



PEMODELAN STABILITAS BENDUNG MAROS DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI SAP2000

Riswal Karamma¹, Ahmad Syarif Sukri^{*2}

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin,

^{*2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo, Kendari

e-mail : ¹riswalchiwal@gmail.com, ^{*2}ahmadsyariefsukri@gmail.com

Abstrak

Analisis stabilitas bendung dapat dibandingkan dengan hasil pemodelan stabilitas menggunakan aplikasi SAP2000 yang dapat memperlihatkan kondisi aman dan kritis dari hasil desain bendung. Hasil pemodelan struktur bendung menghasilkan tegangan maksimum -30.354186 t/m^2 terjadi di bagian bawah kolam olah sedangkan tegangan maksimum 16.811126 t/m^2 terjadi pada bagian atas kolam olah. Beban lumpur memperlihatkan tegangan sebesar -4.194299 t/m^2 dan 2.626117 t/m^2 , beban air normal menghasilkan tegangan -47.18661 t/m^2 dan 31.412491 t/m^2 , beban air banjir menghasilkan tegangan $-24,214049 \text{ t/m}^2$ dan $11,098479 \text{ t/m}^2$. Hasil ini menyatakan adanya bagian dari struktur yang mengalami kondisi kritis. Bagian struktur yang mempunyai nilai tegangan maksimum adalah bagian konstruksi yang paling lemah.

Kata Kunci—Stabilitas, Bendung, SAP2000

Abstract

Analysis of the stability of the weirs can be compared with the results of the modeling application using SAP2000 stability that can reveal a condition safe and critical of the results of the design of weirs. The results of modeling the structure of maximum voltage-generating dam hold 30.354186 t/m^2 occurred in the bottom of the pond while the maximum voltage refuses 16.811126 t/m^2 occurred in the top of the outdoor refuse. A load of mud shows a voltage of -4.194299 t/m^2 and 2.626117 t/m^2 , load the normal voltage-generating water 47.18661 t/m^2 and 31.412491 t/m^2 load voltage-generating flood water 24.214049 t/m^2 and 11.098479 t/m^2 . The results suggested the presence of part of the structure that is experiencing a critical condition. Part of the structure that has the maximum voltage value is the weakest part of the construction area.

Keywords—Stability, Weir, SAP2000

1. PENDAHULUAN

Bendung adalah bangunan melintang sungai. Fungsi utama dari bendung adalah untuk meninggikan elevasi muka air dari sungai yang dibendung sehingga air bisa disadap dan dialirkan ke saluran lewat bangunan *intake*. Stabilitas bendung adalah hal yang penting dalam melakukan analisis konstruksi untuk menentukan dimensi bendung agar mampu menahan beban-beban dan gaya-gaya yang bekerja pada bendung dalam segala

keadaan. Syarat stabilitas bendung adalah konstruksi harus aman terhadap geser, guling, rembesan, dan aman terhadap penurunan bendung.

Gaya-Gaya yang bekerja pada bendung dalam menganalisis stabilitas harus ditinjau pada saat kondisi normal dan kondisi saat banjir. Bangunan akan stabil bila dilakukan kontrol terhadap gaya-gaya yang bekerja tidak menyebabkan bangunan bergeser, terangkat atau terguling, ada beberapa gaya yang harus dihitung untuk mengetahui stabilitas bendung.



Gaya-gaya yang bekerja pada bangunan yang penting pada perencanaan adalah tekanan gaya hidrostatik, gaya tekanan *uplift*, gaya tekanan lumpur, gaya gempa, dan gaya berat sendiri bangunan. Selanjutnya gaya-gaya yang bekerja pada bangunan itu dianalisis dan di kontrol stabilitasnya terhadap faktor-faktor keamanannya.

Hasil analisis stabilitas dari bendung dapat dibandingkan dengan hasil pemodelan stabilitas dengan menggunakan aplikasi SAP2000 yang memperlihatkan kondisi aman dan kritis dari hasil desain bendung.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Stabilitas Bendung

Stabilitas bendung dianalisis pada kondisi sungai normal dan pada saat sungai banjir.

a) Gaya yang Bekerja pada Bendung

Gaya akibat tekanan lumpur yang bekerja terhadap muka hulu bendung atau terhadap pintu [1], dapat dihitung dengan Persamaan (1).

$$P_s = \frac{\tau_s h^2}{2} \left(\frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \right) \quad (1)$$

Keterangan :

- P_s = Gaya yang terletak terletak pada 2/3 kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara horizontal
 τ_s = Berat lumpur (kN)
 h = Dalamnya lumpur (m)
 θ = Sudut gesekan dalam

b) Gaya Tekanan Hidrostatik

Tekanan air akan selalu bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan. Agar perhitungan lebih mudah gaya horizontal dan vertikal dikerjakan secara terpisah [2], ditunjukkan oleh Persamaan (2).

$$W_u = c \cdot \gamma_w [h_2 + 1/2 \zeta (h_1 - h_2)] A \quad (2)$$

Keterangan :

- c = Proposal luas dimana tekanan hidrostatik bekerja ($c = 1$ untuk semua tipe pondasi)
 γ_w = Berat jenis air = 1000 kg/m³
 h_2 = Kedalaman air hilir (m)
 h_1 = Kedalaman air hulu (m)
 ζ = Proporsi tekanan, diberikan pada Tabel 1 (m)

- A = Luas dasar (m²)
 W_u = Gaya tekanan ke atas resultante (ton)

Tabel 1 Harga-Harga ζ [1]

Tipe Pondasi Batuan	Proporsi Tekanan (m)
Berlapis horisontal	1,00
Sedang, pejal (<i>massive</i>)	0,67
Baik, pejal	0,5

c) Gaya Akibat Berat Bendung Sendiri

Berat bendung bergantung pada material yang digunakan untuk membuat bangunan tersebut [2], ditunjukkan oleh Persamaan (3).

$$G = \gamma \cdot V \quad (3)$$

Keterangan :

- V = Volume (m³)
 Γ = Berat jenis material (pasangan batu 2,2 t/m³)

d) Gaya Angkat (*Uplift Pressure*)

Bangunan bendung mendapatkan tekanan air bukan hanya pada permukaan luarnya saja, tetapi juga pada dasarnya dan dalam tubuh bangunan itu. Gaya angkat (*uplift pressure*) adalah istilah umum untuk tekanan air dalam yang menyebabkan berkurangnya berat efektif bangunan di atasnya [2], ditunjukkan oleh Persamaan (4) dan Persamaan (5).

$$P_x = H_x - H \quad (4)$$

$$P_x = H_x - \left(L \times \frac{\Delta H}{L} \right) \quad (5)$$

Keterangan :

- P_x = *Uplift pressure* (tekanan air dalam) pada titik X (t/m²)
 L_x = Jarak jalur rembesan pada titik x (m)
 L = Panjang total jalur rembesan (m)
 ΔH = Beda tinggi energi (m)
 H_x = Tinggi energi di hulu bendung

e) Gaya Gempa

Nilai koefisien gempa didasarkan pada peta zona gempa Indonesia yang menunjukkan berbagai daerah dan resiko gempa. Nilai koefisien gempa dipertimbangkan dengan cara mengalikannya dengan massa bangunan sebagai gaya horizontal menuju arah yang paling tidak aman, yakni arah hilir [3], ditunjukkan oleh Persamaan (6) dan Persamaan (7).

$$A_d = Z \times a_c \times v \quad (6)$$

$$k = a_d / g \quad (7)$$

Keterangan :

Z = Koefisien zona gempa

a_c = Percepatan gempa dasar (gal)

a_d = Percepatan gempa permukaan terkoreksi (gal)

v = Faktor koreksi pengaruh jenis tanah setempat

k = Koefisien gempa

g = Percepatan gravitasi, 9,81 (m/dt²).

2.2 Analisis Stabilitas Bendung

Setelah menganalisis gaya-gaya, kemudian diperiksa stabilitas bendung terhadap guling, geser, erosi bawah tanah (pipung) dan daya dukung tanah.

a) Kontrol Terhadap Guling

Dalam melakukan kontrol terhadap guling [4], ditunjukkan oleh Persamaan (8).

$$Sf = \frac{\Sigma M_t}{\Sigma M_g} \geq 1,5 \quad (8)$$

Keterangan :

Sf $\geq 1,5$ pada kondisi normal

Sf $\geq 1,25$ pada kondisi banjir

Sf = Faktor keamanan

ΣM_t = Besarnya momen vertikal (KNm)

ΣM_g = Besarnya momen horizontal (KNm)

b) Kontrol Terhadap Geser

Untuk kontrol terhadap gaya geser [4], digunakan Persamaan (9).

$$Sf = \frac{\Sigma R_v}{\Sigma R_h} \geq 1,5 \quad (9)$$

Keterangan:

Sf $\geq 1,5$ pada kondisi normal

Sf $\geq 1,25$ pada kondisi banjir

Sf = Faktor keamanan

ΣR_v = Besarnya gaya vertikal (KN)

ΣR_h = Besarnya gaya horisontal (KN)

c) Terhadap Daya Dukung Tanah

Pada daya dukung tanah, nilai eksentrisitas [5], dihitung dengan menggunakan Persamaan (10).

$$e = \frac{1}{2} B - \left(\frac{MT - MG}{\Sigma V} \right) \leq \frac{1}{6} B \quad (10)$$

Keterangan :

E = Eksentrisitas

B = Lebar dasar

MT = Momen tahanan

MG = Momen guling

ΣV = Jumlah gaya vertikal

Dalam perhitungan tegangan tanah [5], menggunakan Persamaan (11).

$$\sigma_{1,2} = \frac{V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (11)$$

Keterangan :

$\sigma_{1,2}$ = Tegangan tanah yang terjadi

V = Gaya-gaya vertikal

B = Lebar dasar

e = Eksentrisitas

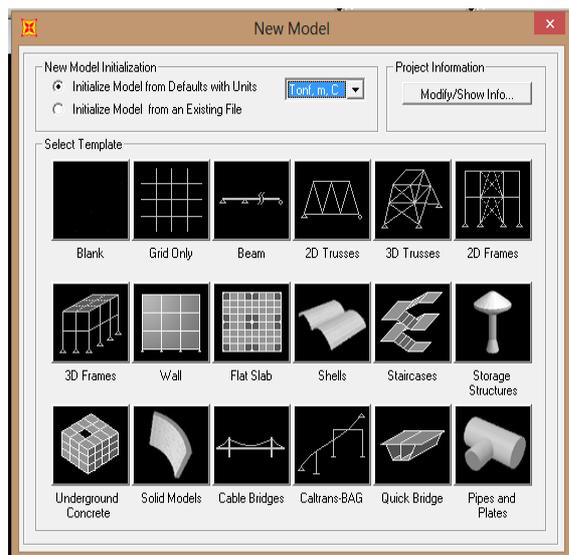
$\bar{\sigma}$ = Tegangan ijin (ton/m²)

Persyaratannya $\sigma_1 < \bar{\sigma}$ dan $\sigma_2 > \bar{\sigma}$

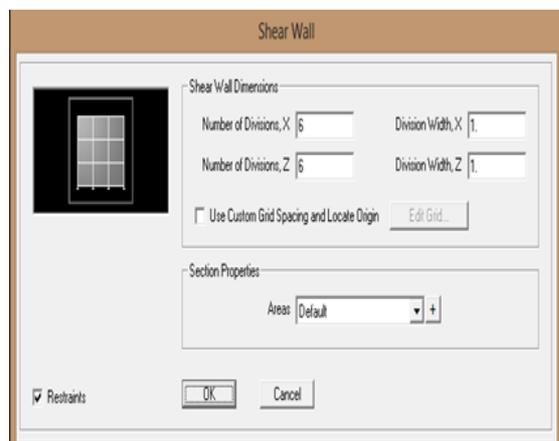
2.3 Analisis Stabilitas Bendung dengan Aplikasi SAP2000

SAP2000 menyediakan beberapa pilihan, antara lain: membuat model struktur baru, memodifikasi dan mendisain element struktur. Semua dapat dilakukan melalui *user interface* yang sama. Program ini dirancang sangat interaktif, sehingga beberapa hal dapat dilakukan, misalnya mengontrol kondisi tegangan pada elemen struktur, mengubah dimensi batang, dan mengganti peraturan (*code*) perancangan tanpa harus mengulang analisis struktur. Untuk pemodelan stabilitas bendung menggunakan SAP2000 V14 dengan tinjauan 2 dimensi.

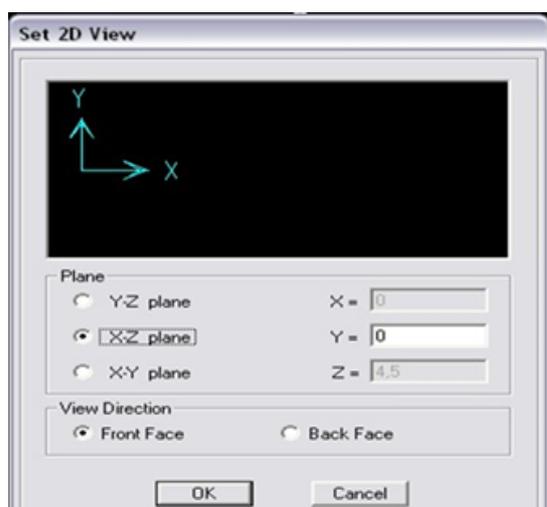
1. Sebelum melakukan *input* model yang harus dilakukan adalah menganalisis secara manual data-data yang telah diuji. Dalam pembuatan *file* baru di program SAP2000 perlu menentukan satuan dengan kN, m² (Ton, m, C) dan *Wall* sebagai pemodelannya. Gambar 1 menunjukkan tampilan untuk menentukan model dan satuan.
2. Setelah menentukan model *template* dan satuan langkah berikutnya adalah menentukan jumlah *shear wall dimension* untuk mempermudah menggambar model struktur. Gambar 2 menunjukkan tampilan untuk menentukan jumlah *shearwall*.
3. Sebelum mendefinisikan tipe bahan terlebih dahulu mengubah tampilan ke bidang XZ dengan cara *view > Set 2D view* kemudian mengklik *X-Z plan* atau dengan mengklik *toolbar XZ*. Gambar 3 menunjukkan tampilan mengubah tampilan ke bidang XZ.



Gambar 1 Menentukan Model dan Satuan



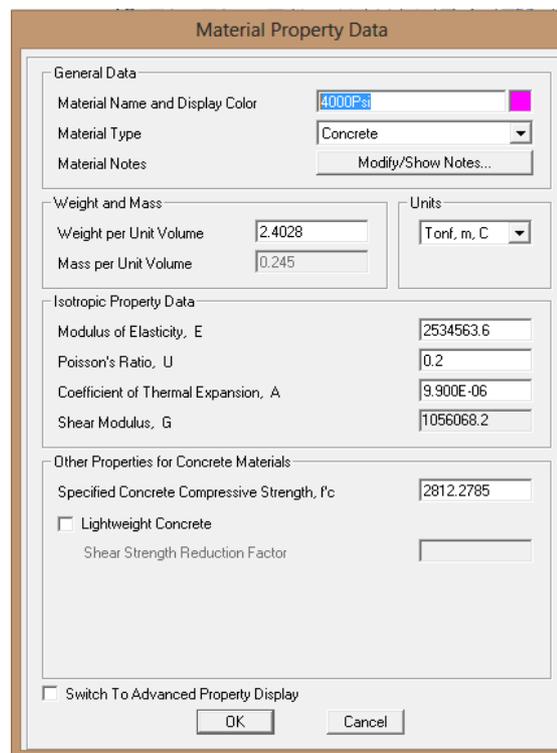
Gambar 2 Menentukan Jumlah Shearwall



Gambar 3 Mengubah Tampilan ke Bidang XZ

4. Tahap ini bendung diasumsikan terbuat dari beton atau pasangan batu, Tipe

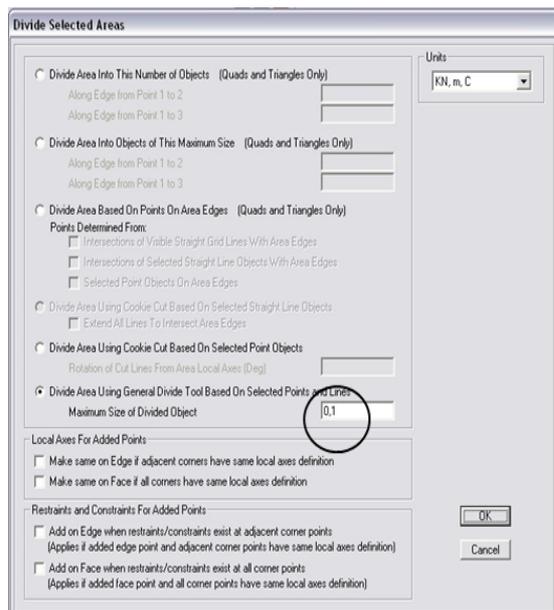
bahan/material yang dipilih yaitu tipe *concrete*, dan yang akan dimasukkan ke *material property data*. Data yang dimasukkan disesuaikan dengan material yang digunakan dan telah diuji kuat tekannya. Gambar 4 menunjukkan tampilan *material property data*.



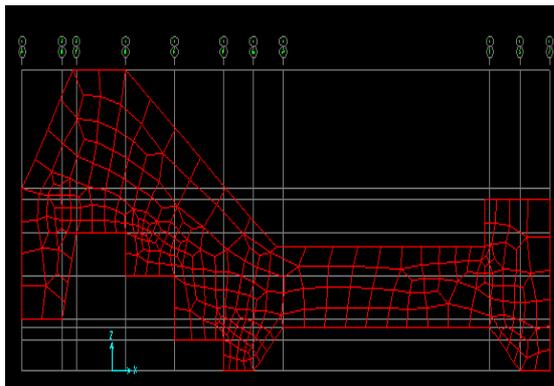
Gambar 4 Material Property Data

5. Penggambaran model struktur harus persis seperti di lapangan dari jarak ataupun ketebalan model strukturnya. Langkah awal yang harus dilakukan adalah dengan memilih *toolbar*  atau dengan memilih *Drew > Drew poly area*. Klik tombol *esc* pada *keyboard* setelah selesai menggambar. Dalam tahap ini penyusun melakukan dua (2) kali percobaan dengan pembagian element tiap 0,1 pias, 0,2 pias dan fungsinya dengan memasukkan dua kali percobaan untuk menghasilkan running analisis semaksimal mungkin dan akurat. Cara membagi pias pertama kali dengan cara klik *toolbar*  atau dengan mengklik menu *Edit > Edit area > divide areas*. Setelah muncul dialog box *Divide Selected Areas*, isikan pembagian element yang ingin ditentukan pada *Maximum Size of Divided Object* seperti pada Gambar 5 dan hasil penggambaran

dan pembagian pias tersebut seperti pada Gambar 6.



Gambar 5 Pembagian Area dalam Pias Tinjauan

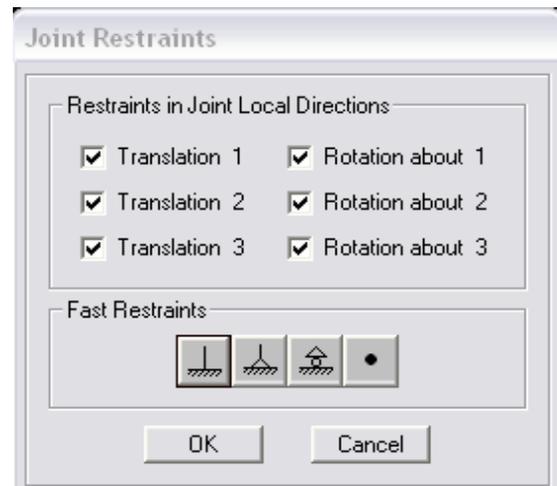


Gambar 6 Hasil Penggambaran dan Pembagian Pias

6. Tumpuan adalah tempat bersandarnya konstruksi dan tempat bekerjanya reaksi. Jenis tumpuan berpengaruh terhadap jenis konstruksi, sebab setiap jenis tumpuan mempunyai karakteristik sendiri. Dalam pembahasan ini penyusun menentukan tumpuan jepit karena tumpuan jepit dapat menahan gaya dalam segala arah dan dapat menahan momen. Adapun cara memasukan tumpuan jepit dalam SAP2000 yaitu klik/pilih pada semua *joint* bawah (tumpuan) lalu pilih *toolbar*

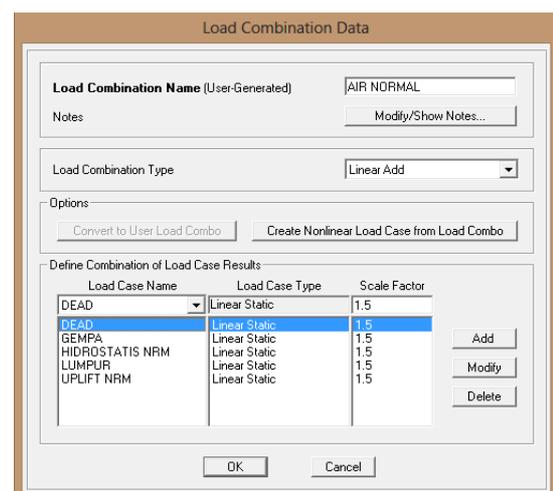
 atau dengan memilih *assign > joint > restraints*, lalu pilih tumpuan jepit (tombol

paling kiri) pada *fast restraints* seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Joint Restraints

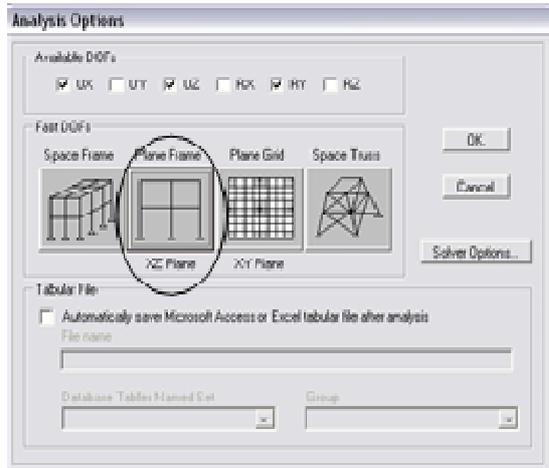
Untuk mendefinisikan tipe bahan untuk analisis bending dengan metode SAP2000 sangatlah penting untuk proses selanjutnya. Cara mendefinisikan tipe bahan pertama kali dengan cara mengklik *toolbar*  atau *Define > load case*. Cara mendefinisikan kombinasi pembebanan yaitu dengan mengklik *toolbar*  atau *Define > Combinations* kemudian memilih semua gaya yang ada pada *case name* dan isikan 1.5 pada *scala factor* seperti pada Gambar 8



Gambar 8 Mendefinisikan Kombinasi Pembebanan

7. Pada tahap menentukan tipe analisis menggunakan *Plane Strain-2D* untuk menganalisis dinding penahan tanah. Pilih menu *Analysis > Set Analysis Options*

setelah muncul dialog box pilih *Plane Frame (XZ Plane)* seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 Menentukan Tipe Analisis

Untuk menampilkan gaya dan tegangan pada struktur pilih menu *Display > Show Forces/Stress > Planes* atau toolbar setelah muncul dialog box pada *Case/Combo Name* pilih tipe beban/kombinasi beban yang akan dilihat, berikutnya pilih tipe tegangan yang akan dilihat pada *component S11* (tegangan pada arah X), *S22* (tegangan pada arah Y), *S33* (tegangan arah Z), *S12* (tegangan geser akibat beban sendiri).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Stabilitas Bendung pada Kondisi Air Normal

Hasil analisis stabilitas bendung pada kondisi air normal yang memperlihatkan besarnya gaya dan momen dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Rekapitulasi Rekap Gaya-Gaya pada Kondisi Air Normal

No	Faktor Gaya	Gaya		Momen	
		H (ton)	V (ton)	Guling (tm)	Tahan (tm)
1	Berat Kontruksi	-	-121.62	-	-1187.61
2	Gaya Gempa	4.23	-	15.08	-
3	Gaya Hidrostatik	3.78	-2.32	19.47	-39.29
4	Gaya Uplift	4.09	67.38	9.28	564.9
5	Tekanan Lumpur	1.165	-4.18	5.99	-70.68
Jumlah		13.27	-60.74	49.82	-732.68

1) Kontrol terhadap guling.

$$SF = \frac{732.68}{49.82} = 14.7 > 1.5, \text{ Aman}$$

2) Kontrol terhadap geser.

$$SF = 0.75 \times \frac{60.74}{13.27} = 3.43 > 1.5, \text{ Aman}$$

3) Kontrol terhadap daya dukung tanah.

Lebar dasar bendung = B = L = 17.72 m

$$e = \frac{682.86}{60.74} - \frac{17.72}{2} \leq \frac{17.72}{6}$$

syarat : $e < \frac{1}{6} \times l = 2.95, \text{ Ok}$

4) Kontrol tegangan tanah, $\sigma_{max} < (\bar{\sigma})$ dan $\sigma_{min} > 0$.

$$\sigma_{min} = \frac{60.74}{17.72} \times \left(1 + \frac{6 \times (2.38)}{17.72} \right)$$

$$= 6.15 \text{ tm}^2 > 0 \text{ aman}$$

$$\sigma_{max} = \frac{60.74}{17.72} \times \left(1 - \frac{6 \times (2.38)}{17.72} \right)$$

$$= 0.68 \text{ tm}^2 < 30.98 \text{ tm}^2, \text{ Aman}$$

3.2 Analisis Stabilitas Bendung pada Kondisi Air Banjir

Pada saat bendung dengan kondisi air banjir maka gaya-gaya yang bekerja ada yang mengalami perubahan gaya *uplift pressure*, gaya hidrostatik, sementara gaya-gaya yang tetap adalah gaya akibat berat sendiri, gaya akibat pengaruh gempa, gaya akibat tekanan tanah, dan gaya akibat tekanan lumpur. Tabel 3 menunjukkan rekapitulasi gaya yang bekerja pada kondisi air banjir.

Tabel 3 Rekapitulasi Gaya yang Bekerja pada Kondisi Air Banjir

No	Faktor Gaya	Gaya		Momen	
		H (ton)	V (ton)	Guling (tm)	Tahan (tm)
1	Berat Kontruksi	-	-121.6	-	-1187.61
2	Gaya Gempa	4.23	-	15.08	-
3	Gaya Hidrostatik	12.58	-41.92	66.53	-395.3
4	Gaya Uplift	-4.69	121.95	-31.17	1062.8
5	Tekanan Lumpur	1.165	-4.18	5.99	-70.68
Jumlah		13.29	-45.77	56.43	-590.79

1) Kontrol terhadap guling

$$SF = \frac{590.79}{56.43} = 10.46 > 1.25, \text{ Aman}$$

2) Kontrol terhadap geser

$$SF = 0.75 \times \frac{45.77}{13.29} = 2.58 > 1.25, \text{ Aman}$$

3) Kontrol terhadap daya dukung tanah.

$$\text{Lebar dasar bendung} = B = L = 17.72 \text{ m}$$

$$e = \frac{534.36}{45.77} - \frac{17.72}{2} \leq \frac{17.72}{6}$$

$$\text{syarat : } e < \frac{1}{6} \times l = 2.81 \leq 2.95, \text{ Ok}$$

4) Kontrol tegangan tanah, $\sigma_{max} < (\bar{\sigma})$ dan $\sigma_{min} > 0$.

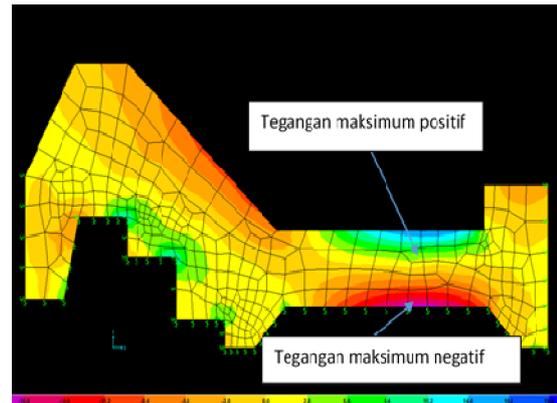
$$\begin{aligned} \sigma_{min} &= \frac{45.77}{17.72} \times \left(1 + \frac{6 \times (2.81)}{17.72} \right) \\ &= 5.036 \text{ tm}^2 > 0, \text{ Aman} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{max} &= \frac{45.77}{17.72} \times \left(1 - \frac{6 \times (2.81)}{17.72} \right) \\ &= 0.129 \text{ tm}^2 < 30.98 \text{ tm}^2 \text{ Aman} \end{aligned}$$

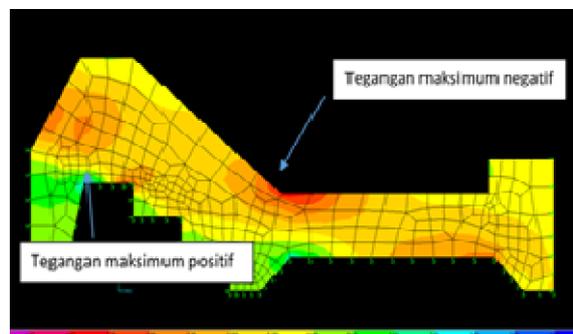
3.3 Permodelan Struktur Bendung dengan Menggunakan SAP2000

Gaya-gaya yang berkerja pada bendung dimodelkan menggunakan permodelan dua dimensi. Struktur bendung dimodelkan sebagai elemen sengkang (*shell*). Pembebanan pada struktur 2 dimensi untuk beban lumpur, beban air normal dan beban air banjir dimodelkan sesuai asumsi beban yang dipakai, yaitu beban merata segitiga untuk beban lumpur, beban air normal, dan beban air banjir. Perletakan untuk struktur bendung dimodelkan dengan *spring*. Hasil analisis struktur bendung ditinjau dengan cara melihat hasil tegangan S11, lendutan dan hasil reaksi dasar yang terjadi pada struktur bendung. Tegangan maksimum -30.354186 t/m^2 terjadi di bagian bawah kolam olak sedangkan tegangan maksimum 16.811126 t/m^2 terjadi pada bagian atas kolam olak. Gambar 10 menunjukkan permodelan stabilitas bendung akibat berat sendiri.

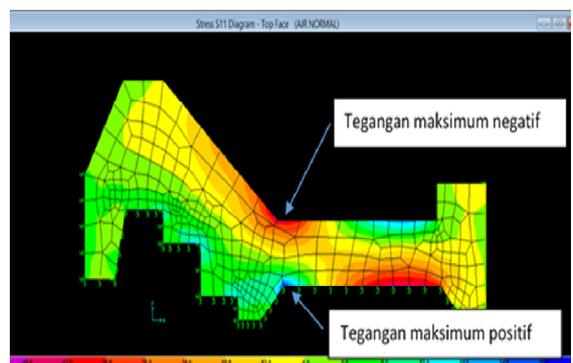
Gambar 11 menunjukkan permodelan stabilitas bendung akibat beban lumpur. Beban lumpur dimodelkan sebagai beban terpusat. Tegangan maksimum yang dihasilkan sebesar -4.194299 t/m^2 terjadi diantara tekukan tubuh bendung dan kolam olak sedangkan tegangan maksimum positif yang dihasilkan sebesar 2.626117 t/m^2 terjadi di bagian bawah tekukan bendung. Gambar 12 menunjukkan permodelan stabilitas bendung kondisi air normal.



Gambar 10 Permodelan Stabilitas Bendung Akibat Berat Sendiri

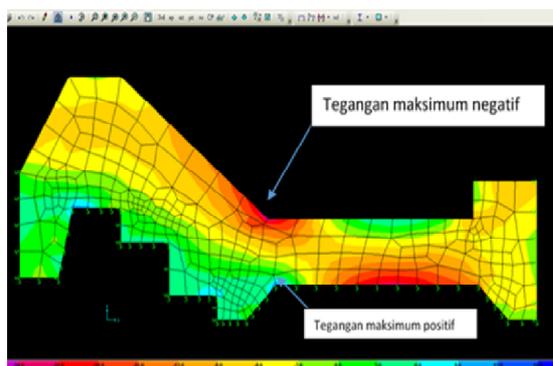


Gambar 11 Permodelan Stabilitas Bendung Akibat Beban Lumpur



Gambar 12 Permodelan Stabilitas Bendung Kondisi Air Normal

Permodelan akibat beban air normal dimodelkan sebagai beban terpusat (*point load*). Tegangan S11 maksimum yang dihasilkan -47.18661 t/m^2 terjadi di sekitar tekukan bendung dan kolam olak, sedangkan untuk tegangan maksimum sebesar 31.412491 t/m^2 terjadi di bagian bawah di sekitar tekukan bendung dan kolam olak. Gambar 13 menunjukkan permodelan stabilitas bendung kondisi air banjir.



Gambar 13 Permodelan Stabilitas Bendung Kondisi Air Banjir

Permodelan akibat beban air banjir, beban dimodelkan sebagai beban terpusat (*point load*). Tegangan S11 maksimum yang dihasilkan sebesar $-24,214049 \text{ t/m}^2$ terjadi di sekitar tekukan bendung dan kolam olak, sedangkan untuk tegangan maksimum sebesar $11,098479 \text{ t/m}^2$ terjadi di bagian bawah di sekitar tekukan bendung dan kolam olak. Analisis desain ini menyatakan adanya bagian dari struktur yang mengalami kondisi kritis, semuanya terletak di bagian tekukan atas pertemuan antara tubuh bendung dan kolam olak dan juga di bagian bawah kolam olak yang ditunjukkan dengan warna merah yang tampak pada desain bendung.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis stabilitas dengan pertimbangan beban – beban yang bekerja, dapat diketahui bahwa konstruksi bendung aman terhadap bahaya guling karena memenuhi persyaratan $SF > 1,5$ pada kondisi air normal dan $SF > 1,25$ pada kondisi air banjir, aman terhadap bahaya geser karena memenuhi persyaratan $SF > 1,5$ pada kondisi air normal dan $SF > 1,25$ pada kondisi air banjir, serta memenuhi persyaratan $\sigma_{maks} < \sigma_{ijin}$ tanah dan $\sigma_{min} > 0$ untuk daya dukung tanah dasarnya.

5. SARAN

Dalam perencanaan bendung perlu mempertimbangkan dimensi tipe bendung dan pemilihan jenis konstruksi terhadap stabilitas bendung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. J. D. P. Umum, *Standart Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan 06*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum, 1986.
- [2] D. J. D. P. Umum, *Standart Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan 02*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum, 1986.
- [3] D. P. P. Wilayah, *Pedoman Konstruksi dan Bangunan Pd T-14-2004-A Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan Akibat Beban Gempa*. Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2004.
- [4] Soedibyo, *Teknik Bendungan*. Jakarta: Pradnya Paramita, 1993.
- [5] E. Mawardi and M. Memed, *Desain Hidraulik Bendung Tetap Untuk Irigasi Teknis*. Bandung: Alfabeta, 2002.