



**ANALISIS PERHITUNGAN JEMBATAN PELENGKUNG BATU  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *UNIT LOAD***

**SKRIPSI**

oleh

**RENA YUNISSA LARASATI  
NIM 121910301095**

**PROGRAM STUDI STRATA 1  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**



**ANALISIS PERHITUNGAN JEMBATAN PELENGKUNG BATU  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *UNIT LOAD***

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 Teknik Sipil  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh

**RENA YUNISSA LARASATI  
NIM 121910301095**

**PROGRAM STUDI STRATA I  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Orang Tuaku tercinta Bapak Maksi Dwiyanto dan Ibu Endah Saraswati yang senantiasa memberikan semangat, kasih sayang, serta doa yang tak pernah putus dan selalu bekerja keras demi mewujudkan keinginan dan membahagiakan anakmu. Terimakasih atas semuanya.
2. Kakak dan adik-adikku tersayang yang selalu mendoakan saya hingga bisa menyelesaikan skripsi ini,
3. Keluarga keduaku Novi, Ambar, Hana, Ayu, Yenita, Febta, terima kasih atas segala kebersamaan, dukungan, motivasi, kebahagiaan dan bantuan selama berada di kota Jember ini.
4. Seluruh keluarga besar Teknik Sipil 2012 yang tidak dapat disebutkan namanya satu- persatu yang telah banyak membantu serta bekerja sama untuk mencapai kesuksesan bersama- sama.
5. Guru - guruku sejak Sekolah Dasar sampai dengan perguruan tinggi,
6. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

**MOTTO**

“Sesungguhnya bersama kesukaran itu ada keringanan. Karena itu bila kau sudah selesai (mengerjakan yang lain). Dan berharaplah kepada Tuhanmu.”

(QS. Al Insyiroh 6-8)

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum kecuali kaum itu sendiri yang mengubah apa yang ada pada diri mereka.”

(QS. Ar-Raad[11] 13:11)

"Kegagalan hanya terjadi bila kita menyerah." (Lessing)

“Jadikanlah Sholat dan Sabar sebagai penolongmu.”

(Tatik Isnawati)

"Sesuatu yang belum dikerjakan, seringkali tampak mustahil; kita baru yakin kalau kita telah berhasil melakukannya dengan baik." (Evelyn Underhill)

"Rahmat sering datang kepada kita dalam bentuk kesakitan, kehilangan dan kekecewaan; tetapi kalau kita sabar, kita segera akan melihat bentuk aslinya."

(Joseph Addison)

“Ada dua hal yang harus Anda lupakan: Kebaikan yang Anda lakukan kepada orang lain dan kesalahan orang lain kepada Anda.”

(Sai Baba)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rena Yunissa Larasti

NIM : 121910301095

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Analisis Perhitungan Jembatan Pelengkung Batu dengan Menggunakan Metode *Unit Load*" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 20 Juli 2017

Yang menyatakan

Rena Yunissa Larasati

NIM 121910301095

**SKRIPSI**

**ANALISIS PERHITUNGAN JEMBATAN PELENGKUNG BATU DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *UNIT LOAD***

Oleh

Rena Yunissa Larasati

NIM 121910301095

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Mokhammad Farid Marif S.T.,M.T.,Ph.D

Dosen Pembimbing Anggota : Dwi Nurtanto S.T., M.T.

## RINGKASAN

**Analisis Perhitungan Jembatan Pelengkung Batu Dengan Menggunakan Metode *Unit Load***; Rena Yunissa Larasati, 121910301095; 2017: 61 halaman; Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Jembatan pelengkung adalah struktur setengah lingkaran dengan abutmen di kedua sisinya. Jembatan pelengkung lebih kuat dibandingkan struktur jembatan biasa dalam menerima beban tekan dari atas jembatan. Semakin berkembangnya jembatan pelengkung batu membuat metode-metode perhitungan kapasitas jembatan pelengkung batu bermunculan, salah satunya adalah metode *Unit Load* yaitu metode perhitungan yang pada dasarnya menerapkan beban satu-satuan pada titik yang ditinjau untuk melihat pengaruh lendutan pada titik tersebut. Metode ini menggunakan beban satu-satuan yang akan menghasilkan satu komponen atau peralihan dititik kumpul baik pada arah vertikal atau arah horizontal saja.

Penelitian dilakukan menggunakan data dimensi jembatan Wolverhampton Inggris, *Railway Drive Arch Bridge* yang didapat dari inspeksi keadaan jembatan yang dilakukan oleh AECOM pada Februari 2014. Pertama dilakukan perhitungan pada jembatan dengan menggunakan metode *unit load*. Setelah itu dilakukan perhitungan yang sama dengan variasi *spandrel*. Kedua dilakukan perbandingan nilai lendutan yang terjadi dengan menggunakan perhitungan metode *unit load* dan *software* ANSYS 15.0.

Perhitungan menggunakan metode *unit load* yang dilakukan membutuhkan data dimensi jembatan berupa bentang jembatan ( $L$ ), beban luar ( $wl$ ) berupa beban terpusat, berat isi material ( $\gamma$ ), modulus young ( $E$ ), dan tinggi pelengkung di  $\frac{1}{2}$  bentang. Kemudian dilakukan pembagian segmen tanah menjadi beberapa segmen yang mana pada tiap segmen dilakukan perhitungan beban dalam atau beban mati. Selanjutnya menghitung gaya horizontal yang terjadi pada struktur. Setelah mendapat semua gaya-gaya yang bekerja pada struktur, hal pertama yang dilakukan adalah menghitung reaksi vertikal ( $Rav$ )

dan reaksi horizontal (Rah). Kedua, mencari persamaan momen yang terjadi di  $\frac{1}{2}$  bentang. Ketiga, menghitung  $r_{av}$  dan  $r_{ah}$  serta persamaan momen yang terjadi pada struktur dengan beban satu-satuan pada  $\frac{1}{2}$  bentang. Selanjutnya, langkah keempat menghitung besarnya nilai inersia pada penampang dan yang terakhir menghitung lendutan yang terjadi pada jarak  $\frac{1}{2}$  bentang.

Besarnya nilai lendutan yang telah dihitung menggunakan metode *unit load* dibandingkan dengan besarnya nilai lendutan yang terjadi menggunakan *software* ANSYS 15.0. Variasi tinggi *spandrel* sangat mempengaruhi nilai lendutan yang terjadi. Semakin tebal dimensinya maka lendutan yang terjadi semakin kecil, sebaliknya semakin kecil dimensinya maka lendutan yang terjadi semakin besar. Hal tersebut disebabkan karena semakin tebal suatu elemen maka luas daerah penyebaran distribusi beban yang bekerja semakin luas sehingga kapasitas tampungan beban yang bekerja pada struktur tersebut semakin besar, dengan beban yang sama maka lendutan serta lendutan yang terjadi semakin kecil.

## SUMMARY

*The Analysis of Masonry Arch Bridge by Using Unit Load Method*; Rena Yunissa Larasati, 121910301095; 2017; 61pages; Civil Engineering Department; Faculty of Engineering; Jember University.

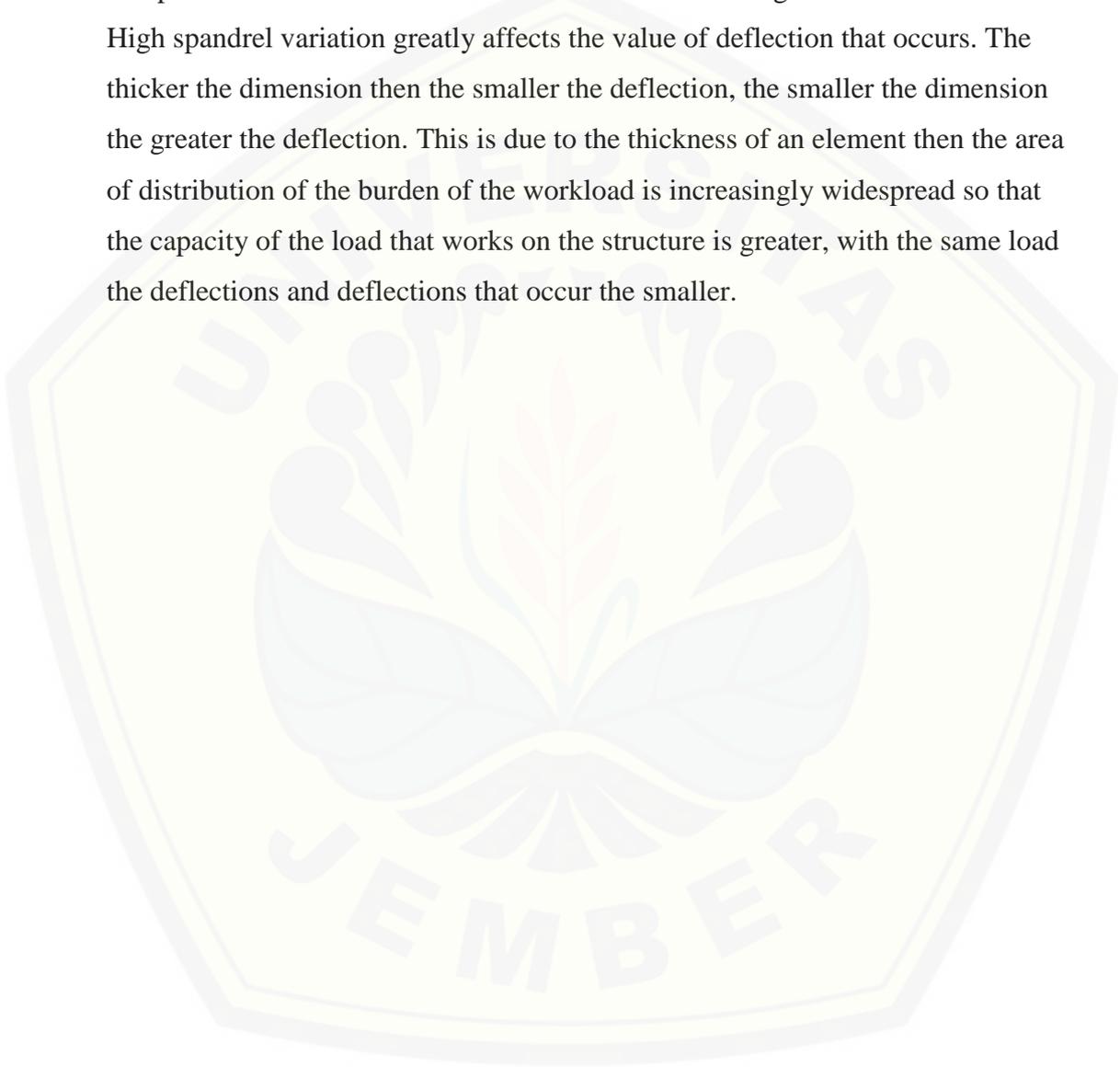
The arch bridge is a semi-circular structure with abutments on both sides. Arch Bridge is more powerful than an ordinary bridge structure in receiving a load of press from the top of the bridge. Masonry arch bridge growing to make methods of calculation capacity of masonry arch bridges are springing up, one of which is the unit load method that is a method of calculation which basically applies a one-unit load on points reviewed to see the effect of deflection at that point. This method uses a one-unit load that will result in a single component or transition in the assembly point either in the vertical direction or in the horizontal direction only.

The research was conducted using data of British Wolverhampton bridge dimension, Railway Drive Arch Bridge obtained from bridge state inspection conducted by AECOM in February 2014. The first, calculation on the bridge using the unit load method. After that done the same calculation with spandrel variation. Secondly, the comparison of deflection values that occurred using the unit load method and ANSYS 15.0 software.

The calculation using the unit load method performed requires bridge density data in the form of span of bridge ( $L$ ), live load ( $wl$ ) in the form of centralized load, material weight ( $\gamma$ ), young ( $E$ ) modulus, and height of curve in  $\frac{1}{2}$  span. Then do the division of the land segment into several segments which in each segment carried out the calculation of inner load or dead load. Next calculate the horizontal force that occurs in the structure. After getting all the forces acting on the structure, the first thing to do is calculate the vertical reaction ( $R_{av}$ ) and the horizontal reaction ( $R_{ah}$ ). Second, look for the moment equations that occur in  $\frac{1}{2}$  span. Third, calculate the  $r_{av}$  and  $r_{ah}$  and the moment equations that occur in

structures with a one-unit load on  $\frac{1}{2}$  span. Next, the fourth step calculates the magnitude of the inertia in the cross section and the last one counts the deflection that occurs at a distance of  $\frac{1}{2}$  span.

The amount of deflection that has been calculated using unit load method compared with the amount of deflection that occurs using ANSYS 15.0 software. High spandrel variation greatly affects the value of deflection that occurs. The thicker the dimension then the smaller the deflection, the smaller the dimension the greater the deflection. This is due to the thickness of an element then the area of distribution of the burden of the workload is increasingly widespread so that the capacity of the load that works on the structure is greater, with the same load the deflections and deflections that occur the smaller.



## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Analisis Perhitungan Jembatan Pelengkung Batu dengan Menggunakan Metode Unit Load*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,
2. Ir. Hernu Suyoso, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember,
3. Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember,
4. Mokhammad Farid Maruf, S.T.,M.T.,Ph.D dan Dwi Nurtanto, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing,
5. Dr. RR. Dewi Junita K, S.T.,M.T dan Anita Trisiana, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji,
6. Kedua orang tuaku yang tercinta, terkasih dan tersayang, Bapak Maksi Dwiyanto dan Ibu Endah Saraswati yang telah mencintai, merawat, dan mendidik dari lahir sampai saat ini,
7. Kakak dan adik-adikku tersayang yang selalu mendoakan saya hingga bisa menyelesaikan skripsi ini,
8. Keluarga Besar Teknik Sipil 2012 yang tidak dapat saya sebutkan namanya satu-persatu yang selalu ada di setiap suka duka selama penulis di Jember dengan segala dukungan, semangat dan doanya,

9. Keluarga bebek tangguh, Novi, Ambar, Hana, Ayu, Yenita, Febta, yang telah memberikan doa serta dukungannya,
10. Almamater Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik.

Segala kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca sekalian.

Jember, 20 Juli 2017

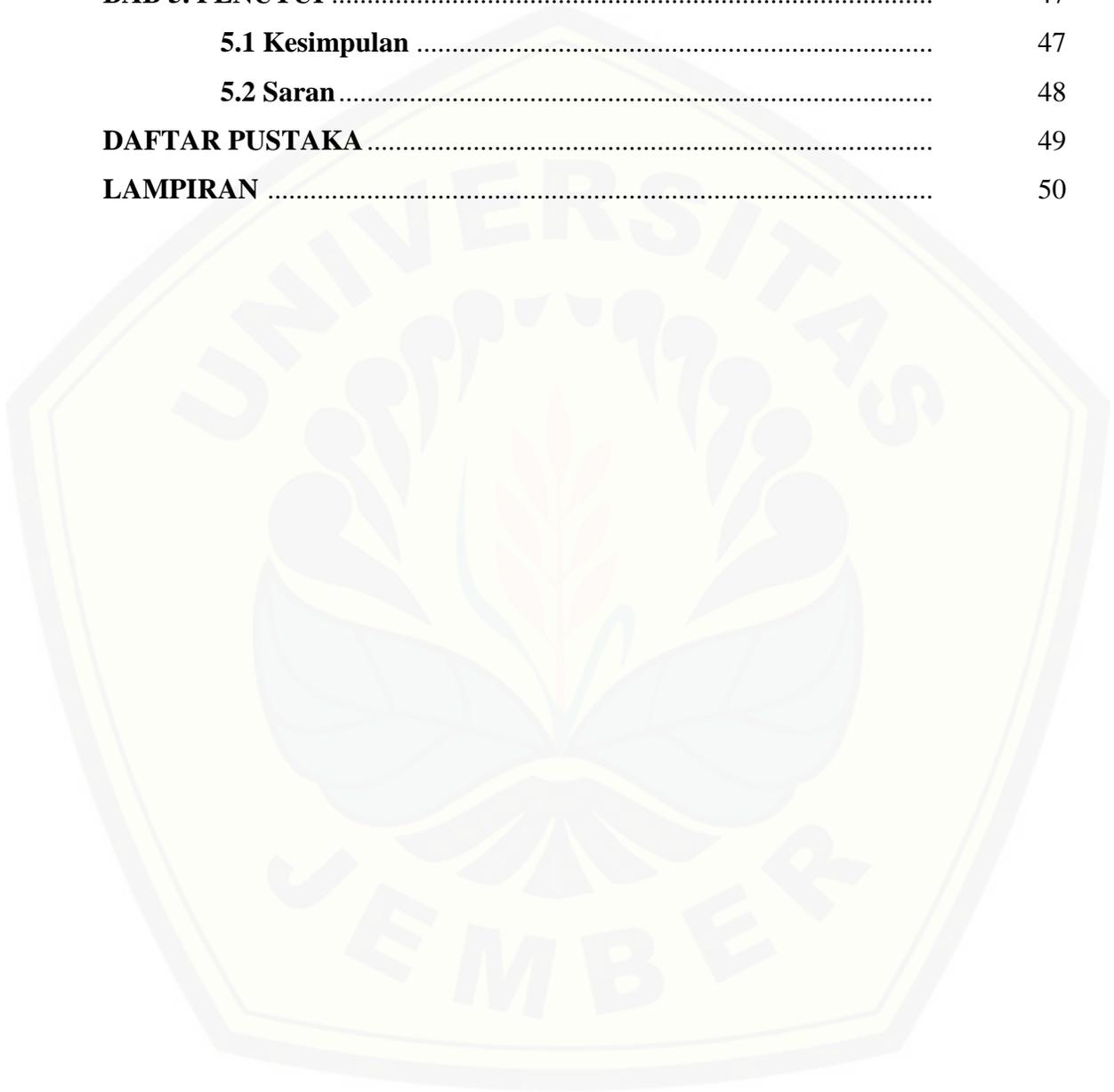
Penulis

**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	vi
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>SUMMARY</b> .....	x
<b>PRAKATA</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xviii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	2
<b>1.3 Tujuan</b> .....	2
<b>1.4 Batasan Masalah</b> .....	2
<b>1.5 Manfaat</b> .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
<b>2.1 Jembatan</b> .....	4
<b>2.2 Jembatan Pelengkung</b> .....	5
<b>2.4 Metode Unit Load</b> .....	6
<b>2.5 Tekanan Tanah Aktif dan Pasif</b> .....	8
2.5.1 Tekanan Tanah Aktif .....	8
2.5.2 Tekanan Tanah Aktif Berkohesi .....	9

2.5.3 Tekanan Tanah Pasif.....	9
<b>2.5 Analysis System Static Structural ANSYS 15.0.....</b>	<b>10</b>
<b>2.6 Review Jurnal.....</b>	<b>12</b>
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>14</b>
3.1 Data Umum.....	14
3.2 Data Jembatan Lengkung .....	14
3.3 Tahapan Analisis .....	16
3.4 Bagan Alir Penelitian .....	16
3.4.1 Studi Pustaka.....	18
3.4.2 Pengolahan Data .....	18
3.4.3 Analisis .....	18
3.4.4 Penarikan Kesimpulan .....	19
<b>BAB 4. ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>20</b>
4.1 Data Teknis.....	20
4.2 Metode Unit Load .....	20
4.2.1 Beban Luar.....	20
4.2.2 Beban Satu-Satuan .....	25
4.2.3 Inersia.....	26
4.2.4 Lendutan .....	27
4.3 Perhitungan Variasi Spandrel(+10mm) .....	28
4.3.1 Beban Luar.....	28
4.3.2 Beban Satu-Satuan .....	32
4.3.3 Inersia.....	33
4.3.4 Lendutan .....	34
4.4 Perhitungan Variasi Spandrel (-10mm) .....	35
4.4.1 Beban Luar.....	35
4.4.2 Beban Satu-Satuan .....	39
4.4.3 Inersia.....	40
4.4.4 Lendutan .....	41

4.5 Pemodelan Jembatan Menggunakan ANSYS 15.0 .....	42
4.6 Perbandingan dengan <i>software</i> ANSYS.....	45
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	47
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	47
<b>5.2 Saran</b> .....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	49
<b>LAMPIRAN</b> .....	50



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
3.1 Data Dimensi Jembatan Lengkung.....	10
4.1 Beban Pada Setiap Titik.....	22
4.2 Korelasi Uji Penetrasi Standart (N-SPT) .....	22
4.3 Beban ( Spandrel +10mm ) .....	29
4.4 Beban ( Spandrel -10mm ) .....	36
4.5 Data Dimensi Jembatan dan Pembeban .....	42
4.6 Perbandingan Nilai Lendutan Metode <i>Unit Load</i> dan ANSYS 15.0 .....	28

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Tipe-tipe Jembatan Lengkung .....	4
2.2 <i>Analysis System Static Structural</i> .....	11
3.1 Foto Jembatan Lengkung <i>Masonry</i> di Kota Wolverhampton Inggris...	14
3.2 Peta Lokasi Jembatan Lengkung <i>Masonry</i> di Kota Wolverhampton Inggris .....	15
3.3 Dimensi Jembatan Lengkung <i>Masonry</i> .....	15
3.4 Bagan Alir Penelitian.....	17
4.1 Perhitungan Beban Dalam.....	21
4.2 Beban Dalam Tiap Segmen.....	21
4.3 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Struktur .....	24
4.4 Beban Satu Satuan Pada Tengah Bentang .....	25
4.5 Beban Dalam Tiap Segmen.....	29
4.6 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Struktur .....	31
4.7 Beban Satu Satuan Pada Tengah Bentang .....	32
4.8 Beban Dalam Tiap Segmen.....	36
4.9 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Struktur .....	38
4.10 Beban Satu Satuan Pada Tengah Bentang .....	39
4.11 <i>Sketching</i> Model Jembatan.....	43
4.12 Statika Model Jembatan Pelengkung Batu Hasil Perhitungan.....	43
4.13 <i>Directional Deformation</i> .....	44
4.14 <i>Equivalent Stress</i> .....	45
4.15 Grafik Perbandingan Nilai Lendutan .....	46

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Jembatan lengkung berbentuk bingkai atau rusuk pelengkung seperti balok lingkaran yang tidak hanya vertikal tetapi juga horizontal pada kedua ujungnya. Jembatan jenis ini banyak dijumpai pada perkebunan di dataran tinggi dan jalan raya khususnya di benua Eropa. Jembatan lengkung dari segi tipenya dibagi menjadi tiga tipe yaitu *Supported Deck Arch*, *Suspended Deck Arch*, dan *Masonry Arch*. Pada masa Romawi kuno *masonry arch* berfungsi sebagai “*aqueduct*” (jembatan yang dibuat untuk saluran air). Seiring berkembangnya zaman, *masonry arch* mulai dipakai sebagai jalur lalu lintas seperti jembatan Grosvenor di Chester Inggris. Sampai saat ini banyak *masonry arch* terutama di Eropa yang masih berdiri karena sangat kuat.

Jembatan lengkung tipe *Masonry Arch* perlu dilakukan perhitungan ulang kekuatan kapasitas bebannya karena kebanyakan telah berumur tua. Pada perencanaan sebuah jembatan, dikenal berbagai peraturan yang menuntun perancang. Parameter yang harus ditinjau antara lain adalah lendutan. Lendutan adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah  $y$  akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang. Lendutan diukur dari permukaan awal netral ke posisi netral setelah terjadi lendutan.

Di dalam peraturan dikenal istilah lendutan ijin, yakni lendutan maksimum yang diperbolehkan terjadi pada suatu struktur. Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan nilai lendutan yang dilakukan dengan cara manual dan menggunakan *software* ANSYS pada jembatan pelengkung.

Sebagai pembanding antara besarnya lendutan yang terjadi, pada skripsi ini akan menggunakan metode *Unit Load*. Metode *unit load* ditemukan oleh Bernoulli pada tahun 1717. Metode ini sendiri merupakan metode yang umum dijumpai pada mata perkuliahan Teknik Sipil.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara menghitung lendutan yang terjadi akibat beban pada jembatan dengan menggunakan metode *unit load* ?
2. Berapa lendutan yang terjadi dengan menggunakan *software* ANSYS?
3. Berapa perbandingan nilai lendutan antara metode *unit load* dan *software* ANSYS?

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan permasalahan di atas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui cara menghitung lendutan yang terjadi pada jembatan dengan menggunakan metode *Unit Load*.
2. Untuk mengetahui lendutan yang terjadi dengan menggunakan *software* ANSYS.
3. Untuk mengetahui perbandingan nilai lendutan antara metode *Unit Load* dan *software* ANSYS.

## 1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jembatan lengkung tipe *Masonry Arch*
2. Menggunakan acuan data Jembatan *Railway Drive Arch* di kota Wolverhampton Inggris
3. Menggunakan metode *Unit Load*
4. Menggunakan *software* ANSYS untuk membandingkan nilai lendutan

### 1.5 Manfaat

1. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu referensi untuk menghitung lendutan dengan kriteria yang hampir mirip.
2. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu referensi untuk penelitian berikutnya yang memiliki keterkaitan topik yang sama dan meningkatkan wawasan tentang metode *Unit Load* dan software ANSYS.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Jembatan

Jembatan adalah struktur yang dibangun untuk menyebrangi jurang atau rintangan seperti sungai, lembah, rel kereta api maupun jalan raya. Jembatan dibangun agar para pejalan kaki, pengemudi kendaraan atau kereta api dapat melintasi halangan-halangan tersebut. Jenis-jenis jembatan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Menurut kegunaannya
  - Jembatan jalan raya ( highway bridge )
  - Jembatan pejalan kaki ( foot path )
  - Jembatan kereta api ( railway brodge )
  - Jembatan jalan air
  - Jembatan jalan pipa
  - Jembatan penyebrangan
- b. Menurut jenis materialnya
  - Jembatan kayu
  - Jembatan Baja
  - Jembatan beton bertulang dan pratekan
  - Jembatan komposit
- c. Menurut Jenis strukturalnya
  - Jembatan dengan tumpuan sederhana
  - Jembatan menerus
  - Jembatan Kantilever
  - Jembatan integral
  - Jembatan semi integral
  - Jembatan pelengkung

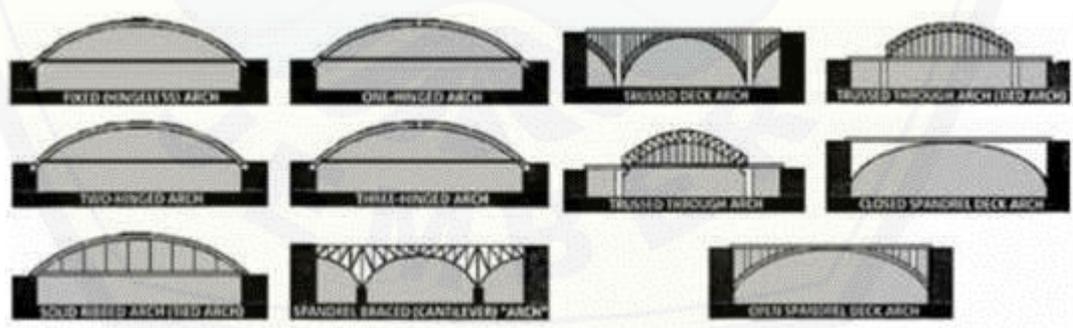
- Jembatan rangka
- Jembatan gantung
- Jembatan kabel

## 2.2 Jembatan Pelengkung ( *Arch Bridge* )

Jembatan pelengkung adalah struktur setengah lingkaran dengan abutmen di kedua sisinya. Desain pelengkung ( setengah lingkaran ) secara alami akan mengalihkan beban yang diterima lantai kendaraan jembatan menuju *abutmen* yang menjaga kedua sisi jembatan agar tidak bergerak kesamping.

Ketika menahan beban dari berat sendiri dan beban lalu lintas, setiap bagian pelengkung menerima gaya tekan. Pelengkung tidak mengalami gaya tarik yang membuat pelengkung lebih efisien dari jembatan balok. Namun, kekuatan struktur jembatan pelengkung juga masih dibatasi dan bentang jembatan pelengkung dibatasi hingga 50 m sampai 150 m.

Bentuk melengkung dari struktur memungkinkan berat sendiri struktur disalurkan ke pondasi sebagai gaya normal tekan tanpa lenturan. Sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.1, jembatan lengkung dapat dibagi menjadi 11 macam yaitu:



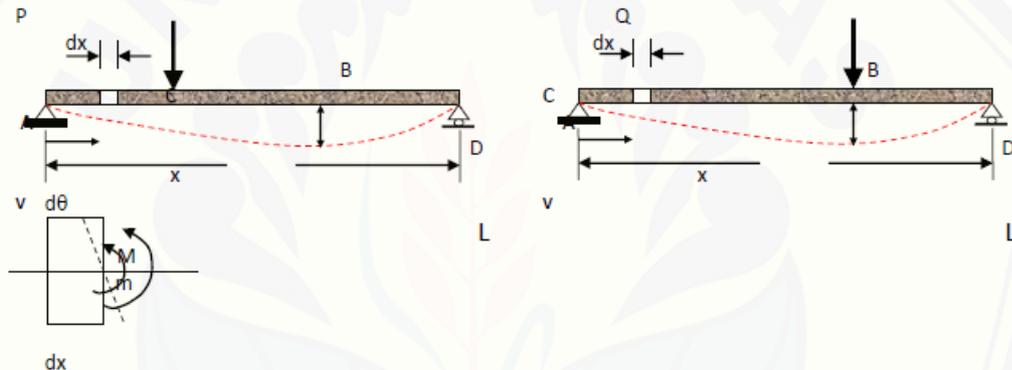
Gambar 2.1 Tipe-tipe jembatan lengkung (Sumber: Jacques Heyman, 1982)

Jembatan lengkung dapat dibuat dari bahan batu, bata, kayu, besi cor, baja maupun beton bertulang dan dapat digunakan untuk bentang yang kecil maupun bentang yang besar. Jembatan lengkung tipe *closed spandrel*

*deck arch* biasa digunakan untuk bentang hanya sekitar 0.5 m sampai 2 m dan biasa disebut dengan gorong-gorong. Untuk bentang besar jembatan lengkung dapat digunakan untuk bentang sampai 500 m.

### 2.3 Metode *Unit Load*

Metode beban satuan ( *Unit Load* ) / Prinsip kerja maya pertama kali ditemukan oleh Bernoulli pada tahun 1717. Prinsip kerja metode ini adalah : “ kerja/work didapatkan dari hasil perkalian gaya dengan simpangan sesuai dengan arah gaya yang ditinjau. “



Perubahan rotasi karena sistem beban P adalah

$$d\theta = \frac{M}{EI} dx$$

Sedangkan kerja WQ, yang dihasilkan akibat beban maya Q yang bekerja untuk defleksi sebesar v adalah :

$$W_q = \sum Q v$$

Energi regangan maya dUQ yang dihasilkan di tiap elemen sebagai momen m bergerak di sepanjang sudut dq adalah :

$$dU_q = m d\theta$$

Untuk mendapatkan total energi regangan  $U_q$ , sepanjang bentang  $L$ , maka:

$$U_q = \int_{x=0}^{x=L} m d\theta$$

Prinsip pada keseimbangan energy mensyaratkan bahwa kerja maya  $W_Q$  sebanding dengan energy regangan  $U_q$ , sehingga :

$$\sum Q v = \int_{x=0}^{x=L} m d\theta$$

Sedangkan  $d\theta$  diketahui sebagai fungsi dari  $M$ , maka kerja maya dinyatakan sebagai :

$$\sum Q v = \int_{x=0}^{x=L} m \frac{M}{EI} dx$$

Karena beban maya  $Q$  adalah beban bernilai satu satuan, maka persamaan di atas menjadi :

$$v = \int_{x=0}^{x=L} m \frac{M}{EI} dx$$

Jika kerja luar bukan diakibatkan oleh beban maya  $Q$ , tetapi diakibatkan oleh momen maya  $M_Q$ , maka persamaan kerja maya menjadi :

$$\theta = \int_{x=0}^{x=L} m_Q \frac{M}{EI} dx$$

Tanda positif dihasilkan jika arah beban maya searah dengan disimpangannya sedangkan tanda negatif berarti arah gaya maya berlawanan dengan arah simpang.

## 2.4 Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

Konsep tekanan tanah aktif dan pasif sangat penting untuk masalah-masalah stabilitas tanah, pemasangan batang-batang penguat pada galian, desain dinding penahan tanah, dan pembentukan tahanan tarik dengan memakai berbagai jenis peralatan angkur.

Permasalahan disini hanyalah semata-mata untuk menentukan faktor keamanan terhadap keruntuhan yang disebabkan oleh gaya lateral. Pemecahan diperoleh dengan membandingkan nilai gaya-gaya (kumpulan gaya-gaya yang bekerja).

Gaya I adalah gaya yang cenderung menghancurkan.

Gaya II adalah gaya yang cenderung mencegah keruntuhan.

Gaya penghancur di sini misalnya gaya-gaya lateral yang bekerja horisontal atau mendatar biasanya menyebabkan bangunan guling.

Gaya penghambat misalnya berat dari bangunan / struktur gaya berat dari bangunan ini arah bekerjanya vertikal sehingga dapat menghambat gaya-gaya lateral atau gaya yang bekerja horisontal.

Perhitungan-perhitungan seperti tersebut di atas sering disebut perhitungan kestabilan (*Stability Computation.*)

### 2.4.1 Tekanan Tanah Aktif ( Dengan Kohesi Nol, $C = 0$ )

Suatu dinding penahan tanah dalam keseimbangan menahan tekanan tanah horisontal tekanan ini dapat dievaluasi dengan menggunakan koefisien tanah  $K_a$ . Jadi bila berat suatu tanah sampai kedalaman  $H$  maka tekanan tanahnya adalah  $\gamma H$  dengan  $\gamma$  adalah berat volume tanah dan arah dari tekanan tersebut arahnya

vertikal ke atas. Sedangkan untuk mendapatkan tekanan horisontal maka  $K_a$  adalah konstanta yang fungsinya mengubah tekanan vertikal tersebut menjadi horisontal.

Oleh karena itu tekanan horisontal dapat dituliskan sebagai

$$P_a = K_a \cdot H \quad \text{N/M}$$

Dimana harga  $K_a$  untuk tanah datar adalah :

$$K_a = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} = \tan^2 \left( 45 - \frac{\theta}{2} \right)$$

Untuk tanah miring :

$$K_a = \left( \frac{\cos \phi}{1 + \sqrt{(\sin \phi \sin(\phi - \delta)) / \cos \delta}} \right)^2$$

$\phi$  = sudut geser tanah

$\Delta$  = kemiringan tanah

## 2.4.2 Tekanan Tanah Aktif Berkohesi

Kohesi adalah lekatan antara butir-butir tanah, sehingga kohesi mempunyai pengaruh mengurangi tekanan aktif sebesar  $2c\sqrt{K_a}$

$$P_a = K_a \cdot H - 2c\sqrt{K_a}$$

Dimana  $c$  = kohesi dalam  $\text{N/m}^2$

## 2.4.3 Tekanan Tanah Pasif

Dalam hal tertentu suatu dinding penahan dapat terdorong ke arah tanah yang ditahan. Dan arah dari tekanan pasif ini berlawanan dengan arah tekanan aktif.  $K_p$  adalah koefisien tekanan pasif yang besarnya :

Untuk tanah datar

$$K_p = 1 + \sin \theta = \tan^2 \left( 45 + \frac{\theta}{2} \right)$$

Maka tahanan pasif suatu tanah datar tanpa kohesi ( $c=0$ )

$$P_p = K_p \cdot H$$

Tahanan pasif suatu tanah datar dengan kohesi

$$P_p = K_p \gamma H - 2c\sqrt{K_p}$$

Untuk tanah miring

$$K_p = (\cos \phi / (1 + \sqrt{(\sin \phi \sin(\phi + \delta)) / \cos \delta}))^2$$

Maka tekanan tanah pasif tanpa kohesi  $P_p = K_p \gamma H$

Tekanan tanah pasif dengan kohesi  $P_p = K_p \gamma H - 2c\sqrt{K_p}$

## 2.5 Analysis System Static Structural ANSYS 15.0

ANSYS merupakan *software* berbasis FEA (*Finite Element Analysis*). Mehrabian Ali (2007) mengatakan bahwa saat ini ANSYS dipandang sebagai "barang rumah tangga" di banyak lembaga desain dan penelitian di Amerika Serikat dan bahkan di seluruh dunia. Hal ini dianggap oleh banyak insinyur dan peneliti sebagai alat modern, kuat, akurat, dan visual yang masuk akal untuk memberikan solusi bagi banyak teknik dan masalah ilmiah. Dengan banyak *account*, ANSYS juga banyak digunakan sebagai alat pengajaran yang efektif untuk menunjukkan ketahanan dan kemampuan komputasi dari metode elemen hingga, baik di kelas dan situs pelatihan perusahaan. ANSYS dapat mensimulasikan *fluids, structures, electronics, semiconductor, systems, embedded software, multiphysics* dan *platform*. ANSYS *software* analisis struktur memungkinkan untuk memecahkan masalah teknik struktural yang kompleks dan membuat lebih baik serta keputusan desain lebih cepat. Dengan menggunakan analisis elemen hingga/FEA, ANSYS dapat menyesuaikan dan mengotomatisasi simulasi. ANSYS Struktur Mekanika *software* dengan mudah menghubungkan ke alat analisis fisika lainnya, memberikan realisme yang lebih besar dalam memprediksi perilaku dan kinerja produk yang kompleks.

*Analysis system static structural* adalah salah satu *analysis system* yang ada pada *software* ANSYS. *Analysis system* ini sering digunakan untuk menganalisis statik struktural suatu elemen struktur bahkan suatu gedung

ataupun jembatan. Pada *analysis system static structural* ini terdapat 7 bagian seperti gambar berikut:



Gambar 2.2 *Analysis system static structural*

V pada bagian atas jendela *static structural* menunjukkan urutan *analysis system* yang aktif pada jendela *project*. Bagian pertama pada jendela *static structural* menunjukkan jenis *analysis system* yang digunakan yaitu *analysis system static structural*, sedangkan pada bagian kedua yaitu *Engineering Data* merupakan tahapan entri data material yang digunakan. Bagian ketiga adalah tahapan *Geometry* yaitu tahapan *sketching* dan *modelling* struktur yang akan dianalisis. Pada tahapan ketiga ini dapat dipilih tipe analisis yang digunakan yaitu analisis 2D atau 3D. Tahapan keempat sampai tahapan ke 7 merupakan proses yang berurutan, maksudnya saat proses *model* pada tahapan keempat yaitu proses input data material ke model struktur yang akan dianalisis, *meshing*, input data pembebanan sampai dilakukannya *solve* atau analisis maka tahapan 5 sampai 7 otomatis selesai. Pada tahapan *Results* atau tahapan hasil merupakan tahap terakhir dari proses analisis. *Output* dari analisis menggunakan *software* ini berupa animasi kinerja struktur setelah terjadi pembebanan serta laporan berupa tabel hasil analisis mulai dari data material sampai hasil analisis yang dilakukan.

## 2.6 Review Jurnal

Judul	Konsep Desain Jembatan Pelengkung Batu Berbasis Metode <i>Pippard's Elastic</i>
Jurnal	
Halaman	Hal 1-39
Tahun	2016
Penulis	Arga Saputra
Reviewer	Rena Yunissa Larasati
Tanggal	23 Juli 2017

Tujuan Penelitian	:	Membuat konsep desain jembatan pelengkung batu berbasis metode <i>pippard's elastic</i> dan mengetahui pengaruh variasi dimensi <i>spandrel</i> dan ketebalan pelengkung terhadap <i>deformasi</i> yang terjadi menggunakan <i>software</i> ANSYS 15.0.
Subjek Penelitian	:	Jembatan Wolverhampton Inggris, <i>Railway Drive Arch Bridge</i> .
Metode Penelitian	:	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode <i>pippard's elastic</i> .
Faktor Pengaruh	:	Faktor pengaruh dari <i>deformasi</i> yang terjadi adalah dimensi jembatan, variasi <i>spandrel</i> , dan besarnya <i>safe axle load</i> .
Variabel Dependen	:	Variabel dependen dalam penelitian ini adalah <i>deformasi</i> yaitu perubahan bentuk atau ukuran dari sebuah objek karena diterapkan gaya.
Variabel Independen	:	Variabel independen dalam penelitian ini adalah variasi <i>spandrel</i> yaitu variasi ketebalan tanah

		pada jembatan pelengkung batu ( <i>Arch Bridge</i> ) .
Langkah-langkah	:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Melakukan perhitungan <i>safe axle load</i> pada jembatan menggunakan metode <i>pippard's elastic</i>.</li> <li>2. Penyusunan konsep desain dimensi jembatan pelengkung batu menggunakan metode <i>pippard's elastic</i>.</li> <li>3. melakukan analisis <i>deformasi</i> menggunakan ANSYS 15.0 dengan data <i>safe axle load</i> dan dimensi jembatan yang telah dihitung menggunakan metode <i>pippard's elastic</i>.</li> </ol>
Hasil Penelian	:	Secara keseluruhan, hasil penelitian ini berupa besarnya <i>deformasi</i> yang terjadi di tengah bentang jembatan dengan 10 variasi <i>spandrel</i> dimana semakin tinggi <i>spandrel</i> maka <i>deformasi</i> yang terjadi semakin kecil dan sebaliknya semakin kecil <i>spandrel</i> maka <i>deformasi</i> terjadi semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin tebal suatu elemen maka luas daerah penyebaran distribusi beban yang bekerja semakin luas sehingga gaya yang bekerja pada struktur tersebut semakin kecil dan <i>deformasi</i> yang terjadi semakin kecil.



## BAB 3

### METODE PENELITIAN

Metode yang akan digunakan dalam analisis ini adalah metode "unit load" dengan menghitung kapasitas pembebanan pada struktur jembatan pelengkung beton.

#### 3.1 Data Umum

Data-data yang diperlukan dalam analisis ini antara lain :

1. Bentang jembatan
2. Material pelengkung
3. Ketebalan tanah
4. Tinggi jembatan

#### 3.2 Data Jembatan Lengkung

Jembatan yang digunakan untuk perhitungan adalah jembatan lengkung di kota Wolverhampton Inggris.

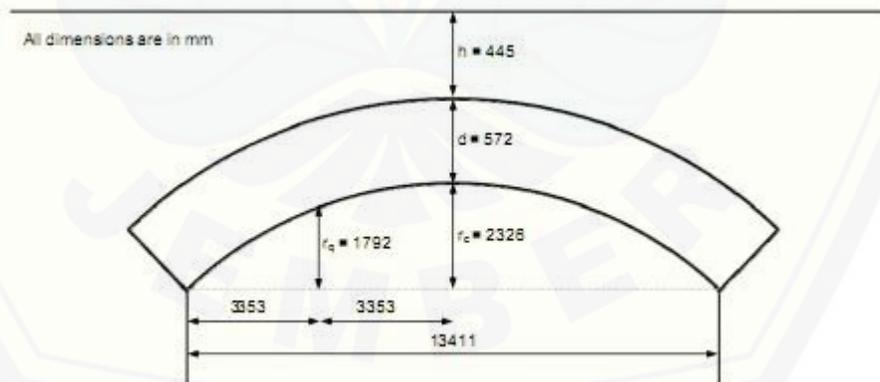


Gambar 3.1 Foto Jembatan Lengkung Masonry di Kota Wolverhampton Inggris (sumber: AECOM Railway Drive Arch Bridge, 2014)



Gambar 3.2 Peta Lokasi Jembatan Lengkung Masonry di Kota Wolverhampton Inggris  
(sumber: AECOM Railway Drive Arch Bridge, 2014)

Data – data jembatan wolverhampton Inggris berdasarkan hasil evaluasi oleh Abdelmoneim Mahgoub beserta tim adalah sebagai berikut:



Gambar 3.3 Dimensi Jembatan Lengkung Masonry  
(sumber: AECOM Railway Drive Arch Bridge, 2014)

Tabel 3.1 Data Dimensi Jembatan Lengkung (sumber: AECOM Railway Drive Arch Bridge, 2014)

NO.	KOMPONEN	UKURAN (MM)
1	h	445
2	D	572
3	Rc	2326
4	Rq	1792
5	L	13411

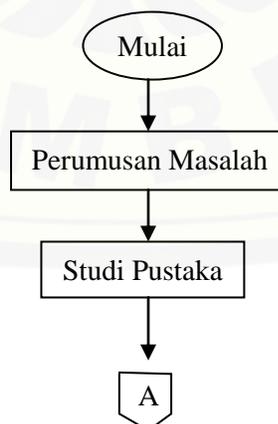
### 3.3 Tahapan Analisis

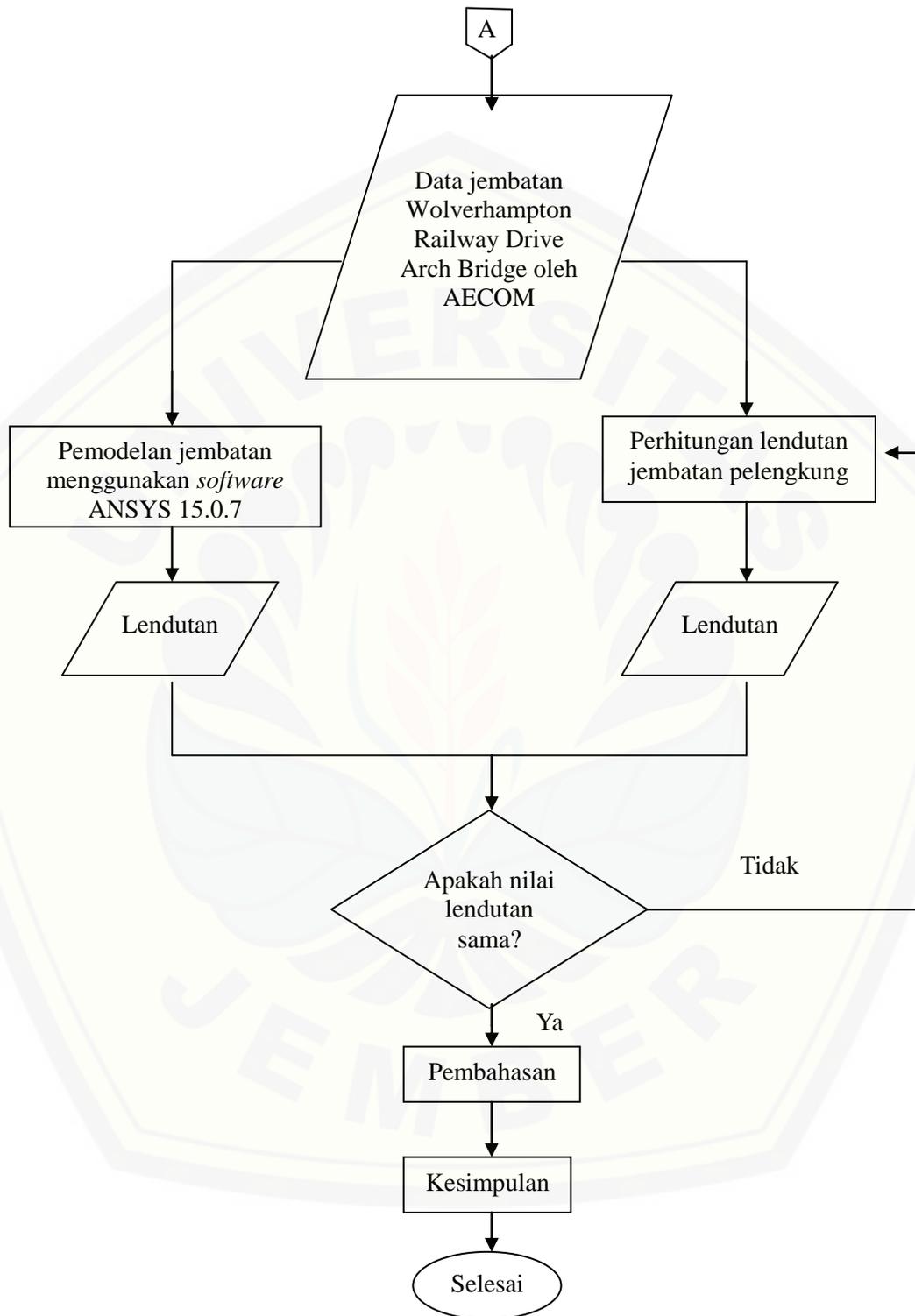
Tahapan-tahapan analisis yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

- A. Menentukan dimensi-dimensi jembatan yang akan dilakukan analisis.
- B. Melakukan perhitungan distribusi beban dengan menggunakan metode Unit Load .
- C. Membagi beban yang telah dihitung menjadi beberapa segmen.
- D. Mencari besarnya nilai lendutan dengan menggunakan metode *Unit Load*.
- E. Membandingkan nilai lendutan antara metode *Unit Load* dan *Software ANSYS*.
- F. Mengambil kesimpulan.

### 3.4 BaganAlir Penelitian

Alur penelitian skripsi mengikuti Gambar 3.1 yang menjelaskan prosedur penelitian dalam skripsi ini.





Gambar 3.4 Bagan Alir Penelitian

### 3.4.1 Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk mendapatkan referensi acuan yang tepat dalam penyusunan tugas akhir. Referensi acuan diperoleh dari sumber-sumber tertulis baik tercetak maupun elektronik berupa buku, jurnal, tesis atau disertasi, dan lain-lain. Kemudian dilakukan pengumpulan data-data yang diperlukan untuk *sample*. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data dimensi jembatan Wolverhampton Inggris, *Railway Drive Arch Bridge* yang didapat dari inspeksi keadaan jembatan yang dilakukan oleh AECOM pada Februari 2014.

### 3.4.2 Pengolahan Data

Data yang digunakan adalah data hasil inspeksi *Railway Drive Arch Bridge*, dimana data tersebut berupa data dimensi jembatan. Penelitian dalam skripsi ini menggunakan metode *unit load* yaitu metode perhitungan yang pada dasarnya menerapkan beban satu-satuan pada titik yang ditinjau untuk melihat pengaruh lendutan pada titik tersebut. Metode ini menggunakan beban satu-satuan yang akan menghasilkan satu komponen atau peralihan dititik kumpul baik pada arah vertikal atau arah horizontal saja.

### 3.4.3 Analisis

Pada tahap ini dilakukan analisis perhitungan menggunakan metode *unit load* dengan lendutan sebagai hasil akhir. Hasil lendutan tersebut akan dibandingkan dengan hasil lendutan menggunakan *software* ANSYS 15.0.

#### 3.4.3.1 Analisis Hasil Perhitungan Menggunakan Metode *Unit Load*

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan metode *unit load*, hasil lendutan yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan hasil lendutan menggunakan *software* ANSYS 15.0. Apabila hasil lendutan antara metode *unit load* dan *software* ANSYS tidak sama atau tidak mendekati, maka dilakukan perhitungan ulang dengan menggunakan metode *unit load* sampai

mendapatkan hasil yang sama dengan *software* ANSYS 15.0.

### **3.4.4 Penarikan Kesimpulan**

Setelah dilakukan perhitungan, maka tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan. Pada kesimpulan ini dapat diketahui analisis perhitungan yang baik pada jembatan pelengkung batu dengan menggunakan metode *unit load*. Selain itu juga diketahui perbandingan hasil lendutan yang terjadi pada tengah bentang serta pengaruh variasi ketebalan dengan menggunakan metode *unit load* dan *software* ANSYS 15.0.

## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. perhitungan menggunakan metode *unit load* dilakukan dengan alur perhitungan sebagai berikut:
  - a. Dibutuhkan data dimensi jembatan berupa bentang jembatan (L), beban luar (WL) berupa beban terpusat, berat isi material ( $\gamma$ ), modulus young (E), dan tinggi pelengkung di  $\frac{1}{2}$  bentang.
  - b. Membagi tanah menjadi 5 segmen dan menghitung beban dalam atau beban mati pada material pada tiap segmen.
  - c. Menghitung gaya horizontal.
  - d. Menghitung reaksi vertikal (Rav) dan reaksi horizontal (Rah).
  - e. Mencari persamaan momen yang terjadi sepanjang  $\frac{1}{2}$  L.
  - f. Menghitung rav dan rah pada struktur dengan beban satu satuan di tengah bentang.
  - g. Mencari persamaan momen yang terjadi sepanjang  $\frac{1}{2}$  L pada struktur dengan beban satu satuan.
  - h. Menghitung inersia penampang.
  - i. Menghitung lendutan ( $\delta$ )
2. Besarnya lendutan yang terjadi pada tengah bentang dengan menggunakan *software* ANSYS 15.0 adalah sebesar 6,2559 mm.
3. Berdasarkan perhitungan diketahui besarnya lendutan untuk metode unit load pada dimensi asli adalah sebesar 6,34338 mm dan untuk *software* ANSYS sebesar 6,2559 mm dengan selisih sebesar 0,08748 mm. Variasi tinggi *spandrel* sangat mempengaruhi nilai lendutan yang terjadi. Semakin tebal dimensinya maka lendutan yang terjadi semakin kecil, sebaliknya semakin kecil dimensinya maka lendutan maupun lendutan yang terjadi semakin besar. Hal tersebut disebabkan karena semakin tebal suatu elemen

maka luas daerah penyebaran distribusi beban yang bekerja semakin luas sehingga kapasitas tampungan beban yang bekerja pada struktur tersebut semakin besar, dengan beban yang sama maka lendutan serta lendutan yang terjadi semakin kecil.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat saran yang dapat diberikan untuk lebih menyempurnakan hasil analisis ini atau untuk dikembangkan lebih lanjut. Adapun saran tersebut yaitu:

1. Disarankan untuk melakukan perhitungan manual menggunakan metode selain metode *unit load* untuk membandingkan hasil baik secara manual maupun dengan hasil analisis menggunakan *software* ANSYS 15.0

**DAFTAR PUSTAKA**

Heyman, Jacques. 1982. *The Masonry Arch*. Chishester: Ellis Horword Limited.

Holmstrom, Kristoffer. 2010. *Master's Thesis: On Engginering Methods for Assessment of Load Capacity of Stone Arch Bridges*. Sweden: Chalmers University of Technology

Karnovsky, Igor A. 2010. *Advanced Methods of Structural Analysis*. New York London: Springer

AECOM Transportation. 2014. *Wolverhampton City Centre Extension Railway Drive Arch Bridge Structural Assesment*. Birmingham: AECOM Limited.

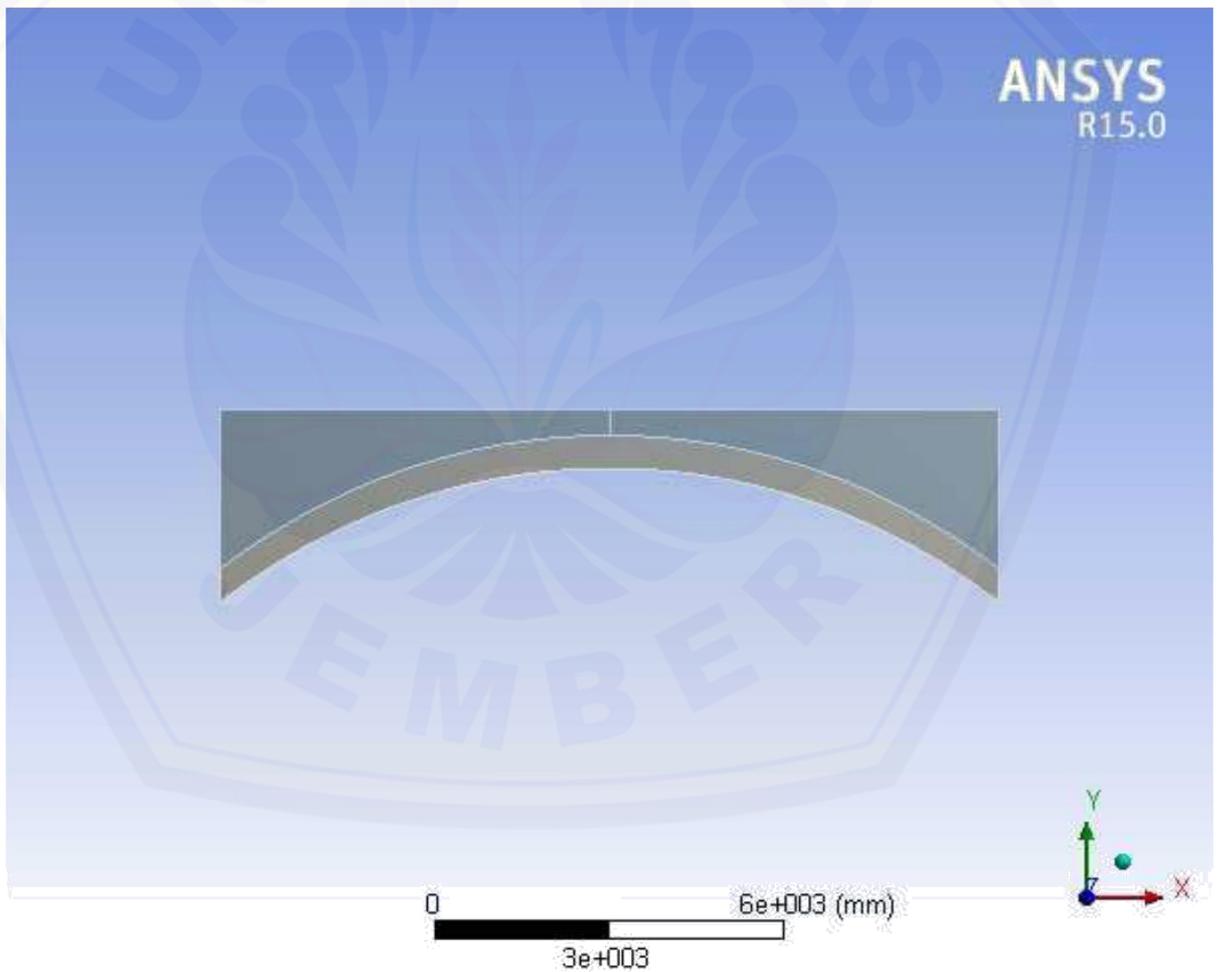
Das, Braja M., Endah, Noor, Mochtar, Indrasurya B. 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*, Jakarta: Erlangga

**B. HASIL ANALISIS DEFORMASI MENGGUNAKAN ANSYS 15.0**



## Project

First Saved	Friday, April 01, 2016
Last Saved	Thursday, June 16, 2016
Product Version	15.0.7 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



## Contents

- Units
- Model (A4)
  - Geometry
    - Parts
  - Coordinate Systems
  - Connections
    - Contacts
      - Contact Region 2
  - Mesh
    - Face Sizing
  - Static Structural (A5)
    - Analysis Settings
    - Loads
    - Solution (A6)
      - Solution Information
      - Results
- Material Data
  - Brick Masonry
  - Brick Masonry Spandrel and Fill

## Units

**TABLE 1**

Unit System	Metric (mm, t, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

## Model (A4)

### Geometry

**TABLE 2**  
**Model (A4) > Geometry**

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	E:\JEMB\SKRIPSI\ANSYS\Variasi h\variasi h_files\dp0\SYS\DM\SYS.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters

Element Control	Program Controlled
2D Behavior	Plane Stress
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	13412 mm
Length Y	3343, mm
<b>Properties</b>	
Volume	2,3582e+010 mm <sup>3</sup>
Mass	49,522 t
Surface Area(approx.)	2,3582e+007 mm <sup>2</sup>
Scale Factor Value	1,
<b>Statistics</b>	
Bodies	2
Active Bodies	2
Nodes	2281
Elements	655
Mesh Metric	None
<b>Basic Geometry Options</b>	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
<b>Advanced Geometry Options</b>	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\TOSHIBA\AppData\Local\Temp
Analysis Type	2-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**  
**Model (A4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>Surface Body</i>	<i>Surface Body</i>
State	Meshed	
<b>Graphics Properties</b>		
Visible	Yes	

Transparency	1	
<b>Definition</b>		
Suppressed	No	
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Thickness	1000, mm	
Thickness Mode	Refresh on Update	
<b>Material</b>		
Assignment	Brick Masonry	Brick Masonry Spandrel and Fill
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
<b>Bounding Box</b>		
Length X	13412 mm	
Length Y	2898, mm	2771, mm
<b>Properties</b>		
Volume	7,6717e+009 mm <sup>3</sup>	1,591e+010 mm <sup>3</sup>
Mass	16,11 t	33,411 t
Centroid X	1,0759e-004 mm	-0,60802 mm
Centroid Y	1865,9 mm	2551,9 mm
Centroid Z	0, mm	
Moment of Inertia Ip1	7,9447e+006 t·mm <sup>2</sup>	1,2616e+007 t·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	2,415e+008 t·mm <sup>2</sup>	7,6047e+008 t·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	2,4944e+008 t·mm <sup>2</sup>	7,7309e+008 t·mm <sup>2</sup>
Surface Area(approx.)	7,6717e+006 mm <sup>2</sup>	1,591e+007 mm <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>		
Nodes	793	1488
Elements	214	441
Mesh Metric	None	

## Coordinate Systems

**TABLE 4**  
**Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
<b>Origin</b>	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
<b>Directional Vectors</b>	
X Axis Data	[ 1, 0, ]

Y Axis Data	[ 0, 1, ]
-------------	-----------

## Connections

**TABLE 5**  
**Model (A4) > Connections**

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
<b>Auto Detection</b>	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
<b>Transparency</b>	
Enabled	Yes

**TABLE 6**  
**Model (A4) > Connections > Contacts**

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Connection Type	Contact
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
<b>Auto Detection</b>	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0,
Tolerance Value	34,556 mm
Use Range	No
Face/Edge	No
Edge/Edge	Yes
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

**TABLE 7**  
**Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions**

Object Name	<i>Contact Region 2</i>
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	1 Edge
Target	2 Edges
Contact Bodies	Surface Body
Target Bodies	Surface Body
Shell Thickness Effect	No

<b>Definition</b>	
Type	Bonded
Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	34,556 mm
Suppressed	No
<b>Advanced</b>	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
<b>Geometric Modification</b>	
Contact Geometry Correction	None

**Mesh**

**TABLE 8**  
**Model (A4) > Mesh**

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
<b>Sizing</b>	
Use Advanced Size Function	On: Curvature
Relevance Center	Coarse
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Span Angle Center	Coarse
Curvature Normal Angle	Default (30,0 °)
Min Size	Default (70,1850 mm)
Max Face Size	Default (350,920 mm)
Growth Rate	Default
Minimum Edge Length	445,0 mm
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	2
Growth Rate	1,2

Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Patch Conforming Options</b>	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
<b>Patch Independent Options</b>	
Topology Checking	Yes
<b>Advanced</b>	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
<b>Defeaturing</b>	
Use Sheet Thickness for Pinch	No
Pinch Tolerance	Default (63,1660 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
Sheet Loop Removal	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default (52,6390 mm)
<b>Statistics</b>	
Nodes	2281
Elements	655
Mesh Metric	None

**TABLE 9**  
**Model (A4) > Mesh > Mesh Controls**

Object Name	<i>Face Sizing</i>
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	3 Faces
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Type	Element Size
Element Size	200, mm
Behavior	Soft
Curvature Normal Angle	Default
Growth Rate	Default
Local Min Size	Default (70,185 mm)

## Static Structural (A5)

**TABLE 10**  
**Model (A4) > Analysis**

Object Name	Static Structural (A5)
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

**TABLE 11**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings**

Object Name	Analysis Settings
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
<b>Nonlinear Controls</b>	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No

General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	E:\JEMB\SKRIPSI\ANSYS\Variasi h\variasi h_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmn

**TABLE 12**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads**

Object Name	<i>Force</i>	<i>Fixed Support</i>
State	Fully Defined	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Vertex	2 Vertices
<b>Definition</b>		
Type	Force	Fixed Support
Define By	Components	
Coordinate System	Global Coordinate System	
X Component	0, N (ramped)	
Y Component	-1,5402e+005 N (ramped)	
Suppressed	No	

**FIGURE 1**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force**



**Solution (A6)**

**TABLE 13**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
<b>Information</b>	
Status	Done

**TABLE 14**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
<b>FE Connection Visibility</b>	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

**TABLE 15**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results**

Object Name	<i>Directional Deformation</i>	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
<b>Definition</b>		
Type	Directional Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
Orientation	Y Axis	
By	Time	
Display Time	Last	
Coordinate System	Global Coordinate System	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		

Suppressed	No	
<b>Results</b>		
Minimum	-6,2559 mm	6,4514e-004 MPa
Maximum	0,81479 mm	5,2911 MPa
Minimum Occurs On	Surface Body	
Maximum Occurs On	Surface Body	
<b>Minimum Value Over Time</b>		
Minimum	-6,2559 mm	6,4514e-004 MPa
Maximum	-6,2559 mm	6,4514e-004 MPa
<b>Maximum Value Over Time</b>		
Minimum	0,81479 mm	5,2911 MPa
Maximum	0,81479 mm	5,2911 MPa
<b>Information</b>		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	
<b>Integration Point Results</b>		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	

## Material Data

### *Brick Masonry*

**TABLE 16**  
**Brick Masonry > Constants**  
Density 2,1e-009 tonne mm<sup>-3</sup>

**TABLE 17**  
**Brick Masonry > Isotropic Elasticity**

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	1800,	0,2	1000,	750,

### *Brick Masonry Spandrel and Fill*

**TABLE 18**  
**Brick Masonry Spandrel and Fill > Constants**  
Density 2,1e-009 tonne mm<sup>-3</sup>

**TABLE 19**  
**Brick Masonry Spandrel and Fill > Isotropic Elasticity**

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	1800,	0,2	1000,	750,

**TABLE 20**  
**Dimensional Variations and Deformation**

No	Poisson's Ratio	Deformation
1	395	6,6764
2	405	6,5890
3	415	6,5033
4	425	6,4192
5	435	6,3367
	445	6,2559
6	455	6,1774
7	465	6,1001
8	475	6,0236
9	485	5,9483
10	495	5,8882