

SKRIPSI  
**ANALISIS TEGANGAN DENGAN METODE ELEMEN  
HINGGA PADA *SPILLWAY* BENDUNGAN DENGAN  
PENGANTIAN BENTUK MERCU.**

*Stress Analysis by Finite Element Method for Spillway of The Dam With Spillway  
Crest Replacement.*

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menempuh Ujian Sarjana Teknik  
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNS



Disusun oleh :

**YOGA SABRAINA H.**

**I 0108235**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET**

**SURAKARTA**

**2014**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS TEGANGAN DENGAN METODE ELEMEN  
HINGGA PADA *SPILLWAY* BENDUNGAN DENGAN  
PENGANTIAN BENTUK MERCU.**

*Stress Analysis by Finite Element Method for Spillway of The Dam  
With Spillway Crest Replacement.*

**SKRIPSI**

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik

Universitas Sebelas Maret Surakarta



Disusun Oleh :

**YOGA SABRAINA H.**

**NIM I. 0108235**

Telah disetujui untuk dipertahankan di hadapan Tim Penguji Pendadaran Fakultas  
Teknik Universitas Sebelas Maret

Persetujuan:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Agus Supriyadi, MT

NIP : 19600322 198803 1 001

Ir. Adi Yusuf Muttaqien, MT

NIP : 1958127 198803 1 001

**ANALISIS TEGANGAN DENGAN METODE ELEMEN  
HINGGA PADA SPILLWAY BENDUNGAN DENGAN  
PENGANTIAN BENTUK MERCU**

*Stress Analysis by Finite Element Method for Spillway of The Dam  
With Spillway Crest Replacement.*

**Disusun oleh:**  
**YOGA SABRAINA H**  
**NIM. 1 0108235**

Telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Pendararan Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

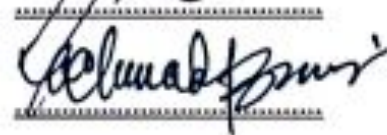
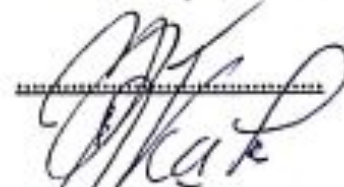
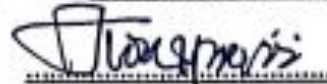
Pada hari : Jumat  
Tanggal : 19 Desember 2014

Ir. Agus Supriyadi, MT  
NIP. 19600322 198803 1 001

Ir. Adi Yusuf M, MT  
NIP. 19581127 198803 1 001

Ir. Mukahar, MSCE  
NIP. 19541004 198503 1 001

Achmad Basuki, ST, MT  
NIP. 19710901 199702 1 001



Disahkan  
Ketua Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik UNS



Ir. Bambang Santosa, MT  
NIP. 19590823 198601 1 001

## ABSTRAK

**Yoga Sabraina H, 2013. Analisis Tegangan Dengan Metode Element Hingga Pada *spillway* Bendungan Dengan Penggantian Bentuk Mercu**. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Air melimpah pada musim penghujan dan sangat sedikit ketika musim kemarau, sehingga bendungan harus didesain sedemikian hingga dapat menampung air untuk digunakan pada musim kemarau dan harus dapat mengalirkan air yang berlebihan ketika musim penghujan, melalui *spillway*. *Spillway* harus bisa mengalirkan air sehingga air tidak melimpas melalui badan bendungan. Penggantian bentuk mercu *spillway* adalah salah satu cara untuk meningkatkan debit aliran mercu pelimpah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui letak terjadinya tegangan yang berlebihan. Mengetahui perbedaan tegangan yang terjadi pada badan *spillway* dengan penggantian bentuk mercu *spillway*. Mengetahui letak bagian *spillway* yang harus diberi perkuatan.

Penelitian ini meneliti tegangan dalam struktur bangunan *spillway* dengan penggantian bentuk mercu *spillwayogee* dengan bentuk mercu trapesoid pada bendungan Jatibarang, Semarang, Jawa Tengah. Dikarenakan bentuk mercu trapesoid yang tidak prismatis pada arah longitudinal maka analisis dengan alat bantu SAP2000 menggunakan elemen *solid 3D*.

Dari hasil analisis didapat peningkatan tegangan akibat penggantian bentuk mercu *spillway* untuk tegangan normal arah *X-axis* terjadi peningkatan pada kisaran 0% - 43366,93%, *Y-axis* pada kisaran 0% - 32767,74% dan pada arah *Z-axis* 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, *Trapezoid Spillway*, *Ogee Spillway*.

## ABSTRACT

**Yoga Sabrainna H, 2013. *Stress Analysis by Finite Element Method for Spillway of The Dam With Spillway Crest Replacement*. Thesis Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Sebelas Maret University.**

*Water overflow in the rainy season and very little in the dry season, so the dam should be designed so that it can hold water for use during the dry season and should be able to drain off excessive water when the rainy season, through the spillway. Spillway should be able to direct the water so that it cannot flow through main dam. Replacement shape of spillway crest is one way to increase the flow rate crest spillway. The purpose of this study is to know location of the occurrence of overstress. Knowing the difference in stress that occurs in the body shape of the spillway with crest spillway replacement. Knowing the location of the spillway in the dam that should be strengthened.*

*This study examines the stress in a spillway structure with replacement crest shape with ogee spillway on the dam shape of trapesoid Jatibarang crest, Semarang, Central Java. Due to the shape of non-prismatic trapesoid crest in the longitudinal direction so that the analysis by the Finite Element Method, using 3D solid elements.*

*From the analysis using the Finite Element Method SAP2000 program obtained an increase in stress due to the replacement of the spillway crest shape the direction normal stress X-axis for there was an increase in the range of 0% to 43366.93%, Y-axis in the range of 0% to 32767.74% and in the direction of Z-axis in the range 0 to 132,349.32%, the rate on the base segment crest spillway. On the the base body segment spillway and an increase in the normal stress in all directions will be lessened over time.*

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

## KATAPENGANTAR

*Alhamdulillahirobbil'alamin*, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan penulisan laporan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan S-1 di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

Selama penyusunan skripsi ini penyusun banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, dan pengarahan serta kemudahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penyusun menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Pimpinan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
2. Ir. Agus Supriyadi, MT. selaku Dosen Pembimbing Skripsi I.
3. Ir. Adi Yusuf Muttaqien, MT. selaku Dosen Pembimbing Skripsi II.
4. Dr. Ir. Mamok Soeprapto R, M. Eng. selaku dosen Pembimbing Akademis.
5. Segenap Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
6. Rekan-rekan Kontrakan Gapuk.
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil Angkatan 2008.

Penyusun menyadari bahwa laporan skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh sebab itu penyusun mengharap saran dan kritik yang membangun dari pembaca demi kesempurnaan laporan skripsi. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penyusun pada khususnya dan semua pihak pada umumnya.

Surakarta, Desember 2014

Penyusun

## DAFTAR ISI

KATAPENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	5
2.1. Tinjauan Pustaka.....	5
2.2. Dasar Teori.....	6
2.2.1. Metode Elemen Hingga.....	6
2.2.2. Elemen yang Digunakan Dalam Metode Elemen Hingga.....	8
2.2.3. Elemen <i>Solid</i> (elemen dimensi tiga).....	8
2.2.4. Joint Connectivity.....	9
2.2.5. Derajat Kebebasan ( <i>Degree of Freedom</i> DOF).....	10
2.2.6. System Koordinat Lokal.....	10
2.2.7. Sifat Padat Material.....	11
2.2.8. <i>Spillway</i> Deret Trapesium Tipe II.....	12
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	14
3.1. Metode Penelitian.....	14
3.2. Analisis Metode Elemen Hingga Dengan Program SAP 2000.....	14
3.2.1. Input Ruang Penggambaran Model.....	16
3.2.2. Input Data Model.....	18
3.2.3. Pembuatan/Penggambaran Model.....	20
3.2.4. Assigment Jointt restraints.....	21
3.2.5. Definisi Pembebanan.....	22
3.2.6. Contoh Pembebanan Pada Struktur <i>Spillway</i> .....	23
3.2.7. Tahap Analisis ( <i>Analysis/Running</i> ).....	28
3.2.8. Tampilan Hasil dan Tabulasi Data Output.....	30
3.3. Alur Penelitian.....	31

BAB 4	ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1.	Data Struktur.....	32
4.2.	Data Mercu Tipe Trapesium.....	33
4.3.	Perhitungan Pembebanan Tekanan Hidrostatik Air Lateral.....	33
4.3.1.	Mode Pembebanan Pada Kondisi Normal ( <i>Normal Water Level</i> ).....	36
4.3.2.	Mode Pembebanan Pada Kondisi <i>Surcharge Water Level</i> .....	37
4.3.3.	Mode Pembebanan Pada Kondisi <i>Maximum Water Level</i> .....	39
4.4.	Analisis Data.....	40
4.4.1.	Pembagian Bangunan <i>Spillway</i> .....	40
4.4.2.	Analisis Model Pada Segmen Mercu <i>Spillway</i> ( <i>Ogee</i> dan <i>Trapezoid</i> ).....	42
4.4.3.	Analisis Model Pada Segmen Dasar Mercu <i>Spillway</i> .....	43
4.4.4.	Analisis Model Pada Segmen Badan <i>Spillway</i> .....	53
4.4.5.	Analisis Model Pada Segmen Dasar <i>Spillway</i> .....	62
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
5.1.	Kesimpulan.....	69
5.2.	Saran.....	70
	DAFTAR PUSTAKA.....	x



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Tampak Atas dan Potongan A-A mercu Ogee dan Mercu Deret Trapesium.....	2
Gambar 1.2 Contoh gambar 3D dari bentuk mercu <i>spillway</i> Trapesium sebelah kiri dan <i>ogee</i> sebelah kanan.....	2
Gambar 2.1 Metode Elemen Hingga untuk satu mata <i>gearbox</i> .....	8
Gambar 2.2 <i>Solid Element Jointt Connectivity and Face Definitions</i> .....	10
Gambar 2.3 Use of Element Coordinate Angles to Orient the Solid Element Local Coordinate System.....	12
Gambar 2.4 Tampak Atas Mercu Deret Trapesium Tipe II.....	12
Gambar 2.5 Tampak Atas dan Potongan A-A Mercu Ogee dan Mercu Deret Trapesium Tipe II.....	13
Gambar 2.6 Mercu <i>Spillway</i> Tipe Deret Trapesium.....	13
Gambar 3.1 <i>Splash screen</i> SAP2000.....	14
Gambar 3.2 Pembuatan model awal SAP2000.....	17
Gambar 3.3 <i>Editing gridline</i> SAP2000.....	18
Gambar 3.4 Layar monitor SAP2000.....	18
Gambar 3.5 <i>Input data material</i> dalam SAP2000.....	19
Gambar 3.6 <i>Input data elemen solid</i> dalam SAP2000.....	19
Gambar 3.7 Penggambaran model 2D <i>spillway</i> pada SAP2000.....	21
Gambar 3.8 Penggambaran 3D objek model <i>spillway</i> setelah di <i>extrude</i> menjadi 3D pada SAP2000.....	21
Gambar 3.9 <i>Input load case</i> SAP2000.....	22
Gambar 3.10 Tampak samping <i>service spillway</i> Bendungan Jatibarang.....	23
Gambar 3.11 Tampak atas <i>spillway</i> Bendungan Jatibarang.....	24
Gambar 3.12 Beban akibat tekanan air dalam kondisi normal.....	25
Gambar 3.13 Beban akibat tekanan air dalam kondisi <i>surchage</i> .....	26
Gambar 3.14 Beban akibat tekanan air dalam kondisi <i>maximum</i> .....	26
Gambar 3.15 <i>Input analysis case</i> SAP2000.....	27
Gambar 3.16 Contoh kombinasi pembebanan SAP2000.....	28
Gambar 3.17 Persiapan analisis SAP2000.....	29
Gambar 3.18 Layar SAP <i>analysis monitor</i> .....	30

Gambar 4.1 <i>Spillway</i> Waduk Jatibarang tipe Ogee ( kiri ) dan tipe <i>Trapezoid</i> ( kanan ).....	32
Gambar 4.2 Tampak Atas Mercu <i>Trapezoid</i> . Dinding <i>labirint</i> yang direncanakan adalah 0,5 m.....	33
Gambar 4.3 Beban tekanan hidrostatik air yang membebani permukaan <i>spillway</i> .	34
Gambar 4.4 Beban merata searah bidang ditransformasikan menjadi beban titik..	34
Gambar 4.5 Pembebanan dilihat dari tampak samping dan pembagian pembebanan pada masing-masing Joint.....	35
Gambar 4.6 Mode Pembebanan <i>Normal Water Level</i> Pada <i>spillway</i> Dengan Tipe Mercu <i>Ogee</i> .....	37
Gambar 4.7 Mode Pembebanan <i>Normal Water Level</i> Pada <i>spillway</i> Dengan Tipe Mercu <i>Trapezoid</i> .....	37
Gambar 4.8 Mode Pembebanan <i>Surcharge Water Level</i> Pada <i>spillway</i> Dengan Tipe Mercu <i>Ogee</i> .....	38
Gambar 4.9 Mode Pembebanan <i>Surcharge Water Level</i> Pada <i>spillway</i> Dengan Tipe Mercu <i>Trapezoid</i> .....	38
Gambar 4.10 Mode Pembebanan <i>Maximum Water Level</i> Pada <i>spillway</i> Dengan Tipe Mercu <i>Ogee</i> .....	39
Gambar 4.11 Mode Pembebanan <i>Maximum Water Level</i> Pada <i>spillway</i> Dengan Tipe Mercu <i>Trapezoid</i> .....	39
Gambar 4.12 Pembagian Segmen Bangunan <i>Spillway</i> Tipe <i>Ogee</i> .....	40
Gambar 4.13 Pembagian Segmen Bangunan <i>Spillway</i> Tipe <i>Trapezoid</i> .....	41
Gambar 4.14 Definisi Penamaan Joint Pada Koordinat $Y=0$ .....	41
Gambar 4.15 Definisi Penamaan Joint Pada Koordinat $Y=0.6816$ .....	42
Gambar 4.16 Segmen Mercu <i>Spillway Ogee</i> (kiri) dan Segmen Mercu <i>Spillway Trapezoid</i> (kanan).....	42
Gambar 4.17 Kontur Tegangan $S_{11}$ Dasar Mercu <i>Spillway Ogee</i> Pada Mode Pembebanan <i>NWL</i> , <i>SWL</i> , dan <i>MWL</i> .....	45
Gambar 4.18 Kontur Tegangan $S_{11}$ Dasar Mercu <i>Spillway Trapezoid</i> Pada Mode Pembebanan <i>NWL</i> , <i>SWL</i> , dan <i>MWL</i> .....	46
Gambar 4.19 Kontur Tegangan $S_{22}$ Dasar Mercu <i>Spillway Ogee</i> Pada Mode Pembebanan <i>NWL</i> , <i>SWL</i> , dan <i>MWL</i> .....	48

Gambar 4.20	Kontur Tegangan S22 Dasar Mercu <i>Spillway Trapezoid</i> Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL.....	49
Gambar 4.21	Kontur Tegangan S33 Dasar Mercu <i>Spillway Ogee</i> Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL.....	51
Gambar 4.22	Kontur Tegangan S33 Dasar Mercu <i>Spillway Trapezoid</i> Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL.....	52
Gambar 4.23	Kontur Tegangan S11 Badan <i>Spillway Ogee</i> Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL.....	54
Gambar 4.24	Kontur Tegangan S11 Badan <i>Spillway trapesoid</i> Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL.....	55
Gambar 4.25	Kontur Tegangan S22 Badan <i>Spillway Ogee</i> Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL.....	57
Gambar 4.26	Kontur Tegangan S22 Badan <i>Spillway Trapezoid</i> Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL.....	58
Gambar 4.27	Kontur Tegangan S33 Badan <i>Spillway Ogee</i> Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL.....	60
Gambar 4.28	Kontur Tegangan S33 Badan <i>Spillway Trapezoid</i> Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL.....	61
Gambar 4.29	Kontur Tegangan S11 Badan <i>Spillway Ogee</i> Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL.....	63
Gambar 4.30	Kontur Tegangan S11 Badan <i>Spillway Trapezoid</i> Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL.....	64
Gambar 4.31	Kontur Tegangan S22 Badan <i>Spillway Ogee</i> Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL.....	65
Gambar 4.32	Kontur Tegangan S22 Badan <i>Spillway Trapezoid</i> Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL.....	66
Gambar 4.33	Kontur Tegangan S33 Badan <i>Spillway Ogee</i> Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL.....	67
Gambar 4.34	Kontur Tegangan S33 Badan <i>Spillway Trapezoid</i> Pada Mode Pembebanan NWL, SWL, dan MWL.....	68