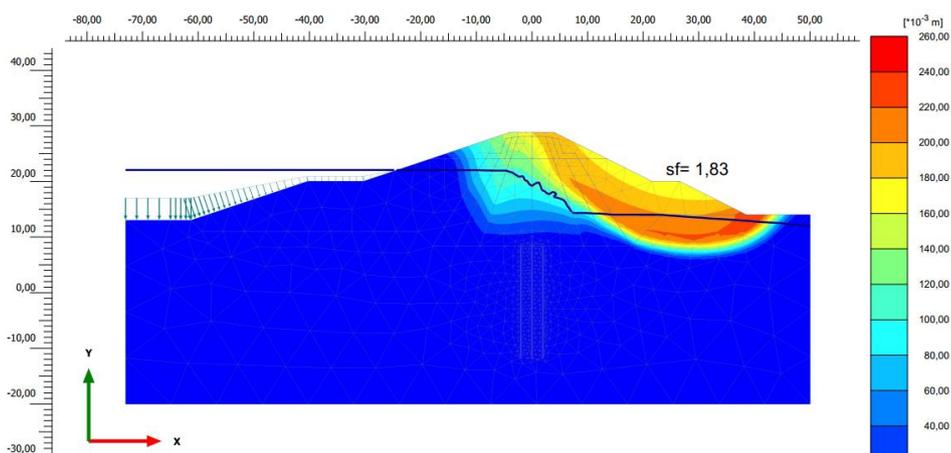
Analisis keamanan Bendungan Margatiga pada kondisi muka air normal pada elevasi +22.00 dianalisis dengan skenario pembebanan statik, skenario pembebanan gempa OBE (*Operated Based Earthquake*) dan skenario pembebanan gempa MDE (*Maximum Design Earthquake*) adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Resume Hasil Analisis Keamanan Bendungan Margatiga
Kondisi Muka Air Normal

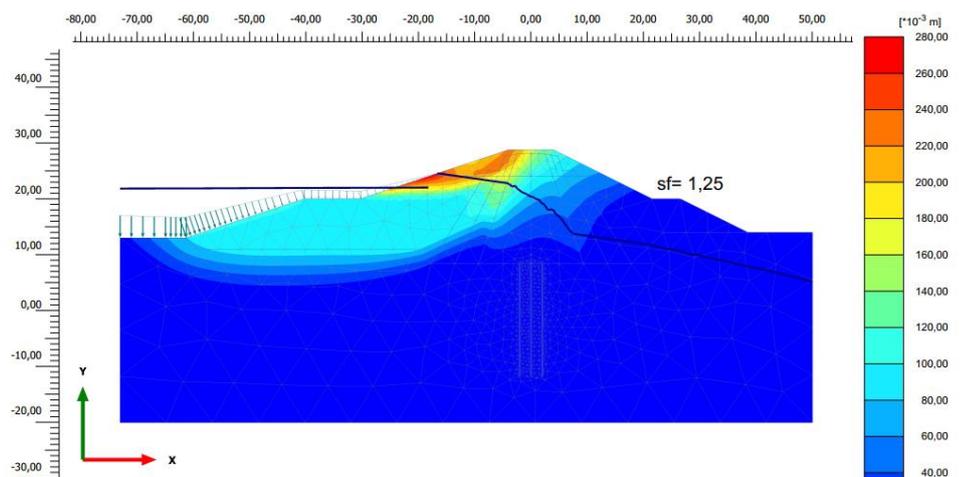
Pembebanan	k	Faktor Keamanan	Keterangan
Statik	0	1,83	Syarat FK > 1,50
OBE	0,14	1,25	Syarat FK > 1,20
MDE	0,35	1,13	Syarat FK > 1,00

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

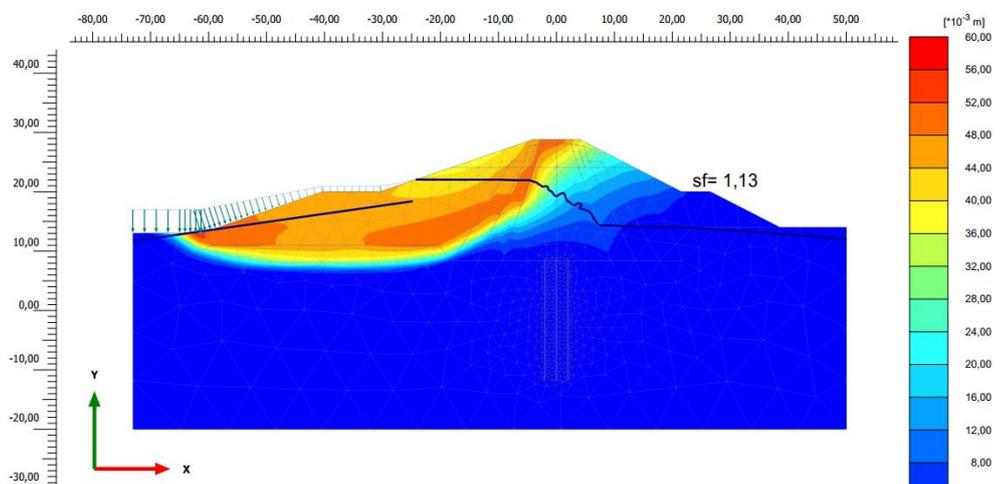
Hasil analisis untuk bidang gelincir yang terjadi pada kondisi Muka Air Normal Elevasi +22.00 dapat dilihat pada **Gambar 6 – Gambar 8**.



Gambar 6 Bidang Gelincir Beban Statik Kondisi Muka Air Normal EL.+22.00
Sumber: Hasil Perhitungan, 2022



Gambar 7 Bidang Gelincir Beban OBE Kondisi Muka Air Normal EL.+22.00
Sumber: Hasil Perhitungan, 2022



Gambar 8 Bidang Gelincir Beban MDE Kondisi Muka Air Normal EL.+22.00
Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

3.5 Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Muka Air Banjir dan Surut Cepat

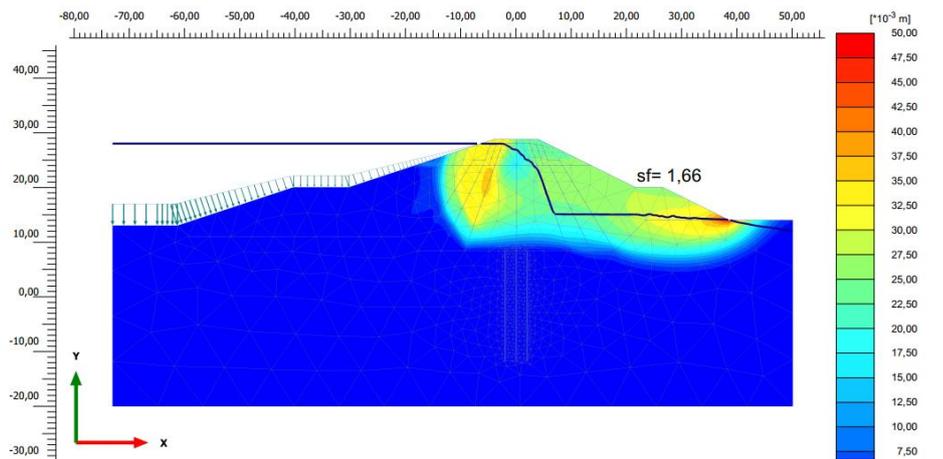
Analisis keamanan Bendungan Margatiga pada kondisi muka air banjir pada elevasi +27.96 dan kondisi surut cepat dari elevasi +27.96 surut sampai dengan elevasi +17.50 dalam waktu 3 hari dianalisis dengan skenario pembebanan statik, adalah sebagai berikut:

Tabel 4 Resume Hasil Analisis Keamanan Bendungan Margatiga Kondisi Muka Air Banjir dan Surut Cepat

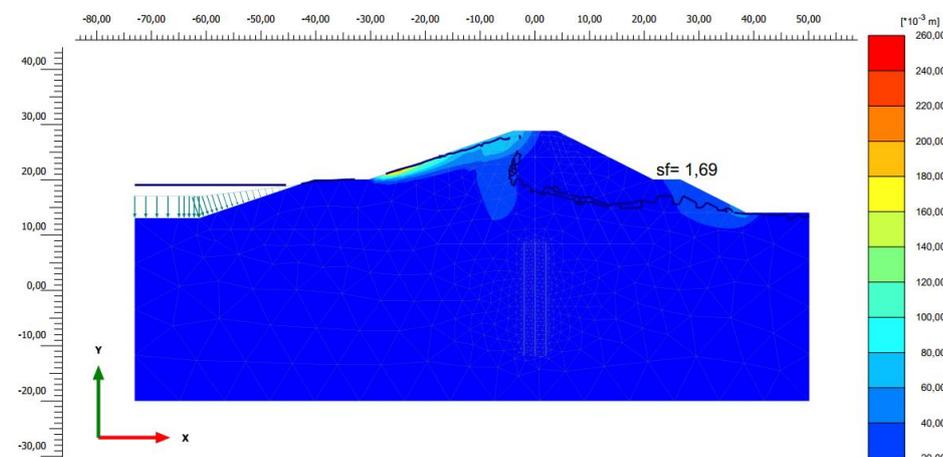
Kondisi	k	Faktor Keamanan	Keterangan
MAB	0	1,66	Syarat FK > 1,50
RDD	0	1,69	Syarat FK > 1,30

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

Hasil analisis untuk bidang gelincir yang terjadi pada kondisi Muka Air Banjir Elevasi +27.96 dan kondisi surut cepat (*Rapid Drawdown*) dapat dilihat pada **Gambar 9** dan **Gambar 10**.



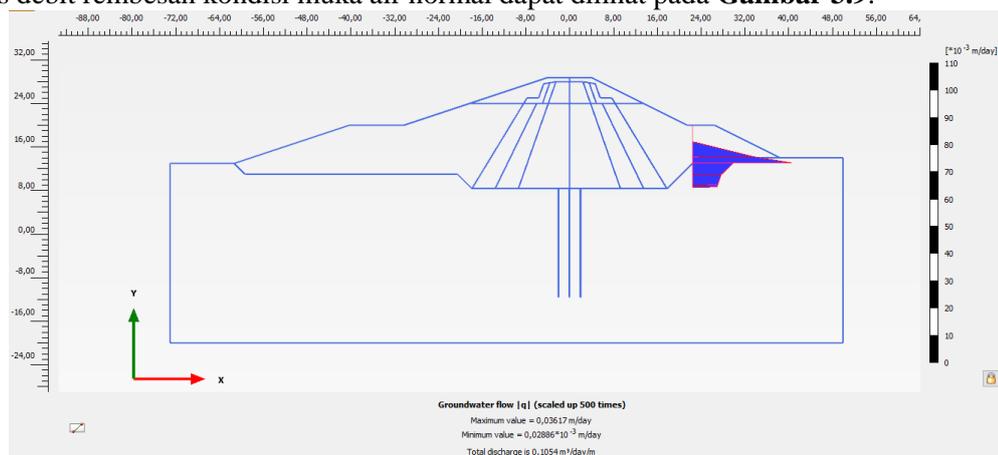
Gambar 9 Bidang Gelincir Kondisi Muka Air Banjir
Sumber: Hasil Perhitungan, 2022



Gambar 10 Bidang Gelincir Kondisi Surut Cepat
Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

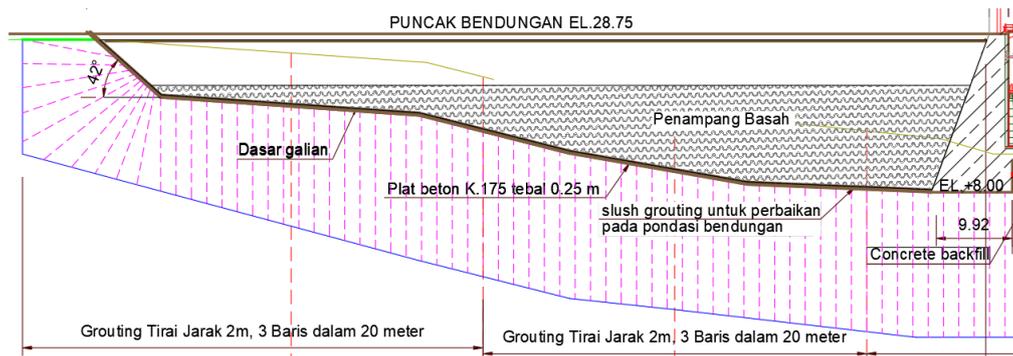
3.6 Analisis Debit Rembesan pada Kondisi Muka Air Normal

Hasil analisis debit rembesan kondisi muka air normal dapat dilihat pada **Gambar 3.9**.



Gambar 11 Debit Rembesan Kondisi Muka Air Normal
Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

Berdasarkan hasil analisis rembesan kondisi muka air normal dengan *metode finite element* dibantu perangkat lunak *plaxis* didapat nilai rembesan di kaki bendungan urugan bagian hilir sebesar $0,1054 \text{ m}^3/\text{day}/\text{m}$ atau sama dengan $1,22 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.



Gambar 12 Penampang Basah Bendungan Urugan Kiri Margatiga Kondisi Muka Air Normal
Sumber: Data Sekunder Penelitian, 2022

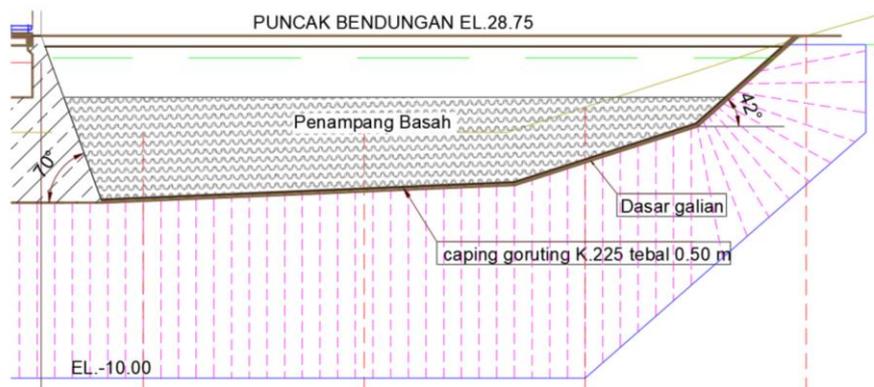
Area basah bendungan urugan kiri kondisi muka air normal adalah $797,35 \text{ m}^2$ dan tinggi basah adalah $14,00 \text{ m}$. Perhitungan untuk memperoleh nilai debit rembesan bendungan kanan adalah sebagai berikut:

$$\text{debit rembesan} = \text{debit rembesan per meter} \times \frac{\text{area basah}}{\text{tinggi basah}}$$

$$\text{debit rembesan} = (1,22 \times 10^{-6}) \times \frac{797,35}{14}$$

$$\text{debit rembesan} = 6,95 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka diperoleh nilai debit rembesan yang terjadi pada bendungan kiri kondisi muka air normal adalah $6,95 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.



Gambar 13 Penampang Basah Bendungan Urugan Kanan Margatiga Kondisi Muka Air Normal
Sumber: Data Sekunder Penelitian, 2022

Area basah bendungan urugan kanan kondisi muka air normal adalah $657,76 \text{ m}^2$ dan tinggi basah adalah $12,00 \text{ m}$. Perhitungan untuk memperoleh nilai debit rembesan bendungan kanan adalah sebagai berikut:

$$\text{debit rembesan} = \text{debit rembesan per meter} \times \frac{\text{area basah}}{\text{tinggi basah}}$$

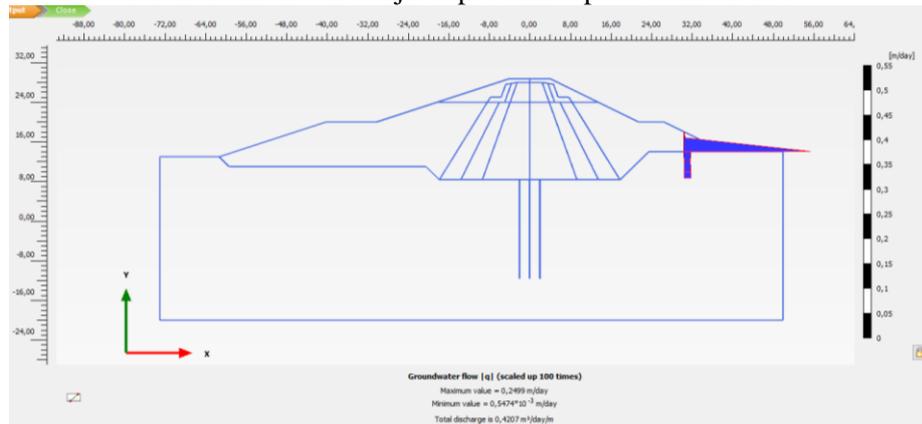
$$\text{debit rembesan} = (1,22 \times 10^{-6}) \times \frac{657,76}{12}$$

$$\text{debit rembesan} = 6,69 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka diperoleh nilai debit rembesan yang terjadi pada bendungan kanan kondisi muka air normal adalah $6,69 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

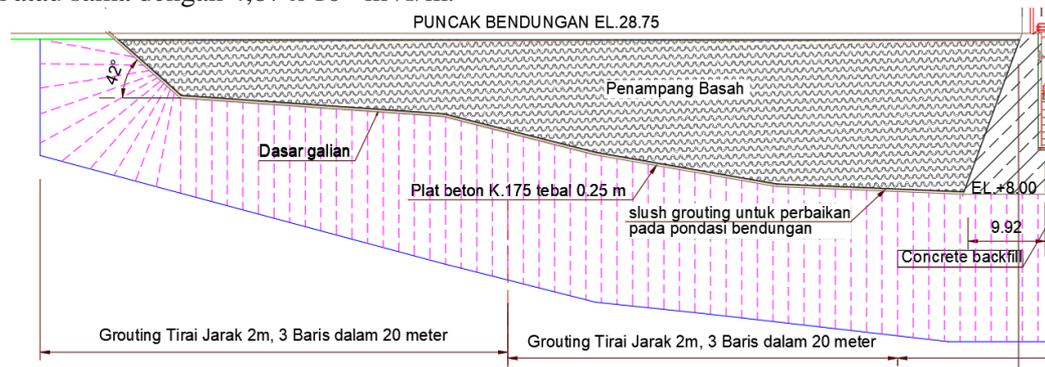
3.7 Analisis Debit Rembesan pada Kondisi Muka Air Banjir

Hasil analisis debit rembesan kondisi muka air banjir dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Debit Rembesan Kondisi Muka Air Banjir
Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

Berdasarkan hasil analisis rembesan kondisi muka air normal dengan metode finite element dibantu perangkat lunak *plaxis* didapat nilai rembesan di kaki bendungan urugan bagian hilir sebesar $0,4207 \text{ m}^3/\text{day}/\text{m}$ atau sama dengan $4,87 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.



Gambar 15 Penampang Basah Bendungan Urugan Kiri Margatiga
Sumber: Data Primer Penelitian, 2022

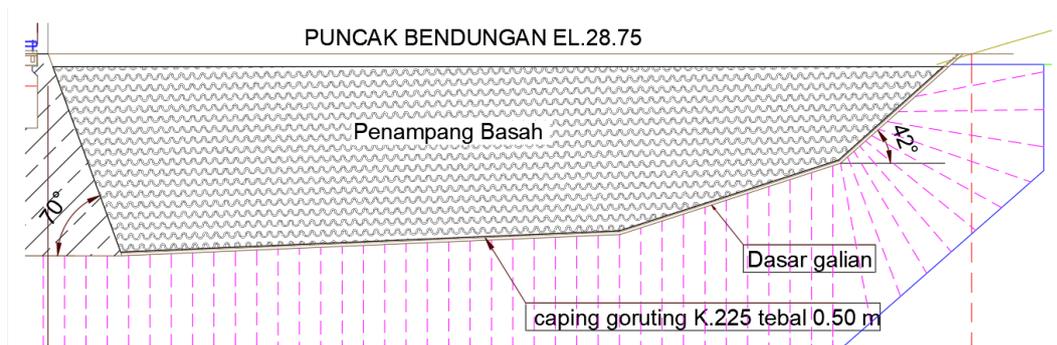
Area basah bendungan urugan kiri kondisi muka air banjir adalah $1460,04 \text{ m}^2$ dan tinggi basah adalah $19,96 \text{ m}$. Perhitungan untuk memperoleh nilai debit rembesan bendungan kiri adalah sebagai berikut:

$$\text{debit rembesan} = \text{debit rembesan per meter} \times \frac{\text{area basah}}{\text{tinggi basah}}$$

$$\text{debit rembesan} = (4,87 \times 10^{-6}) \times \frac{1460,04}{19,96}$$

$$\text{debit rembesan} = 3,56 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka diperoleh nilai debit rembesan yang terjadi pada bendungan kiri kondisi muka air normal adalah $3,56 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$.



Gambar 16 Penampang Basah Bendungan Urugan Kanan Margatiga
Sumber: Data Primer Penelitian, 2022

Area basah bendungan urugan kanan kondisi muka air banjir adalah 1116,08 m² dan tinggi basah adalah 17,79 m. Perhitungan untuk memperoleh nilai debit rembesan bendungan kanan adalah sebagai berikut:

$$\text{debit rembesan} = \text{debit rembesan per meter} \times \frac{\text{area basah}}{\text{tinggi basah}}$$

$$\text{debit rembesan} = (4,87 \times 10^{-6}) \times \frac{1116,08}{17,79}$$

$$\text{debit rembesan} = 3,05 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka diperoleh nilai debit rembesan yang terjadi pada bendungan kanan kondisi muka air normal adalah $3,05 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian Bendungan Margatiga dikategorikan bendungan dengan risiko tinggi karena memiliki nilai tingkat risiko 24. Dengan melakukan analisis terhadap stabilitas lereng dan analisis terhadap rembesan, Bendungan Margatiga dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil Analisis Stabilitas Lereng

Pembebanan	Metode Perhitungan	FK	Syarat FK	Keterangan
Kondisi Setelah Pembangunan				
Statik	FEM	2,04	> 1,50	Aman
Gempa OBE	FEM	1,76	> 1,20	Aman
Gempa MDE	FEM	1,21	> 1,00	Aman
Kondisi steady state (Muka Air Normal EL. +22.00)				
Statik	FEM	1,83	> 1,50	Aman
Gempa OBE	FEM	1,25	> 1,20	Aman
Gempa MDE	FEM	1,13	> 1,00	Aman
Kondisi steady state (Muka Air Banjir EL. +27.96)				
Statik	FEM	1,66	> 1,50	Aman
Kondisi Surut Cepat				
Statik	FEM	1,69	> 1,30	Aman

2. Hasil Analisis Debit Rembesan

Debit rembesan pada beberapa skenario kondisi muka air adalah sebagai berikut:

Kondisi	Metode Perhitungan	Debit	
		Bendungan Urugan Kiri	Bendungan Urugan Kanan
Muka Air Normal	FEM	$6,95 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{det}$	$6,69 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{det}$
Muka Air Banjir	FEM	$3,56 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{det}$	$3,05 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{det}$

5. DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum. (1999). *Panduan Perencanaan Bendungan Urugan Volume III (Desain Pondasi dan Tubuh Bendungan)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Pengairan Direktorat Bina Teknik.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Direktorat Sungai Danau dan Waduk. (2005). *Pedoman Pengendalian Rembesan pada Bendungan Urugan*. Jakarta: Direktorat Sungai Danau dan Waduk.
- Garg, S. K. (1976). *Irrigation Engineering and Hydraulic Structures*. Delhi: Khanna Publishers.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kementerian PUPR. (2015). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat RI Nomor 27 Tahun 2015 Tentang Bendungan*.
- PLAXIS. (2012). *PLAXIS 2D Reference Manual*.
- Soedibyo. (2003). *Teknik Bendungan*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Sujono, J. (2012). Hydrological Analysis of the Situ Gintung Dam Failure. *Journal of Disaster Research* Vol. 7 No. 5, 590-594.
- Virama Karya. (2015). *Laporan Akhir Perencanaan Bendungan Margatiga*. Bandar Lampung: Virama Karya.