Tinjauan Desain Alternatif Dimensi Tubuh Bendungan Tipe Urugan (Main DAM) pada Bendungan Bagong Kabupaten Trenggalek Jawa Timur

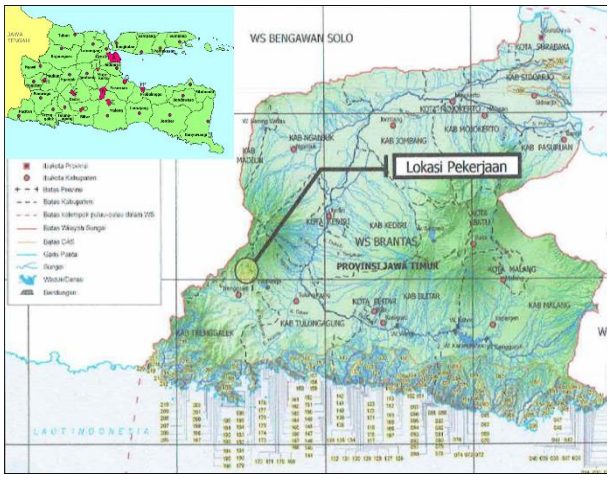
Faiz Adifa Prasetio, Kuntjoro, dan Deris Faisa Ralindra
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: kuntjoro_rivers@yahoo.co.id

***Abstrak*—Pembangunan bendungan adalah jenis konstruksi yang memerlukan ketelitian teknis dan ekonomis. Selain memberikan manfaat penting bagi manusia, pembangunan bendungan juga dapat menyebabkan bencana jika tidak direncanakan dengan matang. Penelitian ini mengambil topik tentang "Tinjauan Desain Alternatif Dimensi Tubuh Bendungan Tipe Urugan (Main DAM) Pada Bendungan Bagong Kabupaten Trenggalek Jawa Timur" Tujuannya adalah untuk menentukan dimensi optimum dan volume timbunan yang dibutuhkan untuk tubuh bendungan dengan memodifikasi kemiringan lereng hulu dan hilir. Dalam penelitian ini menggunakan empat desain alternatif dimensi tubuh bendungan dengan mempertimbangkan volume timbunan serta stabilitas rembesan dan longsoran sesuai dengan syarat minimum pada SNI 8064-2016. Ditinjau dari kondisi Muka Air Normal, Muka Air Banjir, Muka Air Rendah, dan Waduk Kosong dengan menambahkan beban gempa pada tiap kondisinya. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semua desain alternatif bendungan memenuhi kebutuhan material timbunan dengan ketersediaan material yang ada di lapangan. Analisis stabilitas terhadap rembesan dan longsoran pada desain eksisting dan alternatif juga menunjukkan hasil yang memenuhi persyaratan keamanan. Desain alternatif 2 terbukti sebagai pilihan yang paling efektif dengan tingkat *safety factor* yang memenuhi persyaratan stabilitas rembesan dengan batasan debit rembesan < 1% dari debit rata-rata sungai atau memiliki nilai dibawah 0,0664 m3/s. Pada stabilitas longsoran, desain ini memiliki nilai *safety factor* sesuai dengan syarat minimum yang telah ditetapkan pada SNI 8064-2016. Serta penggunaan bahan yang lebih efisien dibandingkan dengan desain eksisting dan alternatif lainnya.**

***Kata Kunci*—Efektif, Longsoran, Kuantitas, Stabilitas, Rembesan, Tubuh Bendungan.**

I. PENDAHULUAN

PEMBANGUNAN Bendungan merupakan jenis konstruksi yang memerlukan ketelitian yang kompleks dari sudut pandang teknis dan ekonomis. Disamping memiliki manfaat yang besar bagi kehidupan manusia, bendungan juga dapat menimbulkan potensi bencana jika tidak direncanakan dengan matang. Tubuh bendungan (Main DAM) adalah bagian terpenting dari bendungan yang berfungsi sebagai penahan rembesan air di hilir dan sebagai penyangga tampungan air di hulu. Perencanaan bendungan mempertimbangkan beberapa faktor diantaranya adalah faktor keamanan, pemenuhan fungsi, pemanfaatan sarana dan prasarana, ketersediaan material secara ekonomis, biaya pembangunan, operasi dan pemeliharaan, ekonomis serta selaras dengan lingkungan. Salah satu hal yang termasuk dalam perencanaan bendungan yaitu pemilihan dari tipe bendungan. Dalam

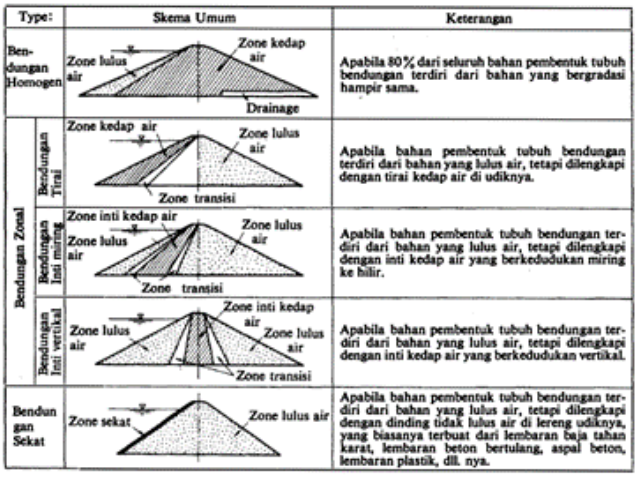


Gambar 1. Lokasi Pembangunan Bendungan Bagong.

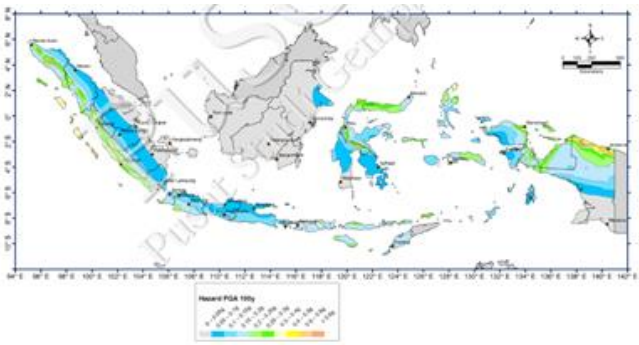
penetapan suatu tipe bendungan urugan didasarkan pada beberapa faktor yaitu kualitas dan kuantitas dari bahan tubuh bendungan, upaya pengerjaan bahan bendungan, kondisi geologi tanah pondasi, kondisi alur sungai serta lereng kedua tebing, klimatologi, dan hidrologi dari kedudukan calon bendungan. Faktor yang paling penting adalah upaya untuk mendapatkan kualitas dan kuantitas bahan dari tubuh bendungan (Main DAM) yang cukup, terutama di zona kedap air seperti tirai atau inti kedap air. Volume agregat yang akan dihitung harus 1,5-2 kali volume yang dibutuhkan [1].

Bendungan Bagong merupakan bendungan dengan tipe urugan zonal dengan inti tegak yang merupakan bendungan zonal yang zona kedap airnya terletak di dalam tubuh bendungan dengan kedudukan vertikal. Dengan kemiringan lereng pada up stream yaitu 1 : 2,5 dan down stream yaitu 1 : 2,25. Adapun zona tersebut dibagi menjadi 6 zona dengan volume total yang dibutuhkan dalam menimbun tubuh bendungan (Main DAM) yaitu sekitar 4.198.635 m^3. Penelitian ini akan memfokuskan pada "Pemilihan Dimensi Optimum Tubuh Bendungan Tipe Urugan (Main DAM) Pada Bendungan Bagong Kabupaten Trenggalek Jawa Timur." Tujuannya adalah mengetahui dimensi optimum dan volume timbunan yang dibutuhkan dari tubuh bendungan dengan memodifikasi kemiringan lereng hulu dan hilir. Selanjutnya, dilakukan analisis stabilitas tubuh bendungan dengan memperhitungkan rembesan dan longsoran yang memenuhi syarat faktor keamanan bendungan, menggunakan aplikasi software GeoStudio. Lokasi bendungan bagong tertera pada Gambar 1. Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

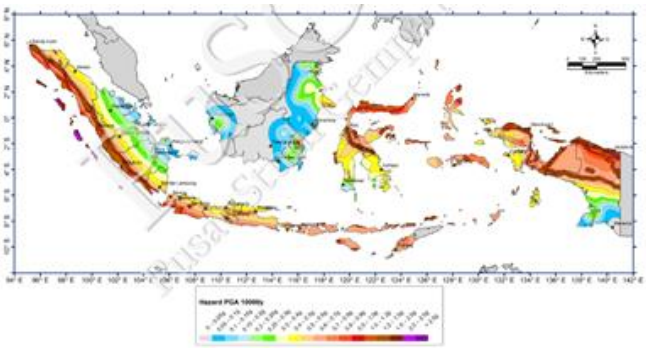
1. Penentuan dimensi alternatif tubuh bendungan (Main DAM).



Gambar 2. Klasifikasi Tipe Bendungan Urugan Berdasar Material Penyusun.



Gambar 3. Peta Percepatan Puncak Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (SB) Untuk Probabilitas Terlampaui 5% dalam 10 tahun.



Gambar 4. Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (SB) Untuk Probabilitas Terlampaui 1% dalam 100 tahun.

2. Volume yang dibutuhkan dalam timbunan tubuh bendungan (Main DAM) pada tiap pemodelan.
3. Analisis stabilitas terhadap longsoran dan rembesan dengan menggunakan pemodelan desain eksisting dan desain alternatif.
4. Nilai angka keamanan tubuh bendungan (Main DAM) pada tiap pemodelan.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Bendungan

Bendungan adalah bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton, dan/atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk [2]. Rincian klasifikasi bendungan urugan tertera pada Gambar 2. Bendungan berdasarkan tipe konstruksinya dibagi menjadi tiga yaitu :

Tabel 1.
Analisa Ketersediaan Material Timbunan Tubuh Bendungan

No	Jenis Material	Ketersediaan M3	Lokasi Quarry
1	Zona I - Inti (Lempung)	1.394.496	Daerah genangan dan galian pondasi bendungan
2	Zona II - Filter Halus	660.330	K. Badak Desa Sidodadi, Kec. Nglegok dan Garum, Blitar ± 90-110 km dari lokasi
3	Zona III - Filter Kasar	269.561	Hasil Crushing dari river deposit dan Quarry Material Batu, maks 0-2 km
4	Zona IV - Random Batu	954.262	Hasil galian tunnel, spillway, Tapak, Sandaran kanan dan kiri, maks 0-2 km
5	Zona V - Timbunan Batu	6.046.648	Quarry 1,2,3 berikut perluasan area quarry sisi kanan genangan, maks 0-2 km
6	Zona VI - Rip Rap		Quarry 1,2,3 berikut perluasan area quarry sisi kanan genangan, maks 0-2 km

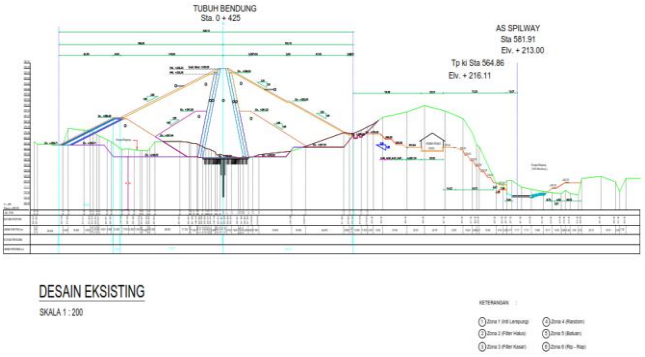
Tabel 2.
Alternatif Kemiringan Tubuh Bendungan

Desain	Zona	Kemiringan	
		Hulu	Hilir
Eksisting	V dan VI	1:2,5	1:2,25
	IV	1:2	
	III	1:0,25	
	II	1:0,25	
	I	1:0,25	
Alternatif 1	V dan VI	1:2	1:2,25
	IV	1:1,5	
	III	1:0,175	
	II	1:0,15	
	I	1:0,15	
Altenatif 2	V dan VI	1:2.25	1:2,25
	IV	1:1,5	
	III	1:0,2	
	II	1:0,2	
	I	1:0,2	
Alternatif 3	V dan VI	1:2.25	1:2,5
	IV	1:1,75	
	III	1:0,225	
	II	1:0,225	
	I	1:0,225	
Alternatif 4	V dan VI	1:2,5	1:2,275
	IV	1:2	
	III	1:0,3	
	II	1:0,3	
	I	1:0,25	

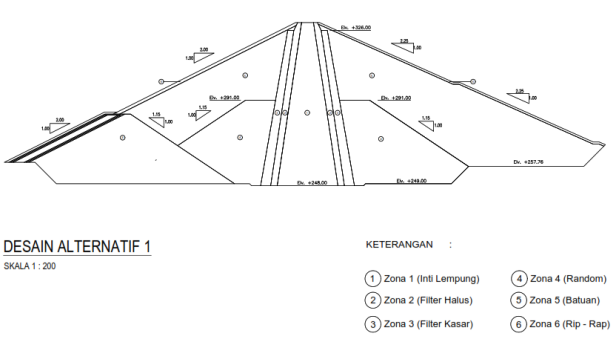
1. Bendungan Urugan yaitu bendungan yang dibangun dari hasil penggalian bahan (material) tanpa tambahan bahan lain yang bersifat campuran secara kimia, jadi betul – betul bahan pembentuk bendungan asli.
2. Bendungan Beton *(Concrete Dams)* yaitu bendungan yang dibuat dari konstruksi beton baik dengan tulangan maupun tidak.
3. Bendungan lainnya adalah bendungan yang biasanya hanya untuk bendungan kecil seperti bendungan kayu (*timber dams*), bendungan besi (*steel dams*), bendungan pasangan bata (*brick dams*), bendungan pasangan batu (*masonry dams*).

B. Perencanaan Kemiringan Lereng Tubuh Bendungan

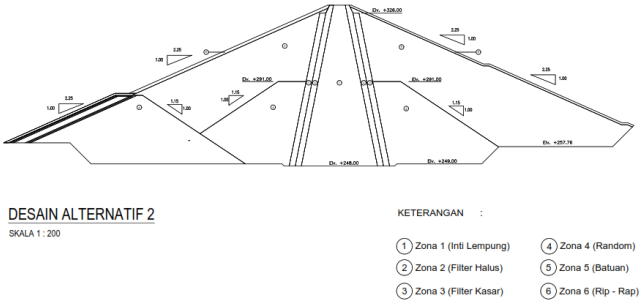
Kemiringan pada lereng hulu bervariasi dari 1 :2 sampai dengan yang landai 1 : 4 untuk stabilitas, atau juga terkadang 1 : 2.5 atau 1 : 3. Kemiringan hulu yang landai terkadang digunakan untuk meminimalisir biaya proteksi. Untuk kemiringan lereng pada sisi hilir umumnya 1 : 2 dimana material timbunan tidak kedap air dan 1 : 2.5 dimana material timbunan yang kedap air.



Gambar 5. Potongan Melintang Desain Eksisting.



Gambar 6. Potongan Melintang Desain Alternatif 1.



Gambar 7. Potongan Melintang Desain Alternatif 2.

Kemiringan lereng pada bendungan urugan bergantung pada tipe bendungan (homogen atau zonal) dan bergantung pada material kosntruksi. Salah satu hal yang terpenting yaitu material konstruksi yang dipakai pada bendungan homogen atau inti dari bendungan zonal. Pada lain kasus, relasi antara ukuran dari lapisan inti menuju lapisan zona lainnya juga memiliki dampak yang signifikan. Peta percepatan tertera pada Gambar 3 dan Gambar 4.

C. *Volume Timbunan*

Volume timbunan tanah merupakan volume menggali atau menimbun tanah pada suatu tempat (*cut and fill*) atau untuk menghitung material (bahan) galian yang sifatnya padat. Ada beberapa metode dalam menghitung volume tanah, yaitu penampang rata – rata, kontur, dan borrow pit. Pada proyek akhir ini menggunakan metode penampang rata – rata karena pengaplikasian metode yang lebih mudah dan ringkas, serta output yang dihasilkan oleh metode ini sudah cukup teliti untuk perhitungan volume timbunan tanah.

Metode penampang rata – rata :

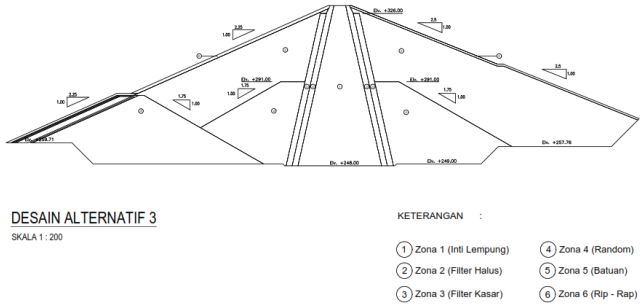
$$Volume = \left(\frac{A1+A2}{2}\right) x\ d \qquad (1)$$

Keterangan :

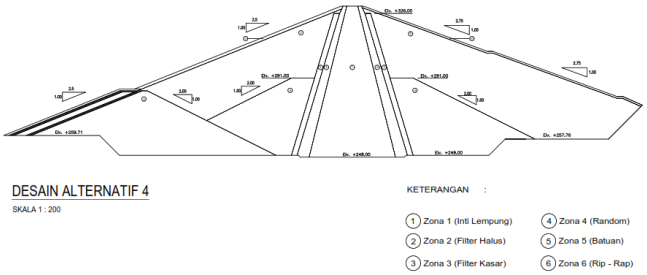
A1 = luas penampang 1

A2 = luas penampang 2

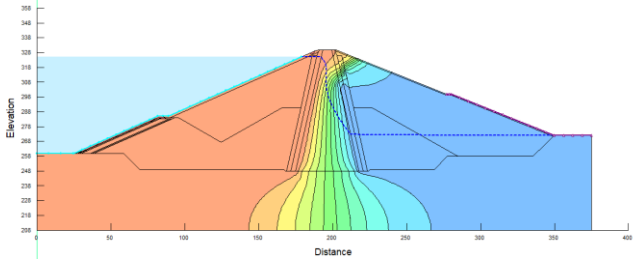
d = jarak antar penampang 1 dan 2



Gambar 8. Potongan Melintang Desain Alternatif 3



Gambar 9. Potongan Melintang Desain Alternatif 4.



Gambar 10. Hasil Running Garis Depresi (freatis) MAN Desain *Alternatif 3*

D. *Stabilitas Bendungan*

Stabilitas bendungan adalah perhitungan konstruksi untuk menentukan ukuran bendung agar mampu menahan muatan – muatan dan gaya – gaya yang bekerja padanya dalam segala keadaan.

1) *Stabilitas Terhadap Aliran Filtrasi*

Berfungsi untuk mengetahui ketahanan tubuh bendungan terhadap gaya-gaya yang ditimbulkan oleh aliran filtrasi yang mengalir melalui celah - celah antar butiran tanah penyusun tubuh bendungan, dapat dilakukan analisis dengan formasi garis depresi (seepage line formation) dalam tubuh bendungan dan kapasitas aliran filtrasi yang mengalir pada tubuh bendungan. Kapasitas aliran filtrasi adalah kapasitas rembesan air yang mengalir ke hilir melalui tubuh dan pondasi bendungan [3].

$$Q_f = \frac{N_f}{N_p}.K.H.L \qquad (2)$$

Dimana :

Q_f = kapasitas aliran filtrasi (kapasitas rembesan).

N_f = angka pembagi dari garis trayektori aliran filtrasi.

N_p = angka pembaho dari garis equi-potensial.

K = koefisien filtrasi.

H = tinggi tekanan air total.

2) *Stabilitas Lereng Pada Tubuh Bendungan*

Dalam perencanaan tubuh bendungan urugan direncanakan pada tingkat stabilitas dengan faktor keamanan 1,2 atau lebih. Dalam menganalisis stabilitas lereng terdapat

Tabel 6.
Rekapitulasi kebutuhan material timbunan tiap alternatif

Zona	Kebutuhan Material (m^3)				
I (Inti)	649,787	468,804	558,238	601,998	649,940
II (Filter Halus)	185,072	205,198	194,922	182,682	260,438
III (Filter Kasar)	184,247	220,395	183,324	177,669	180,660
IV (Random)	835,748	744,871	747,959	768,099	819,928
V (Batu)	2,174,501	2,064,146	2,181,464	2,293,692	2,522,457
VI (Rip-Rap)	169,279	150,615	159,908	159,574	171,288
Total	4,198,635	3,854,029	4,025,815	4,183,713	4,604,712

Tabel 7.
Nilai koefisien beban gempa OBE (100 Tahun)

Ko	0.076			
Y/H	0.25	0.50	0.75	1.00
Koefisien	0.156	0.130	0.119	0.107

Tabel 8.
Nilai koefisien beban gempa MDE (10.000 Tahun)

Ko	0.306			
Y/H	0.25	0.50	0.75	1.00
Koefisien	0.623	0.520	0.474	0.428

Tabel 9.
Data input parameter tanah

No	Material	K	Sat	Wet	dry
		(m/s)	kn/m3	kn/m3	kn/m3
1	Zona I (Inti Kedap Air)	1.00E-07	19.3	19.1	14.3
2	Zona II (Filter Halus)	2.70E-05	20.1	17.6	15.4
3	Zona III (Filter Kasar)	1.00E-04	21.9	21.4	16.8
4	Zona IV (Random Batu)	1.50E-04	19.5	18.2	15
5	Zona V (Timbunan Batu)	1.01E-03	22	18.9	17.6
6	Rip - Rap	1.01E-03	22.4	20.4	21.5
7	Pondasi (Breksi)	1.00E-07	23	21	

beberapa cara salah satunya yaitu cara keseimbangan batas (limit equilibrium method).

$$FK = \frac{\text{Kuat geser } (shear\ strength)}{Tegangan \text{ geser } (shear\ stress)} \quad (3)$$

Dengan :

$FK = \frac{S}{\tau} \geq 1\ aman$ atau $S > \tau, aman,\ \ S < \tau, tidak\ stabil$

Perhitungan stabilitas tubuh bendungan dapat dilakukan beberapa cara yang paling umum digunakan yaitu metode irisan (Method of Slice) dengan Metode Bishop. Cara ini lebih banyak digunakan karena perhitungan yang sederhana dengan kesalahan yang terjadi pada sisi aman bendungan.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n}[cb_n + W_n \tan\varphi]\frac{1}{m_{a(n)}}}{\sum_{i=1}^{i=n} W_n \sin\alpha_n} \quad (4)$$

$$m_{a\,(n)} = \cos\alpha_n + \frac{\tan\varphi.\sin\alpha_n}{Fs} \quad (5)$$

Dimana :

Tabel 3.
Data input parameter tanah

No	Material	C UU (kN/m2)	C CU (kN/m2)	Sudut geser (o)	W opt %
1	Zona I (Inti Kedap Air)	23.4	16.3	23.5	30.82
2	Zona II (Filter Halus)	-	-	30	1.77
3	Zona III (Filter Kasar)	-	-	35	4.17
4	Zona IV (Random Batu)	36	32	34	15.6
5	Zona V (Timbunan Batu)	-	-	39.5	2.35
6	Rip - Rap	-	-	45	-
7	Pondasi (Breksi)	100	75	39	-

Tabel 4.
Data input parameter tanah

No	Material	K	Sat	Wet	dry
		(m/s)	kn/m3	kn/m3	kn/m3
1	Zona I (Inti Kedap Air)	1.00E-07	19.3	19.1	14.3
2	Zona II (Filter Halus)	2.70E-05	20.1	17.6	15.4
3	Zona III (Filter Kasar)	1.00E-04	21.9	21.4	16.8
4	Zona IV (Random Batu)	1.50E-04	19.5	18.2	15
5	Zona V (Timbunan Batu)	1.01E-03	22	18.9	17.6
6	Rip - Rap	1.01E-03	22.4	20.4	21.5
7	Pondasi (Breksi)	1.00E-07	23	21	

Tabel 5.
Rekapitulasi Debit Rembesan Kondisi Surut Cepat (Rapid Drawdown)

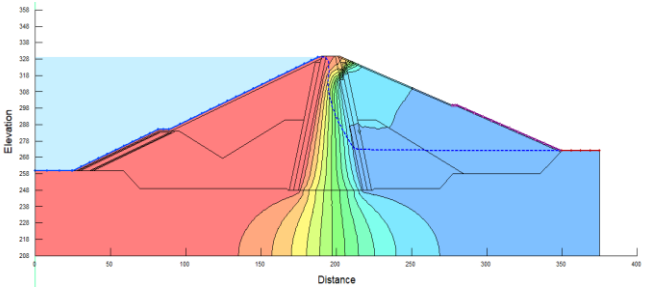
Hari Ke -	Debit Rembesan (m^3/s) Eksisting	Cek	Alter. 1	Cek	Alter. 2	Cek
1	2.15E-02	OKE	2.82E-02	OKE	2.41E-02	OKE
2	2.05E-02	OKE	2.54E-02	OKE	2.24E-02	OKE
3	1.94E-02	OKE	2.40E-02	OKE	2.13E-02	OKE
4	1.81E-02	OKE	2.28E-02	OKE	2.01E-02	OKE
5	1.68E-02	OKE	2.14E-02	OKE	1.89E-02	OKE
6	1.56E-02	OKE	1.98E-02	OKE	1.77E-02	OKE
7	1.45E-02	OKE	1.83E-02	OKE	1.65E-02	OKE
8	1.36E-02	OKE	1.70E-02	OKE	1.52E-02	OKE
9	1.29E-02	OKE	1.58E-02	OKE	1.40E-02	OKE
10	1.22E-02	OKE	1.47E-02	OKE	1.27E-02	OKE

Fs = faktor keamanan.
α_n = sudut irisan ke – n.
c = kohesi tanah efektif (kN/m2).
b_n = lebar irisan tanah ke-i (kN).
W_n = berat irisan tanah ke-i (kN).
φ = sudut geser dalam efektif.

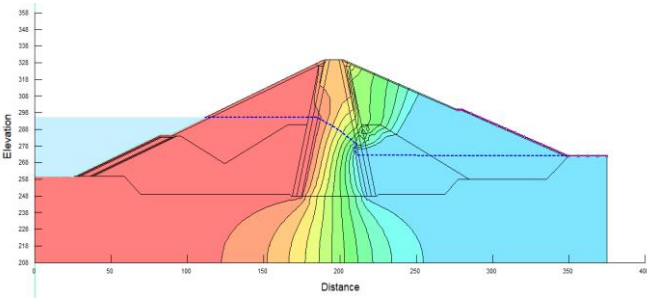
3) Stabilitas Akibat Faktor Gempa

Stabilitas bendungan akibat faktor gempa adalah gaya – gaya yang terjadi pada tubuh bendung akibat terjadinya gempa, pada prinsip perhitungannya berat sendiri dari setiap segmen dikalikan dengan koefisien gempa yang nilai koefisiennya sesuai dengan titik bendung terletak pada zona gempa. Persyaratan gempa untuk bendungan dapat dilihat pada SNI-8064-2016. Beban gempa yang akan digunakan untuk desain bendungan baru atau evaluasi keamanan bendungan diperoleh dari *MDE* dan *OBE* yang akan dijelaskan sebagai berikut [1]:

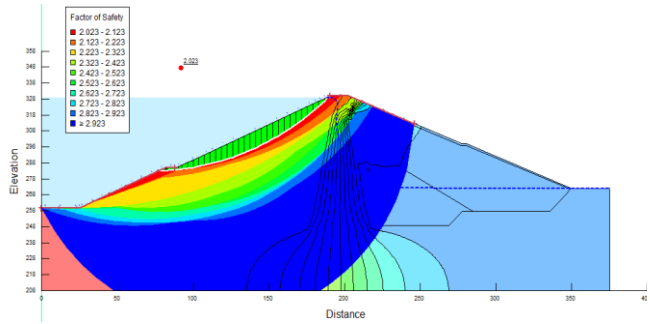
1. Gempa desain maksimum (*Maximum design earthquake, MDE*) yaitu gempa yang memberikan goncangan terbesar yang terjadi di lokasi penelitian digunakan untuk



Gambar 14. Hasil Running Garis Depresi (freatis) MAB Desain Alternatif 3.



Gambar 15. Hasil Running Garis Depresi (freatis) MAR Desain Alternatif 3.



Gambar 16. MAB Hulu Tanpa Gempa Desain Alternatif 3 (SF = 2.023).

perencanaan atau analisis. Dalam kasus keruntuhan bendungan yang tidak mengancam jiwa, gempa bumi yang lebih kecil dari *CMCE* dapat dianggap sebagai *MDE*.

2. Gempa dasar operasi (*Operating basis earthquake, OBE*) yaitu gempa bumi dengan batas goncangan di lokasi penelitian dengan kemungkinan 50% tidak terlampaui dalam 100 tahun dengan kemungkina 50%. Kondisi ini ditentukan berdasarkan teori probabilitas.

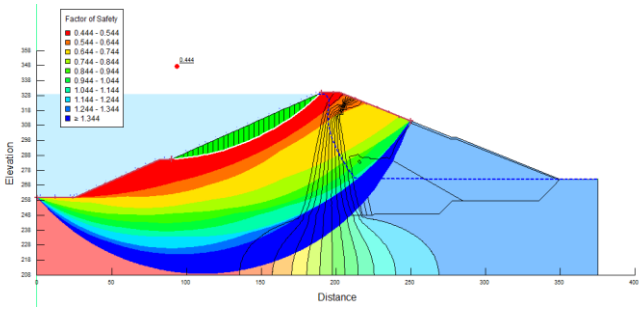
Dalam menentukan koefisien gempa termodifikasi dilakukan beberapa tahapan yaitu :

1. Analisa Kelas Resiko Bendungan
2. Kriteria Beban Gempa
3. Koefisien Gempa
4. Koefisien Gempa Termodifikasi
5. Peta Zona Gempa Indonesia

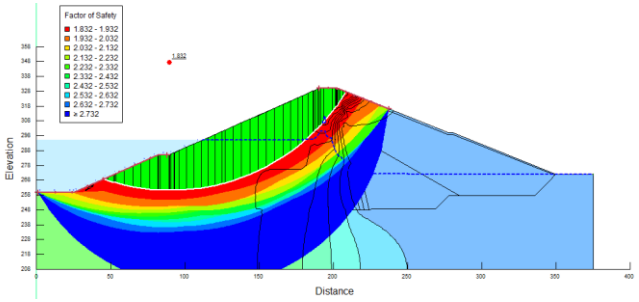
E. Pemodelan

Dalam menganalisa stabilitas filtrasi dan longsoran ditinjau pada kondisi bendungan dalam keaadan sebagai berikut :

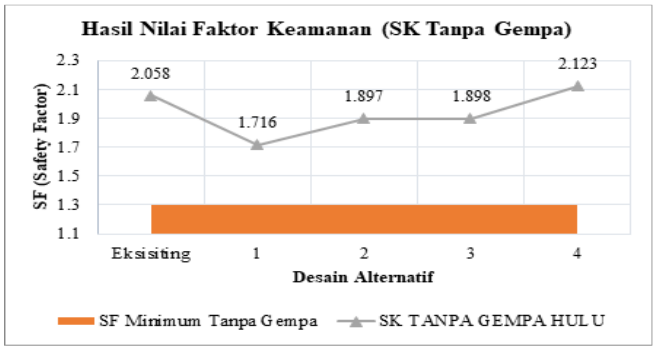
1. Selesai konstruksi kondisi bendungan pada masa selesai konstruksi belum terisi air.
2. Elevasi muka air normal yaitu elevasi yang terjadi saat debit sungai tidak melebih elevasi mercu spillway.
3. Elevasi muka air maksimum yaitu elevasi yang terjadi akibat debit banjir melebihi kapasitas spillway.
4. Elevasi muka air minimum (dead storage) yaitu elevasi yang terjadi saat debit sungai tidak melebihi elevasi mercu spillway karena diakibatkan penumpukan sedimen pada bendungan.



Gambar 11. MAB Hulu Gempa MDE Desain Alternatif 3 (SF = 0.444).



Gambar 12. Surut Cepat Hari Ke – 10 Tanpa Gempa Desain Alternatif 3 (SF = 1,832).



Gambar 13. Hasil Nilai Faktor Keamanan (SK Tanpa Gempa).

5. Surut Cepat (Rapid Drawdown) yaitu perubahan elevasi muka air bendungan yang mengalami penurunan secara cepat dan tiba – tiba dari kondisi muka air normal ke muka air minimum.
6. Beban gempa yaitu beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya getaran gempa. Beban gempa diberikan pada tiap pemodelan.

F. Aplikasi GeoStudio

Program aplikasi Geostudio akan digunakan untuk melakukan analisis kestabilan lereng. Untuk mendapatkan data rembesan dan garis freatik dapat menggunakan Seep/W yang akan menjadi input tekanan air pori pada Slope/W, hasil analisa Seep/W ditampilkan pada bagian analisa rembesan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Ketersediaan Material

Faktor utama dalam pemilihan tipe bendungan yaitu ketersediaan serta kuantitas dari bahan timbunan. Maka besarnya kemiringan hulu dan hilir bendungan serta tiap zona material akan berpengaruh pada kebutuhan pada jumlah material yang dibutuhkan untuk proses timbunan bendungan. Analisa ketersediaan material di borrow area dan quarry ini dilakukan untuk menentukan apakah material untuk timbunan tubuh bendungan yang direncanakan telah tercukupi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 10.
Rekapitulasi debit rembesan kondisi MAN, MAB, dan MAR

Kondisi Muka Air	Debit Rembesan (m^3/s) Eksisting	Cek	Alter. 1	Cek	Alter. 2	Cek
MAN +325	2.27E-02	OKE	3.34E-02	OKE	3.06E-02	OKE
MAB +329	2.83E-02	OKE	3.28E-02	OKE	3.39E-02	OKE
MAR +295	9.55E-03	OKE	1.24E-02	OKE	1.13E-02	OKE

Tabel 11.
Rekapitulasi debit rembesan kondisi MAN, MAB, dan MAR (Lanjutan)

Kondisi Muka Air	Debit Rembesan (m^3/s) Alter. 3	Cek	Alter. 4	Cek
MAN +325	2.26E-02	OKE	2.07E-02	OKE
MAB +329	2.53E-02	OKE	2.24E-02	OKE
MAR +295	8.35E-03	OKE	6.96E-03	OKE

Tabel 12.
Rekapitulasi Debit Rembesan Kondisi Surut Cepat (lanjutan)

Hari Ke -	Debit Rembesan (m^3/s) Alter. 3	Cek	Alter. 4	Cek
1	1.91E-02	OKE	1.86E-02	OKE
2	1.80E-02	OKE	1.74E-02	OKE
3	1.71E-02	OKE	1.65E-02	OKE
4	1.62E-02	OKE	1.56E-02	OKE
5	1.53E-02	OKE	1.47E-02	OKE
6	1.45E-02	OKE	1.37E-02	OKE
7	1.38E-02	OKE	1.27E-02	OKE
8	1.30E-02	OKE	1.17E-02	OKE
9	1.22E-02	OKE	1.07E-02	OKE
10	1.15E-02	OKE	9.62E-03	OKE

B. Kemiringan Lereng Tubuh Bendungan

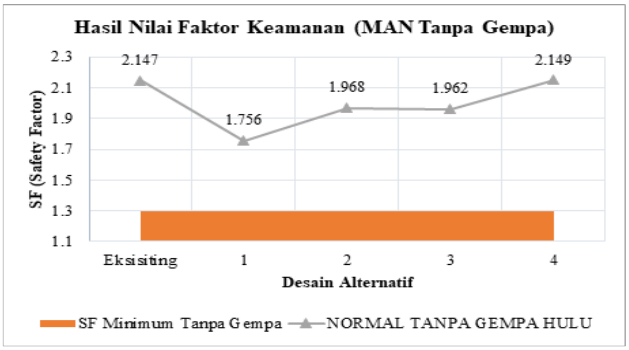
Pada proyek akhir ini merencanakan empat alternatif kemiringan hulu dan hilir yang berbeda dengan tinjauan pada STA. 425, dengan kemiringan rencana seperti pada Tabel 2.

C. Analisa Kebutuhan Material Timbunan Tubuh Bendungan

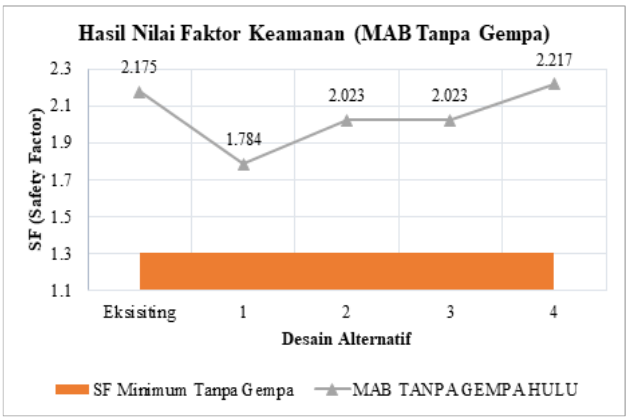
Dengan hasil gambar rencana tiap alternatif yang dapat dilihat pada Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9, besarnya kemiringan yang berbeda tersebut akan mempengaruhi kebutuhan material tiap desain rencana alternatif yang telah dibuat. Pada Tabel 3 dapat dilihat perbandingan kebutuhan material tiap alternatif. Desain alternatif 1 memiliki kebutuhan material yang paling minimum dibandingkan dengan 3 alternatif lainnya dengan nilai kebutuhan material yaitu 3,854,029 m3. Sedangkan kebutuhan material paling banyak yaitu pada alternatif 4 dengan nilai 4,604,712 m3. Jika dibandingkan dengan ketersediaan material timbunan pada lokasi quarry dan borrow area semua alternatif memenuhi.

D. Analisa Beban Gempa

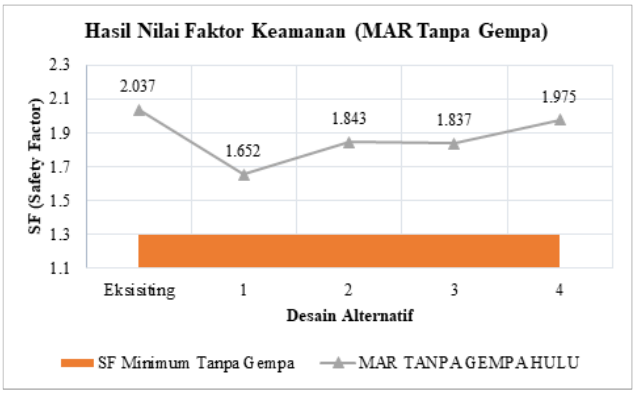
Bendungan Bagong mempunyai faktor risiko total sebesar 34 yang tergolong dalam kelas risiko IV (Ekstrem). Dengan kelas resiko IV (Ekstrem), stabilitas bendungan dengan beban gempa akan dianalisa dengan persyaratan tanpa kerusakan dengan kala ulang 100 – 200 tahun (OBE) dan persyaratan diperkenankan ada dengan kala ulang 10.000 tahun (MDE). Nilai percepatan batuan dasar (SB) dapat dilihat pada peta sebaran gempa. Hasil nilai koefisien beban gempa dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.



Gambar 17. Hasil Nilai Faktor Keamanan (MAN Tanpa Gempa)..



Gambar 18. Hasil Nilai Faktor Keamanan (MAB Tanpa Gempa).



Gambar 19. Hasil Nilai Faktor Keamanan (MAR Tanpa Gempa).

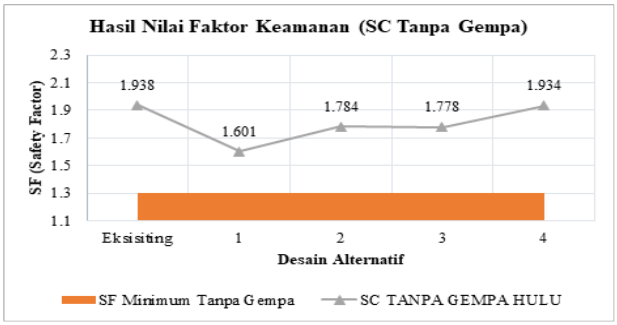
E. Data Material Timbunan

Parameter tanah timbunan digunakan dalam menganalisa stabilitas longsoran dan rembesan tertera pada Tabel 6. Data input parameter tanah tertera pada Tabel 7 dan Tabel 8. Hasil running MAR desain alternatif 3 tertera pada Gambar 10, Gambar 11 dan Gambar 12.

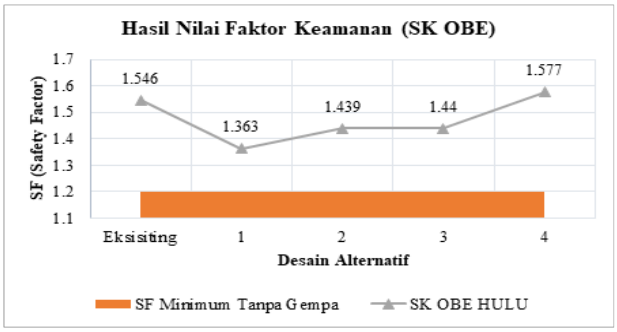
F. Stabilitas Terhadap Aliran Filtrasi

Pada analisis aliran filtrasi atau rembesan Bendungan Bagong menggunakan Software Geostudio 2018 dengan program Seep/W, pendekatan dengan menggunakan metode steady untuk kondisi MAN +325, MAB +329, MAR +295 dan metode transient pada kondisi surut cepat (*Rapid Drawdown*). Rekapitulasi debitnya tertera pada Tabel 9.

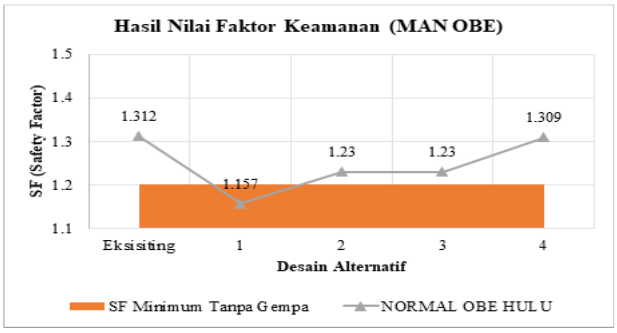
Dari pemodelan Seep/W pada Geostudio 2018 didapatkan hasil debit rembesan pada tiap desain alternatif yang telah dibuat seperti pada Tabel 10 dan Tabel 11 untuk kondisi MAN, MAB, MAR dan pada Tabel 12 untuk kondisi Surut Cepat (*Rapid Drawdown*). Dengan syarat debit rembesan yang diizinkan yaitu tidak boleh lebih dari 1% rata – rata debit sungai yang masuk ke



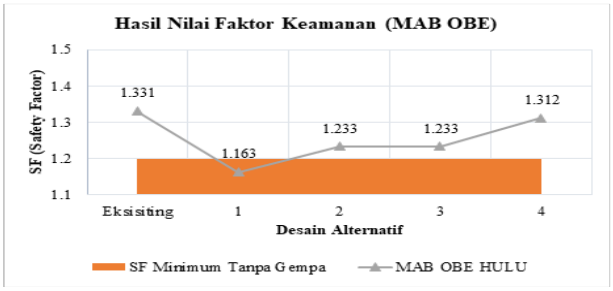
Gambar 20. Hasil Nilai Faktor Keamanan (SC Tanpa Gempa).



Gambar 21. Hasil Nilai Faktor Keamanan (SK OBE).



Gambar 22. Hasil Nilai Faktor Keamanan (Normal OBE).

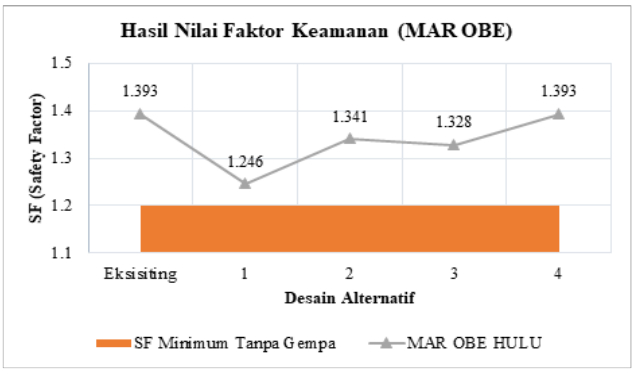


Gambar 23. Hasil Nilai Faktor Keamanan (MAB OBE).

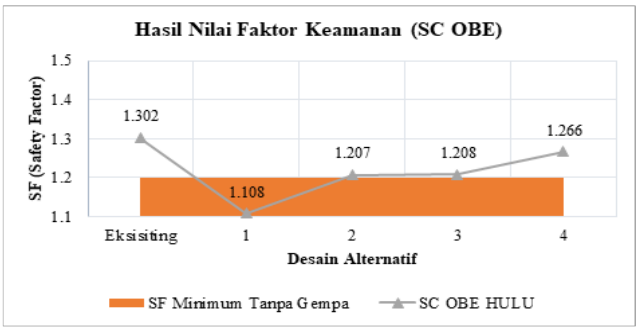
dalam waduk yaitu 0.0664 m3/s. Dari tabel rekapitulasi diatas dapat disimpulkan bahwa keamanan stabilitas rembesan pada tiap alternatif tergolong aman, karena memenuhi dari syarat debit rembesan yang diizinkan. MAB tanpa gempa dapat dilihat pada Gambar 13. Sedangkan MAB hulu gempa untuk alternatif 3 tertera pada Gambar 14. Gambar 15 menunjukkan surut cepat hari ke-10.

G. Stabilitas Lereng Terhadap Longsoran

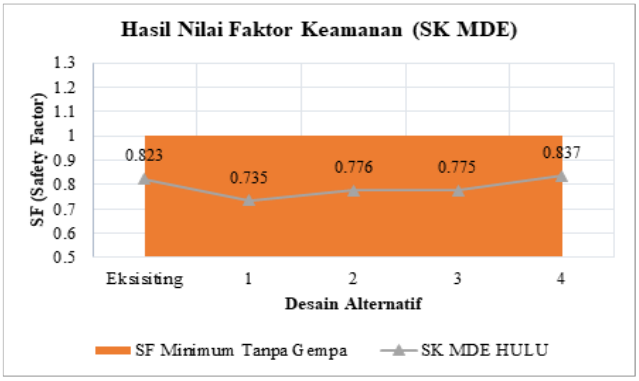
Pada analisis kestabilan lereng tubuh Bendungan Bagong menggunakan Software Geostudio 2018 dengan program Slope/W, pendekatan dengan menggunakan metode Simplified Bishop. Ditinjau dari lima kondisi muka air yaitu MAN, MAB, MAR, surut cepat (Rapid Drawdown), dan waduk kosong.



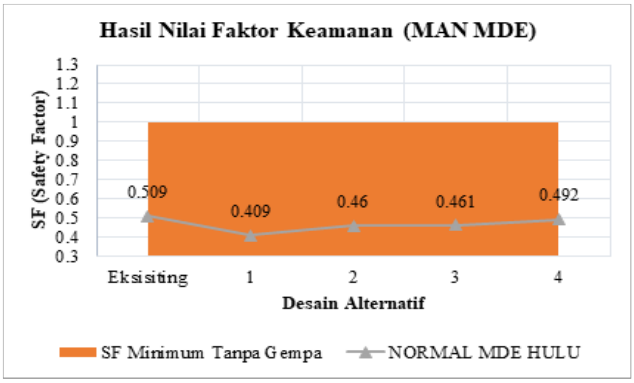
Gambar 24. Hasil Nilai Faktor Keamanan (MAR OBE)



Gambar 25. Hasil Nilai Faktor Keamanan (SC OBE).



Gambar 26. Hasil Nilai Faktor Keamanan (SK MDE).



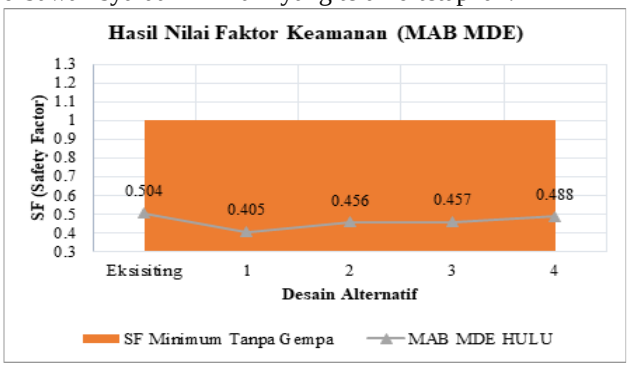
Gambar 27. Hasil Nilai Faktor Keamanan (Normal MDE)

H. Tinjauan Pada Lereng Hulu (Upstream)

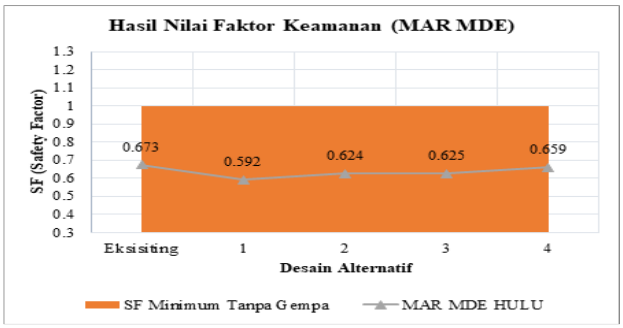
Tinjauaan pada lereng hulu dapat dilihat pada Gambar 16, Gambar 17, Gambar 18, Gambar 19, dan Gambar 20 didapatkan nilai *safety factor* untuk beban tanpa gempa tiap kondisi muka air, tiap alternatif mendapatkan hasil nilai *safety factor* memenuhi syarat minimum yang telah ditetapkan pada SNI 8064-2016 yaitu 1.3.

Nilai OBE dapat dilihat pada Gambar 21, Gambar 22, Gambar 23, Gambar 24, dan Gambar 25 yang memiliki nilai *safety factor* untuk beban OBE kala ulang 100 Tahun tiap

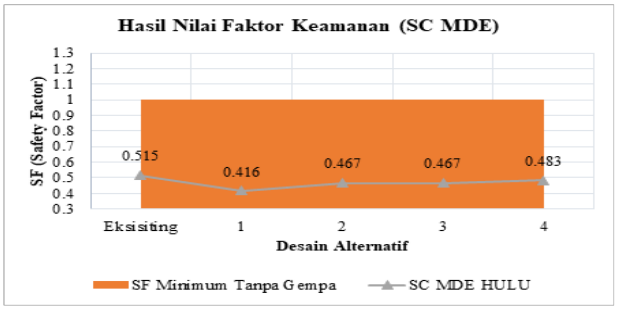
kondisi muka air. Pada kondisi muka air tiap alternatif mendapatkan hasil nilai *safety factor* memenuhi syarat minimum yang telah ditetapkan pada SNI 8064-2016 yaitu 1.2, kecuali pada desain alternatif 1. Pada desain alternatif 1 kondisi Muka Air Banjir Muka Air Rencah dan surut cepat (*Rapid Draawdown*) mendapatkan hasil nilai *safety factor* dibawah syarat minimum yang telah ditetapkan.



Gambar 28. Hasil Nilai Faktor Keamanan (MAB MDE)



Gambar 29. Hasil Nilai Faktor Keamanan (MAR MDE)



Gambar 30. Hasil Nilai Faktor Keamanan (SC MDE)

Nilai *safety factor* untuk beban MDE kala ulang 10.000 Tahun tiap kondisi muka air. Pada tiap desain alternatif mendapatkan hasil nilai *safety factor* tidak memenuhi syarat minimum yang telah ditetapkan pada SNI 8064-2016 yaitu 1. Hasil nilai MDE untuk 10.000 tahun dapat dilihat pada Gambar 26, Gambar 27, Gambar 28, Gambar 29, dan Gambar 30.

IV. KESIMPULAN / RINGKASAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain pada desain eksisting, alternatif 1, alternatif 2, alternatif 3 dan alternatif 4 memiliki kebutuhan material timbunan yang tercukupi dengan keadaan ketersediaan material di lapangan (quarry dan borrow area).

Pada alternatif 1 memiliki kebutuhan material yang paling ekonomis dalam segi jumlah material yang dibutuhkan untuk volume timbunan dengan nilai 3,854,029 m3, sedangkan alternatif 4 memiliki kebutuhan material yang terbanyak untuk volume timbunan dengan nilai 4,604,712 m3.

Hasil analisis stabilitas terhadap aliran filtrasi (rembesan) pada desain eksisting, alternatif 1, alternatif 2, alternatif 3, dan alternatif 4, baik dalam kondisi muka air normal, muka air banjir, muka air rendah, dan surut cepat (rapid drawdown) memenuhi batas syarat minimum debit rembesan yang terjadi dengan nilai < 1% dari debit rata – rata sungai atau dibawah 0.0664 m3/s.

Hasil analisa stabilitas terhadap longsoran pada desain eksisting, alternatif 1, alternatif 2, alternatif 3, dan alternatif 4 pada beban tanpa gempa dengan kondisi MAN, MAB, MAR, Surut Cepat (*Rapid Drawdown*) mendapatkan hasil *safety factor* yang memenuhi syarat minimum yaitu lebih dari 1,3.

Hasil analisa stabilitas terhadap longsoran pada desain eksisting, alternatif 2, alternatif 3, dan alternatif 4 pada beban gempa OBE dengan kondisi MAN, MAB, MAR, Surut Cepat (*Rapid Drawdown*) mendapatkan hasil *safety factor* yang memenuhi syarat minimum lebih yaitu dari 1.2. Sedangkan pada alternatif 1 mendapatkan hasil *safety factor* tidak memenuhi syarat pada kondisi surut cepat hari ke – 1 hingga ke – 8 dengan nilai *safety factor* dibawah 1.2. Hasil analisa stabilitas terhadap longsoran dengan pengaruh beban gempa MDE pada setiap alternatif mendapatkan hasil bahwa setiap alternatif tidak memenuhi syarat minimum *safety factor* yaitu dibawah 1.

Desain alternatif 2 merupakan alternatif yang memenuhi syarat nilai *safety factor* terhadap stabilitas longsoran dan rembesan, serta desain yang lebih efektif dalam segi penggunaan kuantitas bahan jika dibandingkan dengan desain eksisting dan desain alternatif lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, “Pedoman Kriteria Umum Desain Bendungan,” Jakarta: Komisi Keamanan Bendungan, 2003.
[2] SNI, *Tata Cara Desain Tubuh Bendungan Tipe Urugan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2015.
[3] S. Sosrodarsono and K. Takeda, *Bendungan Type Urugan*, 3rd ed. Jakarta: Pradnya Paramita, 1981.