

# ANALISIS TEGANGAN DENGAN METODE ELEMEN HINGGA PADA SPILLWAY BENDUNGAN DENGAN PENGGANTIAN BENTUK MERCU

Yoga Sabraina Haslinda<sup>1)</sup>, Agus Supriyadi<sup>2)</sup>, Adi Yusuf Muttaqien<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>2) 3)</sup>Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jln Ir Sutami 36 A, Surakarta 57126

e-mail : yoga.mx@gmail.com

## Abstract

Indonesia is a country that has two seasons, rainy and dry season . Water is abundant in the rainy season and very little when dry . So in the dam should be in design so that it can store water for use during the dry season and should be able to drain the excess water when rainy season . Spillway replacement tree top shape is one way to increase the flow spillway lighthouse. This study examined the voltage in the spillway structure with ogee spillway replacement lighthouse form with the form at the dam Jatibarang trapesoid lighthouse , Semarang , Central Java . Due to the summit trapesoid forms that are not prismatic in the longitudinal direction so that the analysis performed by the Finite Element Method , using 3D solid elements . From the analysis Element Method By using SAP2000 program gained increasing voltage akibatpenggantian lighthouse shape spillway for normal stress S11 towards an increase in the range of 0 % - 43366.93 % , S22 in the range of 0 % - 32767.74 % and in the direction of S33 in the range 0 - 132,349.32 % , the rate on the basis of segment lighthouse spillway . In the body segments spillway and spillway base increased normal stresses in all directions will decrease.

**Keywords:**Finite Element Method, Spillway Trapesoid, Ogee Spillway.

## Abstrak

Indonesia merupakan negara yang memiliki dua musim yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Air melimpah pada musim penghujan dan sangat sedikit ketika kemarau. Sehingga dalam pada bendungan harus di disain sedemikian sehingga dapat menampung air untuk digunakan pada musim kemarau dan harus dapat mengalirkan air yang berlebihan ketika musim pennghujan. Penggantian bentuk mercu *spillway* adalah salah satu cara untuk meningkatkan debit aliran mercu pelimpah. Penelitian ini meneliti tegangan dalam struktur bangunan *spillway* dengan penggantian bentuk mercu *spillway* ogee dengan bentuk mercu trapesoid pada bendungan Jatibarang, Semarang, Jawa Tengah. Dikarenakan bentuk mercu trapesoid yang tidak prismatis pada arah longitudinal sehingga analisis yang dilakukan dengan Metode Elemen Hingga, menggunakan elemen *solid* 3D. Dari hasil analisis Metode Element Hingga menggunakan program SAP2000 didapat peningkatan tegangan akibatpenggantian bentuk mercu *spillway* untuk tegangan normal arah S11 terjadi peningkatan pada kisaran 0% - 43366,93%, S22 pada kisaran 0% - 32767,74% dan pada arah S33 dalam kisaran 0 – 132349,32%, angka tersebut pada segmen dasar mercu *spillway*. Pada segmen badan *spillway* dan dasar *spillway* peningkatan tegangan normal pada semua arah akan semakin berkurang.

**Kata Kunci :**Metode Element Hingga, *Spillway* Trapesoid, *Spillway* Ogee.

## PENDAHULUAN

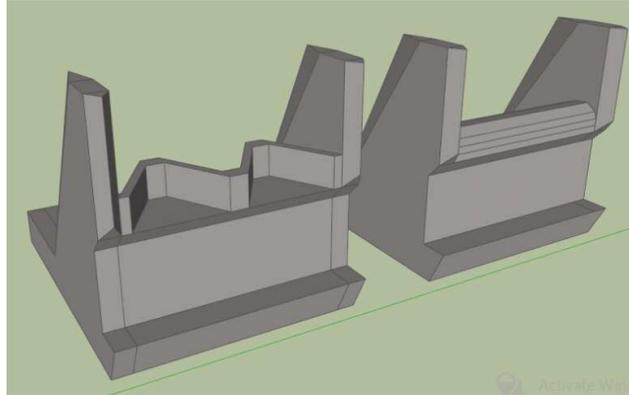
Indonesia merupakan negara yang memiliki intensitas hujan yang tinggi. Intensitas hujan tersebut akan sangat tinggi ketika musim hujan dan akan sangat rendah ketika musim kemarau. Permasalahan tersebut menyebabkan berlebuhnya air di musim penghujan dan kekurangan air di musim kemarau. Oleh karena itu dibutuhkan suatu tampungan untuk menyimpan kelebihan air di musim penghujan, sehingga dapat di dimanfaatkan di musim kemarau.

Suatu tampungan tersebut salahsatunya adalah bendungan. Bendungan memiliki banyak fungsi, salah satunya menampung air yang nantinya akan digunakan dimusim kemarau. Bendungan sendiri harus memenuhi berbagai persyaratan, salahsatunya adalah bendungan harus dapat menampung cukup air yang kemudian akan digunakan ketika musim kemarau datang. Ketika musim penghujan bendungan harus dapat melimpaskan kelebihan air (*overtopping*) yang ditampung oleh bendungan.

Berlebuhnya air yang di tampung oleh bendungan akan mengakibatkan tinggi muka air bendungan naik. Kenaikan tersebut dapat membahayakan bendungan bila tidak di limpaskan untuk mengurangi tinggi muka air bendung. Dengan demikian diperlukan bangunan pelimpah (*spillway*) yang dapat mengalirkan debit yang cukup besar untuk mencegah *overtopping*.

Kebutuhan akan mercu pelimpah yang dapat mengalirkan debit yang tinggi tersebut dapat diselesaikan dengan memodifikasi mercu bendung. Pada tahun 2012, Andi Tri Utomo dan Choirunisa telah melakukan penelitian dengan cara memodifikasi mercu *spillway*. Perubahan mercu *spillway* yang semula tipe ogee dimodifikasi menjadi

*labyrinth crest* (Trapezium tipe II, Deret Sinusoida). Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terjadi peningkatan kapasitas debit pelimpah pada masing-masing modifikasi.



Gambar 1 Contoh gambar 3D dari bentuk mercu *spillway* Trapezium sebelah kiri dan ogee sebelah kanan.

Modifikasi mercu *spillway* tersebut akan mempengaruhi tegangan dalam yang terjadi di badan *spillway*. Besarnya tegangan yang terjadi dengan penggantian bentuk mercu *spillway* perlu diteliti kembali. Untuk tujuan mendapatkan besaran tegangan dalam yang terjadi pada badan *spillway*. Kondisi ini menarik peneliti untuk meneliti permasalahan yang terjadi tersebut.

#### **METODE ELEMEN HINGGA**

Metode Elemen Hingga atau *finite element method* merupakan metode pendekatan yang dapat digunakan pada banyak permasalahan *engineering*. Metode ini sangat fleksibel karena bentuk struktur yang rumit dan kompleks selalu di sederhanakan menjadi elemen – elemen kecil yang lebih sederhana. Penyederhanaan ini memungkinkan suatu permasalahan struktur yang kompleks dapat diselesaikan dengan hasil yang dapat dipertanggungjawabkan.

#### **ELEMEN SOLID 3D**

Elemen solid adalah elemen delapan-node untuk pemodelan struktur tiga dimensi dan padat. Hal ini didasarkan pada suatu formulasi yang mencakup sembilan isoparametrik dan di anggap tidak terjadi lentur. lentur ini di anggap tidak ada karena secara signifikan akan meningkatkan perilaku momen pada elemen, jika geometri elemen adalah persegi panjang. Peningkatan perilaku dapat di tunjukan meski pada elemen dengan geometri *non-rectangular*.

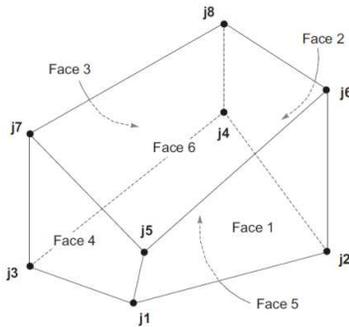
Elemen solid memiliki koordinat local untuk mendefinisikan sifat bahan dan pembebanan, dan untuk menafsirkan keluaran. Pengaruh suhu (*thermal*), sifat material *anisotropic*, dapat diperhitungkan dalam elemen ini. Pada setiap elemen dapat diberi pembebanan grafitasi (segala arah), tekanan pada permukaan, tekanan pori didalam elemen, dan beban karena perubahan suhu.

Setiap elemen solid memiliki enam sisi segiempat, dengan node yang berlokasi di masing-masing dari delapan sudut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 . Penting untuk dicatat posisi relatif dari delapan *joint* yaitu  $j_1$ - $j_2$ - $j_3$  dan  $j_5$ - $j_6$ - $j_7$  akan muncul berlawanan bila dilihat di sepanjang arah dari  $j_5$  ke  $j_1$ . Matematis menyatakan, tiga vektor:

- $V_{12}$ , from jointts  $j_1$  to  $j_2$ ,
- $V_{13}$ , from jointts  $j_1$  to  $j_3$ ,
- $V_{15}$ , from jointts  $j_1$  to  $j_5$ ,

Ketiga hasil diatah harus bernilai positif.

$$(V_{12} \times V_{13}) \cdot V_{15} > 0$$



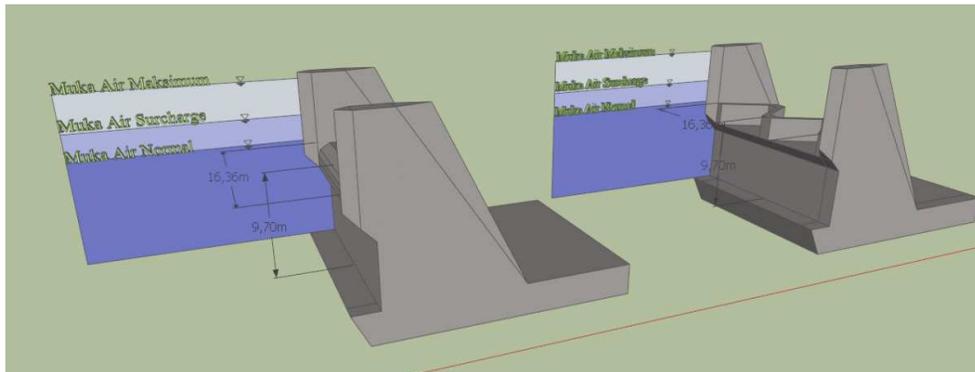
Gambar 2. *Solid Element Jointt Connectivity and Face Definitions.*

Lokasi dari node harus dipilih untuk memenuhi kondisi geometrik berikut:

- Sudut dalam di setiap sisi harus kurang dari  $180^\circ$ . Hasil terbaik akan didapat ketika berada di dekat sudut  $90^\circ$ , atau setidaknya di kisaran  $45^\circ$  hingga  $135^\circ$ .
- Perbandingan dimensi geometri dari elemen tidak boleh terlalu besar. Perbandingan ini adalah dari dimensi paling panjang dengan dimensi paling pendek. Hasil terbaik adalah perbandingan mendekati satu, atau setidaknya kurang dari empat. Perbandingan ini tidak boleh melebihi sepuluh. Kondisi ini dapat terpenuhi dengan perbaikan *mesh*.

### STUDI KASUS

Model struktur merupakan *spillway* beton dari waduk Jatibarang Semarang, Jawa Tengah. *Spillway* tipe *Ogee* dan dimodifikasi menjadi tipe *Trapezoid*, sesuai dengan gambar 3D berikut ini:

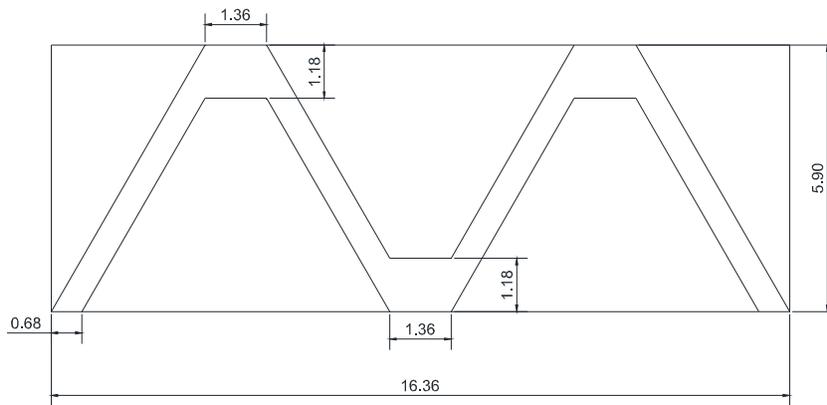


Gambar 3. *Spillway Waduk Jatibarang tipe Ogee ( kiri ) dan tipe Trapezoid( kanan )*

Adapun data struktur yang diketahui yaitu:

1. Jenis Bangunan : *Spillway* Tipe Ogee
2. Tinggi Mercu : 9,7 m
3. Lebar Mercu : 16,36 m
4. *Characteristic Strength* : 225 kg/cm<sup>2</sup>
5. *Weight per Unit Volume* Beton : 2200 kg/m<sup>3</sup>
6. Elevasi Muka Air Normal : 9,7 m
7. Elevasi Muka Air *Surchage* : 12,2 m
8. Elevasi Muka Air Maksimum : 15,7 m

Pada penelitian ini tipe mercu yang digunakan untuk modifikasi *spillway* adalah mercu *Trapezoid* Tipe II dengan sudut kemiringan *labirint* sebesar  $30^\circ$ . Seperti pada gambar berikut ini.

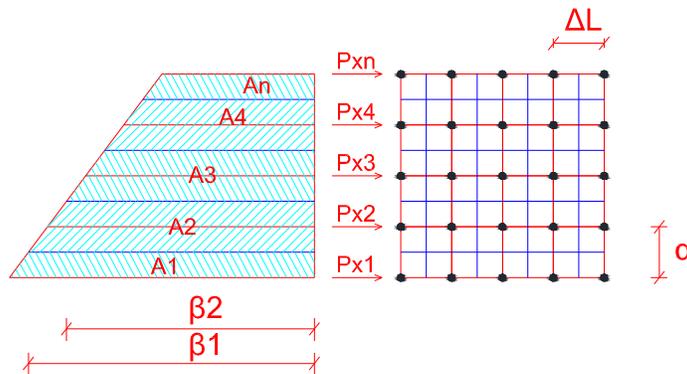


Gambar **Error! No text of specified style in document.** Tampak Atas Meru Trapesoid. Dinding labirint yang direncanakan adalah 0,5 m.

### PEMBEBANAN

Tekanan hidrostatik dirumuskan dengan  $P = \rho gh$  maka bila dilihat dari tampak samping akan membentuk garis linier berbentuk segitiga. Pembebanan lateral pada Program SAP2000 di bebaskan pada tiap joint di masing-masing elemen. Sehingga beban merata di permukaan bidang harus di transformasikan menjadi beban titik. Pembebanan pada penelitian.

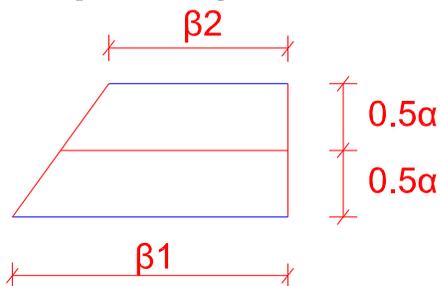
Setiap titik pembebanan mewakili seperempat dari bidang pembebanan pada setiap elemen struktur. Contoh perhitungan pada elevasi 2 m dan 3 m pada pembebanan muka air normal. Elevasi muka air adalah 9,7 m.



Gambar 5 Pembebanan dilihat dari tampak samping dan pembagian pembebanan pada masing-masing Jointt.

Apabila di potong pada elevasi 2 m dan 3 m maka akan didapat pembebanan berbentuk dua buah trapesium siku-siku yang ber tumpukan seperti pada Gambar 4.4. Sehingga beban yang diterima bidang akibat luasan pembebanan A2 adalah :

Perhitungan beban trapesium A2



$$\beta_1 = H - (Z_0 + Z_1)/2$$

$$\beta_2 = H - (Z_1 + Z_2)/2$$

Maka luas beban trapesium menjadi;

$$A_2 = (\beta_1 + \beta_2)/2 \times \alpha$$

Dimana :  $\beta_1 = \text{Water pressure pada elevasi teratas element \#9.}$   
 $\beta_2 = \text{Water pressure pada elevasi terbawah element \#9.}$   
 $\alpha_1 = \text{Tinggi elemen \#9.}$   
 $H = \text{Elevasi muka air terhadap dasar spillway.}$

Beban trapesium tersebut masih dalam satuan per m' sehingga harus dikalikan dengan setengah lebar elemen sebelah kiri dan setengah lebar elemen sebelah kanan seperti digambarkan pada gambar 4.5. Pada joint paling tepi dari struktur global maka pembebanan dipakai 0,5Px. Dikarenakan joint paling tepi hanya mewakili 2 permukaan elemen di sebelahnya. Pembebanan tersebut di berikan pada setiap joint yang bersinggungan dengan air. Pembebanan pada *labirint* Px tersebut tidak searah dengan sumbu x global melainkan tgak lurus dengan sumbu lokal element. Pada program SAP2000 untuk melakukan pembebanan yang tidak searah dengan sumbu global struktur akan mengalami kesulitan, sehingga pada penelitian ini Px pada sisi *labirint* di transformasikan menjadi sumbu X dan arah Y global struktur. Perhitungan pembebanan secara keseluruhan bisa bdilihat di lampiran.

Pada penelitian ini mode pembebanan yang di gunakan adalah ketika muka air rerata tepat pada mercu *spillway* (Kondisi *Normal Water Level*), muka air rerata pada mercu *emergency spillway* (Kondisi *Surcharge Water Level*) dan muka air rerata berada pada kondisi maksimal (Kondisi *Maximum Water Level*).

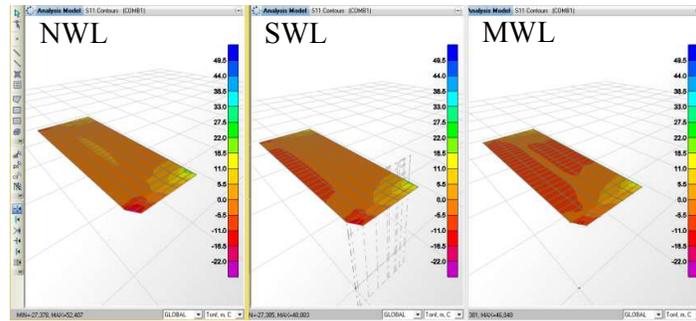
### ANALISIS

Dasar mercu *spillway* berada tepat dibawah mercu *spillway* sehingga perbedaan tegangan dalam akan terlihat jelas pada segmen ini. Bentuk dan dimensi yang berlainan pada segmen di atasnya ini yang mengakibatkan terjadinya perubahan tegangan dalam yang cukup signifikan. Pada segmen ini kedua model memiliki dimensi, bentuk dan karakteristik bahan yang sama sehingga segmen ini dapat dibandingkan perubahan tegangan dalamnya. Tegangan dalam yang diterima oleh segmen ini akan dilanjutkan pada segmen di bawahnya. Berikut dibawah ini adalah hasil analisis tegangan normal pada segmen dasar mercu *spillway* untuk mercu *Ogee* dan *Trapezoid* dengan mode pembebanan *NWL*, *SWL* dan *MWL*.

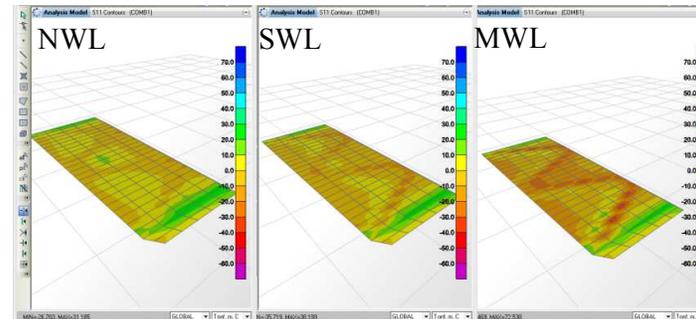
Tabel 1 Contoh tabulasi Peningkatan Tegangan Normal Arah S11 Pada Elevasi 7,2 m.

Tabel - Element normal Stress - Solid "Normal Water Level"					
Segmen	Jointt	<i>Ogee</i> (Tonf/m2)	<i>Trapezoid</i> (Tonf/m2)	Perubahan Tegangan (Tonf/m2)	Perubahan Tegangan (%)
A3		S11	S11	S11	S11
Lv+7	1951	-9,62	-0,17	9,45	98,23
	1951	-11,06	-2,43	8,63	78,03
	1952	-2,35	5,56	7,91	336,60
	1952	-2,02	3,23	5,25	259,90
	1952	-7,32	0,30	7,62	104,10
	1952	-11,15	-0,73	10,42	93,45
	1953	0,03	3,69	3,66	12966,57
	1953	0,32	5,02	4,70	1468,75
	1953	-1,72	4,87	6,59	383,14
	1953	-2,45	2,84	5,29	215,92

Pada Tabel 4.1 di atas adalah tabel peningkatan tegangan normal arah S11 yang terjadi pada dasar mercu *spillway* dengan peningkatan tegangan normal lebih besar dari 50% pada elevasi paling bawah untuk segmen ini yaitu 7,2 m. Peningkatan yang terjadi pada segmen ini terlihat ekstrim dikarenakan perubahan bentuk yang semula beraturan (*Ogee*) menjadi tidak beraturan (*trapezoid*). Tabel 4.1 merupakan contoh dari tabulasi perubahan tegangan normal arah S11. Untuk tabulasi yang lebih lengkap dan tabulasi mode pembebanan *SWL* dan *MWL* dapat di lihat pada lampiran.



Gambar 6 Kontur Tegangan S11 Dasar Mercu Spillway Ogee Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL



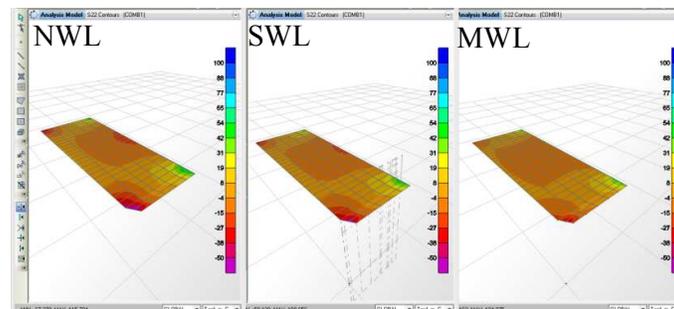
Gambar 7 Kontur Tegangan S11 Dasar Mercu Spillway Trapesoid Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL

Perubahan tegangan pada kedua model tersebut juga dapat dilihat pada kontur tegangan seperti di gambarkan pada Gambar 4.13 untuk tegangan normal yang terjadi pada mercu *ogee* dan **Gambar 4.14** untuk tegangan normal yang terjadi pada mercu *trapesoid*. Terlihat sangat jelas bahwa kontur tegangan pada mercu *trapesoid* terlihat warna yang berbeda dengan mercu *Ogee*.

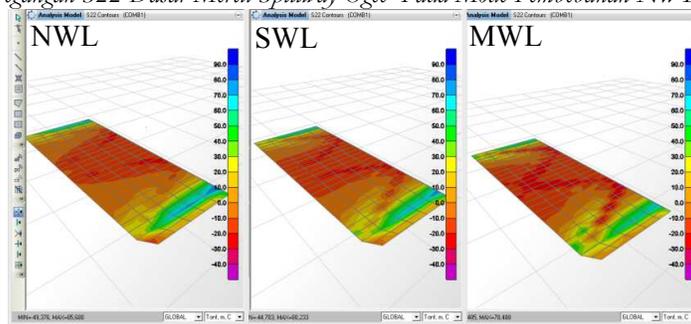
Tabel 2 Tabulasi Peningkatan Tegangan Normal Arah S22 Pada Elevasi 7,2 m.

Tabel - Element normal Stress - Solid "Normal Water Level"					
Segmen	Jointt	<i>Ogee</i>	<i>Trapesoid</i>	Perubahan	Perubahan
A3		(Tonf/m <sup>2</sup> )	(Tonf/m <sup>2</sup> )	Tegangan	Tegangan (%)
		S22	S22	S22	S22
Lv+7	1951	-34,74	-9,38	25,36	73,00
	1951	-37,30	-11,42	25,88	69,38
	1952	-6,39	10,68	17,07	267,14
	1952	-6,37	8,43	14,80	232,34
	1952	-7,41	7,52	14,93	201,48
	1952	-10,22	6,83	17,05	166,83
	1953	-1,25	10,11	11,36	908,80
	1953	-1,86	9,02	10,88	584,95
	1953	-2,73	9,87	12,60	461,54
	1953	-3,14	8,51	11,65	371,02

Lokasi dan besarnya tegangan normal arah S22 pada segmen ini berlainan dengan tegangan normal arah S11. Untuk tabulasi yang lebih lengkap dapat di lihat pada lampiran.



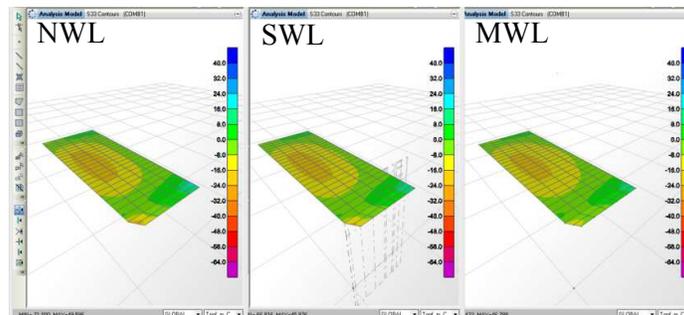
Gambar 8 Kontur Tegangan S22 Dasar Mercu Spillway Ogee Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL



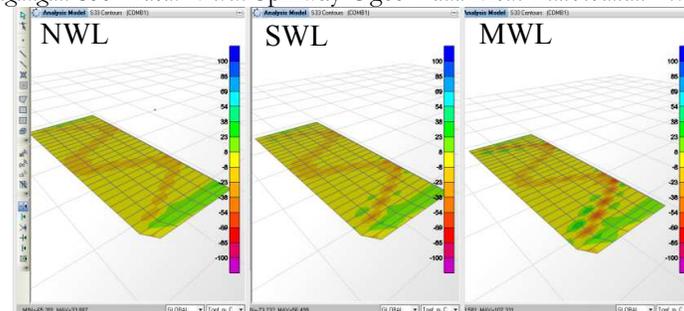
Gambar 9 Kontur Tegangan S22 Dasar Mercu Spillway Trapesoid Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL

Tabel 3 Tabulasi Peningkatan Tegangan Normal Arah S33 Pada Elevasi 7,2 m.

Tabel - Element normal Stress - Solid "Normal Water Level"					
Segmen A3	Jointt	Ogee (Tonf/m2)	Trapesoid (Tonf/m2)	Perubahan Tegangan (Tonf/m2)	Perubahan Tegangan (%)
		S33	S33	S33	S33
Lv+7	1951	-10,80	-0,52	10,28	95,19
	1951	-13,28	-4,82	8,46	63,70
	1952	-2,88	8,36	11,24	390,28
	1952	-3,18	1,57	4,75	149,37
	1952	-3,29	1,61	4,90	148,94
	1952	-13,49	0,08	13,57	100,59
	1953	0,56	5,94	5,38	960,71
	1953	-1,55	5,85	7,40	477,42
	1953	-0,97	2,16	3,13	322,68
	1953	-2,23	1,72	3,95	177,13



Gambar 10 Kontur Tegangan S33 Dasar Mercu Spillway Ogee Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL



Gambar 11 Kontur Tegangan S33 Dasar Mercu Spillway Trapesoid Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL

**SIMPULAN**

- Berdasarkan pengamatan tegangan hasil keluaran dari program SAP2000 dengan mode pembebanan NWL,SWL dan MWL pada model struktur *spillway* dengan mercu *Ogee* dan *Trapesoid* maka dapat disimpulkan sebagai berikut. Perubahan tegangan paling besar terletak pada segmen dasar mercu pada kedua model mercu

dimana segmen tersebut berhubungan langsung dengan mercu *spillway* yaitu segmen dasar mercu lihat Gambar 4.13.

- b. Analisis tegangan dengan menggunakan program SAP2000 menghasilkan data tegangan yang terjadi pada masing – masing mercu. Dari perbandingan tersebut didapatkan perbedaan peningkatan tegangan untuk tegangan normal arah S11 terjadi peningkatan pada kisaran 0% - 43366,93%, S22 pada kisaran 0% - 32767,74% dan pada arah S33 dalam kisaran 0 – 132349,32%

Hasil dari analisis menggunakan program SAP2000 ini terlihat peningkatan yang sangat besar, tetapi nilai yang sangat ekstrim tersebut hanya terjadi pada beberapa titik dan bukan satu luasan tertentu. Dalam luasan bidang perubahan tegangan tersebut akan merata dan menghasilkan perubahan yang tidak terlampaui ekstrim. Peningkatan tegangan yang ekstrim terjadi karena berbagai macam faktor. Faktor-faktor penyebab terjadinya peningkatan yang ekstrim tersebut diantaranya adalah :

- Perbedaan bentuk model yang sangat berbeda, sehingga menghasilkan tegangan yang variatif pada kedua model. Variasi tegangan yang berbeda tersebut menjadikan nilai yang sangat ekstrim ketika dibandingkan.
  - Pembagian elemen solid dimana dimensi elemen terlalu besar, keadaan itu menjadikan kurangnya ketelitian dalam analisis, seperti di jelaskan pada prinsip dasar Metode Elemen Hingga. Dalam penelitian ini tidak dilakukan *diskretisasi* (pembagian elemen) dengan dimensi yang lebih kecil dikarenakan keterbatasan komputer penulis.
  - Penyaluran tegangan yang tidak merata pada model struktur tipe *Trapezoid* menjadikan perubahan yang besar pada titik- titik tertentu.
- c. Dari analisis visual kontur tegangan dan analisis data tegangan segmen yang harus di berikan perkuatan adalah pada **segmen dasar mercu** (dapat dilihat pada Gambar 4.13) dan beberapa bagian badan *spillway*. Pada segmen mercu *spillway* perlu dianalisis kembali dengan elemen yang cocok, dikarenakan mercu *spillway* tipe *trapezoid* tersebut sangat mungkin terjadi tegangan lentur dan geser.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Terelesainya penyusunan penelitian ini berkat dukungan dan doa dari orang tua, untuk itu kami ucapkan terima kasih. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Ir.Agus Supriyadi, MT dan Ir. Adi Yusuf Muttaqien, MT, selaku pembimbing yang dengan penuh kesabaran telah memberi koreksi dan arahan sehingga menyempurnakan penyusunan. Rasa terima kasih penulis sampaikan khusus untuk Hafid, Anang, Arif, dan Didit yang telah membantu dalam proses penelitian. Pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah berperan dalam mewujudkan penelitian ini secara langsung maupun tidak langsung khususnya mahasiswa sipil UNS 2008.

## REFRENSI

- Dewobroto, W. 2008. *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP 2000*. PT Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia, Jakarta
- Moch. Fadhli Bargess, Cindrawaty Lesmana, Robby Yussac Tallar. 2009. *Analisis Struktur Bendung Dengan Metode Elemen Hingga*. Journal. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha
- Paramita. 2012. *Proyek Pembangunan Waduk Jatibarang, Semarang (Tinjauan Khusus Pada Pekerjaan Spillway)*. Laporan Kerja Praktek. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UNS Surakarta.
- Rochmadi, A. 2012. *Perilaku Model Tereduksi Struktur Rel Kereta Api dengan Perkuatan Cerucuk Kayu Ditinjau Dari Pola Lendutan Akibat Pembebanan Statis Repetitif Dengan Metode Elemen Hingga (SAP 2000 v.11)*. Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UNS Surakarta.
- Suhendro, B. 2000. *Metode Elemen Hingga dan Aplikasinya*, Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Utomo, A,T. 2012. *Peningkatan Kapasitas Spillway Dengan Perubahan Bentuk Puncak Deret Trapezium Tipe II*. Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UNS Surakarta.
- Yijun Liu. 2003. *Introduction to the Finite Element Methode*. CAE Reserch Laboratory Mechanical Engineering Departement, University of Cincinnati, USA