



**KONSEP DESAIN JEMBATAN PELENGKUNG BATU
BERBASIS METODE MEXE (*THE MILITARY ENGINEERING
EXPERIMENTAL ESTABLISHMENT*)**

SKRIPSI

oleh

**Ahmad Faisol Zulqowim
NIM 121910301064**

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2016



**KONSEP DESAIN JEMBATAN PELENGKUNG BATU
BERBASIS METODE MEXE (*THE MILITARY ENGINEERING
EXPERIMENTAL ESTABLISHMENT*)**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Strata Satu (S1) Teknik Sipil
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh

**Ahmad Faisol Zulqowim
NIM 121910301064**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER**

2016

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua tercinta Ibunda Nur Hidayati dan Abahanda Ichsan Asmuni yang telah menyayangi anak tunggal kalian selama ini;
2. Dosen Pembimbing Akademik Pak Erno Widayanto, S.T., M.T. (DPA semester 1 – 6) dan Ibu Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T. (DPA semester 7 – 8) yang telah membimbing masa studi S1 di Teknik Sipil Universitas Jember;
3. Seluruh dosen Teknik Sipil Universitas Jember yang saya hormati yang telah memberikan ilmu dan pengalamannya yang sangat bermanfaat;
4. Almamater Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember;
5. Teman – teman angkatan 2012 Teknik Sipil Universitas Jember yang aku sayangi dan aku banggakan;
6. Sahabat-sahabatku selama di Jember Universe Kingdom / UK Family (Arga Saputra, Ari Trisna, Hendra Andiananta, Lia Martha, Nazil Dwi, Novi Wahyuningtyas, Ujang Fauzi, Yeni Ayu, dan Yusi Darmawan) yang selalu ada buatku, selalu bahagia, dan selalu menerima setiap kekurangan dan kelebihanku, Love You;
7. Semua teman – temanku tercinta yang tidak dapat saya tuliskan satu persatu.

MOTTO

Orang yang menuntut ilmu berarti menuntut rahmat; orang yang menuntut ilmu berarti menjalankan rukun Islam dan Pahala yang diberikan kepada sama dengan para Nabi.

(HR. Dailani dari Anas r.a)

Dan (Dia juga mengendalikan) apa yang Dia ciptakan untukmu di bumi ini dengan berbagai jenis dan macam warnanya. Sungguh, pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengambil pelajaran.

(Q.S. An-Nahl ayat ke 13)

Tiada hasil yang mengkhianati usaha.

(Elvira Devinamira Wirayanti)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Ahmad Faisol Zulqowim

NIM : 121910301064

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Konsep Desain Jembatan Pelengkung Batu Berbasis Metode MEXE (*The Military Engineering Experimental Establishment*)” 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 atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 13 Juni 2016
Yang menyatakan,

Ahmad Faisol Zulqowim
NIM 121910301064

SKRIPSI

**KONSEP DESAIN JEMBATAN PELENGKUNG BATU BERBASIS METODE
MEXE (*The Military Engineering eXperimental Establishment*)**

oleh

Ahmad Faisol Zulqowim
NIM 121910301064

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : M. Farid Ma'ruf, S.T., M.T., Ph.D

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Konsep Desain Jembatan Pelengkung Batu Berbasis Metode MEXE (*The Military Engineering Experimental Establishment*)” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Senin, 13 Juni 2016

tempat : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember

Tim Penguji,

Ketua tim,

Sekretaris/anggota I,

Dr. RR. Dewi Junita K, S.T., M.T
NIP 19710610 199903 2 001

M. Farid Ma’ruf, S.T., M.T., Ph.D
NIP 19721223 199803 1 002

Anggota II,

Anggota III,

Dwi Nurtanto, S.T., M.T
NIP 19731015 199802 1 001

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M
NIP 19661215 199503 2 001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M
NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Konsep Desain Jembatan Pelengkung Batu Berbasis Metode MEXE (*The Military Engineering Experimental Establishment*); Ahmad Faisol Zulqowim, 121910301064; 40 halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Banyak tipe-tipe jembatan yang telah dirancang dan dibangun oleh para insinyur teknik sipil, diantaranya adalah jembatan lengkung. Salah satu jenis konstruksi jembatan lengkung adalah jembatan lengkung batu. Jembatan lengkung batu banyak dibangun pada abad 19 terutama di daratan eropa. Jembatan jenis ini banyak yang sudah berumur tua maka diperlukan evaluasi kekuatannya. Banyak sekali evaluasi yang dilakukan oleh para insinyur dengan metode yang berbeda-beda salah satunya yaitu menggunakan metode MEXE (*The Military Engineering eXperimental Establishment*). Metode ini dipilih karena evaluasi yang dilakukan secara langsung meninjau keadaan fisik jembatannya yang kemudian dihitung dengan faktor-faktor yang ada dalam peraturan BA 16/97 amandemen no. 2. Evaluasi tersebut hasil akhirnya adalah kapasitas maksimum yang dapat dipikul struktur jembatan lengkung batu. Dari evaluasi menggunakan metode MEXE tersebut, juga dapat untuk memperoleh konsep-konsep perhitungan dimensinya.

Sebelum dilakukan perhitungan kapasitas jembatan diperlukan data hasil evaluasi fisik strukturnya berupa bentang jembatan, tinggi kelengkungan pada jarak $\frac{1}{2}$ dan $\frac{1}{4}$ dari panjang bentang jembatan, tebal kelengkungan, dan tinggi urugan tanah dari puncak kelengkungan. Setelah semua data tersebut diperoleh maka dilakukan perhitungan kapasitas sementara dan perhitungan berdasarkan faktor-faktor yang ditetapkan dalam peraturan BA 16/97 amandemen no. 2 hingga diperoleh kapasitas

jembatan lengkung tersebut. Dari kapasitas tersebut dan panjang bentangnya dapat dihitung balik untuk memperoleh konsep desain struktur jembatan lengkung batu yang tetap berdasarkan peraturan BA 16/97 amandemen no.2.

Data jembatan lengkung dalam perhitungan ini menggunakan jembatan Wolverhampton Inggris. Dari perhitungan berdasarkan metode MEXE diperoleh kapasitas jembatan sebesar 14,8505 ton. Deformasi yang terjadi pada struktur jembatan lengkung akibat kapasitas yang dipikulnya dianalisis menggunakan software ANSYS 15.0.7 dan diperoleh deformasi sebesar 2,2811 mm. Selain itu, dilakukan variasi penambahan dan pengurangan ketinggian kelengkungan pada jarak $\frac{1}{2}$ dan $\frac{1}{4}$ dari panjang bentang sebesar 0,01 meter yang dianalisis dengan software ANSYS.

SUMMARY

Masonry Arch Bridge Design Concept-Based MEXE Method (The Military Engineering Experimental Establishment); Ahmad Faisol Zulqowim, 121910301064; 40 pages; Department Of Civil Engineering University Of Jember.

Many types of bridges that have been designed and built by the engineer civil engineering, including the arch bridge. One type of construction of the arch bridge is a stone arch bridge. Many of the stone arch bridge was built in the 19th century primarily in mainland Europe. This type of bridge a lot of the old-old required an evaluation of the strength of its structure. An awful lot of evaluations conducted by engineers with varying methods i.e. using one of these methods MEXE (The Military Engineering eXperimental Establishment). This method was chosen because the evaluation is done by directly reviewing the physical state of the viaduct which is then calculated by factors that exist in the regulation of BA 16/97 Amendment No. 2. The end result is the evaluation of the maximum capacity that can be shouldered stone arch bridge structures. Of the evaluation method using the MEXE, also for memperoleh calculation concepts dimensions.

Prior to the calculation of the capacity of the bridge required physical evaluation results data structure in the form of high curvature, bridge spans approximately $\frac{1}{2}$ and $\frac{1}{4}$ of long span bridges, the curvature, and thick urugan high ground from the top of the curvature. After all the data is retrieved then performed the calculation capacity while and calculations based on the factors set out in the regulation of BA 16/97 Amendment No. 2 to the arch bridge capacity acquired. The capacity and length of bentangnya can be calculated back to obtain the design concept

of the structure of the stone arch bridge which remains based on the regulation of BA 16/97 Amendment No. 2.

Data arch bridge in this calculation using bridge Wolverhampton Stations. From the calculation based on the method of bridge capacity acquired MEXE is 14.8505 tons. Deformation happened on arch bridge structure due to capacity are analyzed using software ANSYS 15.0.7 and acquired deformations of 2.2811 mm. Additionally, do addition and subtraction height variation of the curvature at a distance of $\frac{1}{2}$ and $\frac{1}{4}$ of the long span of 0.01 meters were analyzed with ANSYS software.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Konsep Desain Jembatan Pelengkung Batu Berbasis Metode MEXE (*The Military Engineering Experimental Establishment*)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. M. Farid Ma'ruf, S.T., M.T., P.hD selaku Dosen Pembimbing Utama, Dwi Nurtanto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Erno Widayanto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik (semester 1 – 6) dan DR. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik (semester 7 – 8) yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
3. Kedua orangtuaku Nur Hidayati dan Ichsan Asmuni yang selalu memberikan doa, semangat, perhatian, dan segalanya selama ini dan dalam penyelesaian skripsi ini;
4. Rekan mahasiswa Arga Saputra dan Rena Yunissa yang telah memberikan tutorial ANSYS dan teman - teman UK Family yang selalu memberikan doa yang terbaik;
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 13 Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | iii |
| HALAMAN MOTTO | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN | v |
| HALAMAN PEMBIBINGAN | vi |
| HALAMAN PENGESAHAN | vii |
| RINGKASAN | viii |
| <i>SUMMARY</i> | x |
| PRAKATA | xii |
| DAFTAR ISI | xiii |
| DAFTAR TABEL | xvi |
| DAFTAR GAMBAR | xvii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xviii |
| BAB 1. PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan | 2 |
| 1.4 Batasan Masalah | 3 |
| BAB 2. LANDASAN TEORI | |
| 2.1 Pengertian Jembatan | 4 |
| 2.2 Jembatan Lengkung Batu / Masonry | 4 |
| 2.3 Metode MEXE (<i>The Military Engineering eXperimental Establishment</i>) | 4 |
| 2.3.1 Prosedur Perhitungan Metode MEXE | 7 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.1.1 Penilaian Beban Gandar Sementara..... | 7 |
| 2.3.1.2 Faktor Modifikasi..... | 8 |
| 2.3.1.3 Aplikasi | 13 |
| 2.4 Software ANSYS | 13 |
| BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN | |
| 3.1 Umum | 20 |
| 3.2 Variabel Penelitian | 20 |
| 3.3 Langkah-langkah Penelitian | 20 |
| 3.3.1 Rumusan Masalah..... | 20 |
| 3.3.2 Study Pustaka | 20 |
| 3.4 Data | 21 |
| 3.5 Analisis Data | 21 |
| 3.6 Waktu Kegiatan..... | 21 |
| 3.7 Hasil Akhir | 21 |
| 3.8 Bagan Alir | 22 |
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1 Data Jembatan Lengkung..... | 24 |
| 4.2 Menentukan Kapasitas Jembatan Lengkung..... | 26 |
| 4.2.1 Menentukan Beban Gandar Sementara | 26 |
| 4.2.2 Faktor Modifikasi | 27 |
| 4.3 Langkah-langkah Menentukan Dimensi Jembatan | 29 |
| 4.3.1 Menentukan Tinggi Urugan (h) dan Tebal lengkung (d) | 29 |
| 4.3.2 Menentukan Ketinggian Kelengkungan pada Jarak 1/2 dari Panjang Bentang Jembatan (Rc) | 30 |
| 4.3.3 Menentukan Ketinggian Kelengkungan pada Jarak 1/4 dari Panjang Bentang Jembatan (Rq) | 31 |
| 4.3.4 Flowchart Konsep Perhitungan Dimensi Metode MEXE | 32 |

| | |
|---|----|
| 4.4 Perhitungan Dimensi Jembatan Lengkung | |
| Wolverhampton Inggris | 33 |
| 4.4.1 Menentukan Tinggi urugan (h) dan tebal lengkung (d) | 33 |
| 4.4.2 Menentukan Ketinggian kelengkungan pada jarak $\frac{1}{2}$ dari panjang bentang jembatan | 35 |
| 4.4.3 Menentukan Ketinggian kelengkungan pada jarak $\frac{1}{4}$ dari panjang bentang jembatan | 36 |
| 4.5 Data hasil Running Software ANSYS Workbanch versi 15.0.7 | 37 |
| BAB 5. PENUTUP | |
| 6.1 Kesimpulan | 39 |
| 6.2 Saran | 39 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR TABEL

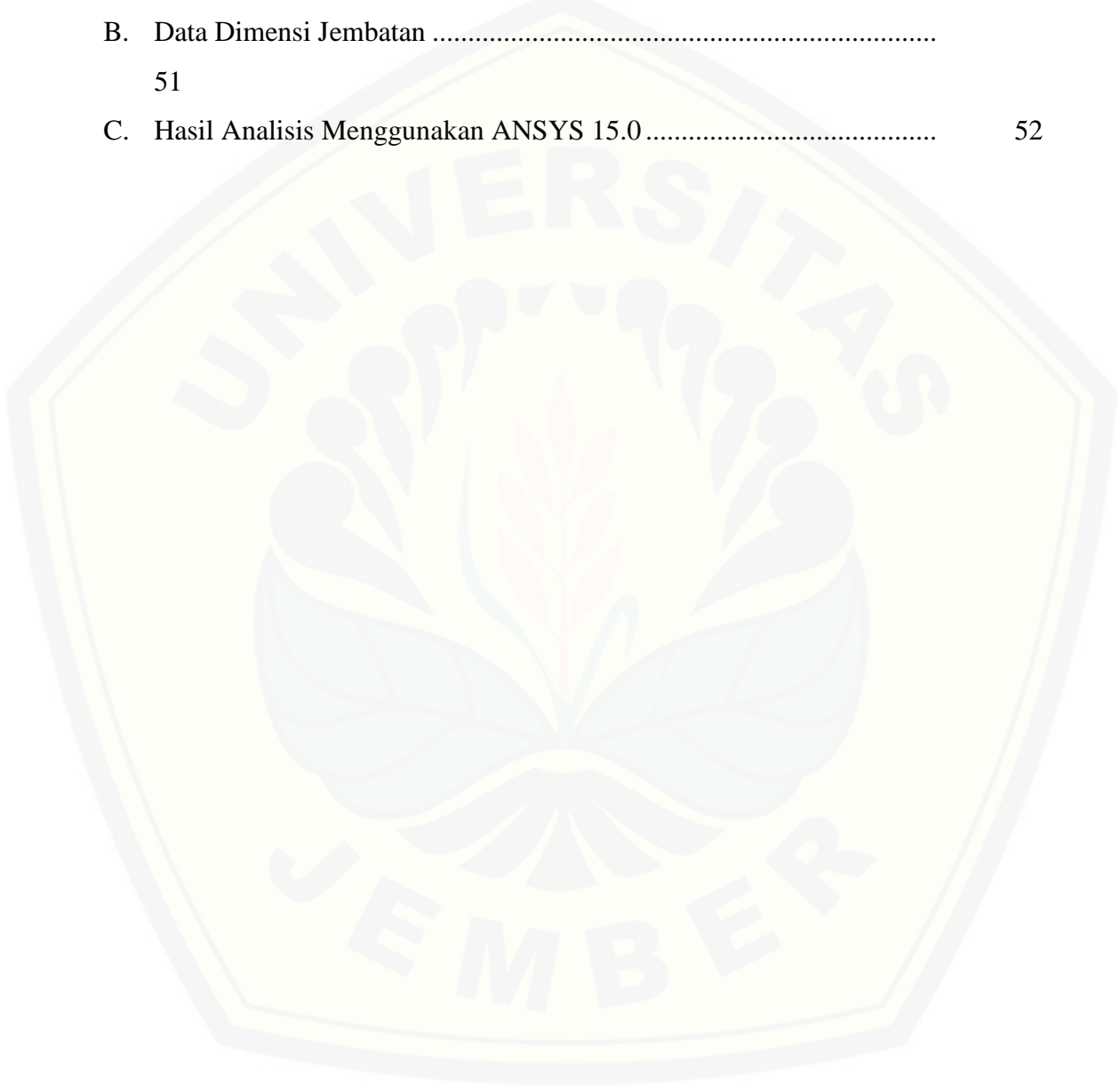
| | Halaman |
|--|---------|
| 4.1 Data dimensi jembatan lengkung | 26 |
| 4.2 Nilai h dan d berdasarkan variasi persentase d terhadap h | 35 |
| 4.3 Tinggi Rc dan Rq setelah penambahan dimensi sebesar 0,01 m dengan pengulangan sebanyak 5 kali | 37 |
| 4.4 Tinggi Rc dan Rq setelah pengurangan dimensi sebesar 0,01 m dengan pengulangan sebanyak 5 kali | 37 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 2.1 Nomogram untuk menentukan beban gandar sementara dari jembatan lengkung sebelum di faktorkan (BA 16/97 amandemen 2) | 7 |
| Gambar 2.2 Faktor Bentang (BA 16/97 amandemen 2)..... | 8 |
| Gambar 2.3 Faktor profil (BA 16/97 amandemen 2)..... | 9 |
| Gambar 2.4 Brick Masonry dan Propertinya..... | 14 |
| Gambar 2.5 Brick Masonry Spandrel dan Propertinya..... | 15 |
| Gambar 2.6 Analisis Type..... | 15 |
| Gambar 2.7 Sumbu X, Y, dan Z..... | 16 |
| Gambar 2.8 New Sketch..... | 16 |
| Gambar 2.9 Ctrl + E..... | 17 |
| Gambar 2.10 Directional Deformation..... | 18 |
| Gambar 2.11 Equivalent Stress..... | 19 |
| Gambar 2.12 Report Preview..... | 19 |
| Gambar 4.1 Foto Jembatan Lengkung Masonry di Kota Wolverhampton | 24 |
| Gambar 4.2 Foto Lokasi Jembatan Lengkung Masonry di Kota Wolverhampton..... | 25 |
| Gambar 4.3 Dimensi Jembatan Lengkung Masonry..... | 25 |
| Gambar 4.4 Nomogram untuk menentukan beban gandar sementara pada jembatan lengkung masonry sebelum di faktorkan..... | 30 |
| Gambar 4.5 Faktor bentang..... | 31 |
| Gambar 4.6 Nomogram untuk nilai h dan d | 34 |
| Gambar 4.7 Struktur jembatan lengkung sebelum di running..... | 37 |
| Gambar 4.8 Struktur jembatan lengkung setelah di running (deformasi)..... | 38 |
| Gambar 4.9 Grafik deformasi akibat variasi dimensi R_c dan R_q | 38 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|--|---------|
| A. <i>The Assessment of Highway Bridges & Structures</i> | 41 |
| B. Data Dimensi Jembatan | |
| 51 | |
| C. Hasil Analisis Menggunakan ANSYS 15.0 | 52 |



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan jembatan di Indonesia semakin pesat karena banyaknya aliran sungai yang ada. Jembatan sangat dibutuhkan untuk mobilisasi dari tempat satu ke tempat lainnya yang terpisahkan oleh beda tinggi permukaan tanah. Jembatan juga untuk memperpendek jalur transportasi. Jembatan merupakan sarana penghubung antara dua wilayah yang terpisah oleh aliran sungai, lembah, jurang, dan sebagainya.

Banyak tipe-tipe jembatan yang telah dirancang dan dibangun oleh para insinyur teknik sipil, diantaranya adalah jembatan lengkung. Jembatan lengkung masih banyak jenis konstruksinya salah satunya jembatan lengkung batu. Jembatan lengkung batu banyak dibangun pada abad 19 terutama di daratan eropa. Jembatan tersebut dipilih karena konstruksinya yang sederhana dan tidak memerlukan biaya pekerjaan yang besar dan tahan untuk menahan beban kendaraan berat saat perang dunia ke 2 terutama di Inggris.

Pada abad sekarang jembatan lengkung batu di Eropa sudah berumur lama maka diperlukan evaluasi kekuatan strukturnya. Banyak sekali evaluasi yang dilakukan oleh para insinyur dengan metode yang berbeda-beda salah satunya yaitu menggunakan metode MEXE (*The Military Engineering eXperimental Establishment*). Metode ini masih dipakai oleh beberapa evaluator jembatan lengkung salah satunya data yang telah diterbitkan oleh AECOM pada tahun 2014. Metode ini dipilih karena evaluasi yang dilakukan secara langsung meninjau keadaan fisik jembatannya yang kemudian dihitung dengan faktor-faktor yang ada dalam peraturan BA 16/97 amandemen no. 2.

Evaluasi tersebut hasil akhirnya adalah kapasitas maksimum yang dapat dipikul struktur jembatan lengkung batu. Dari evaluasi menggunakan metode MEXE tersebut, juga dapat untuk memperoleh konsep-konsep perhitungan dimensinya. Konsep-konsep perhitungannya harus sesuai dengan peraturan yang dipakai pada perhitungan kapasitasnya supaya didapatkan ukuran

dimensi yang sama atau beda sedikit dari hasil evaluasi. oleh karena itu dalam penelitian ini akan membahas konsep-konsep perhitungan dimensi jembatan lengkung batu menggunakan metode MEXE.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapakah kapasitas yang bekerja pada jembatan batu berdasarkan data yang tersedia?
2. Bagaimana konsep perhitungan dimensi struktur atas jembatan lengkung batu menggunakan metode MEXE?
3. Bagaimana deformasi yang terjadi menggunakan software ANSYS Workbench versi 15.0.7 akibat variasi ketinggian R_c (Ketinggian Kelengkungan pada Jarak $1/2$ dari Panjang Bentang Jembatan) dan R_q (Ketinggian Kelengkungan pada Jarak $1/4$ dari Panjang Bentang Jembatan) dengan kelipatan 0,01 meter?

1.3 Tujuan Penelitian

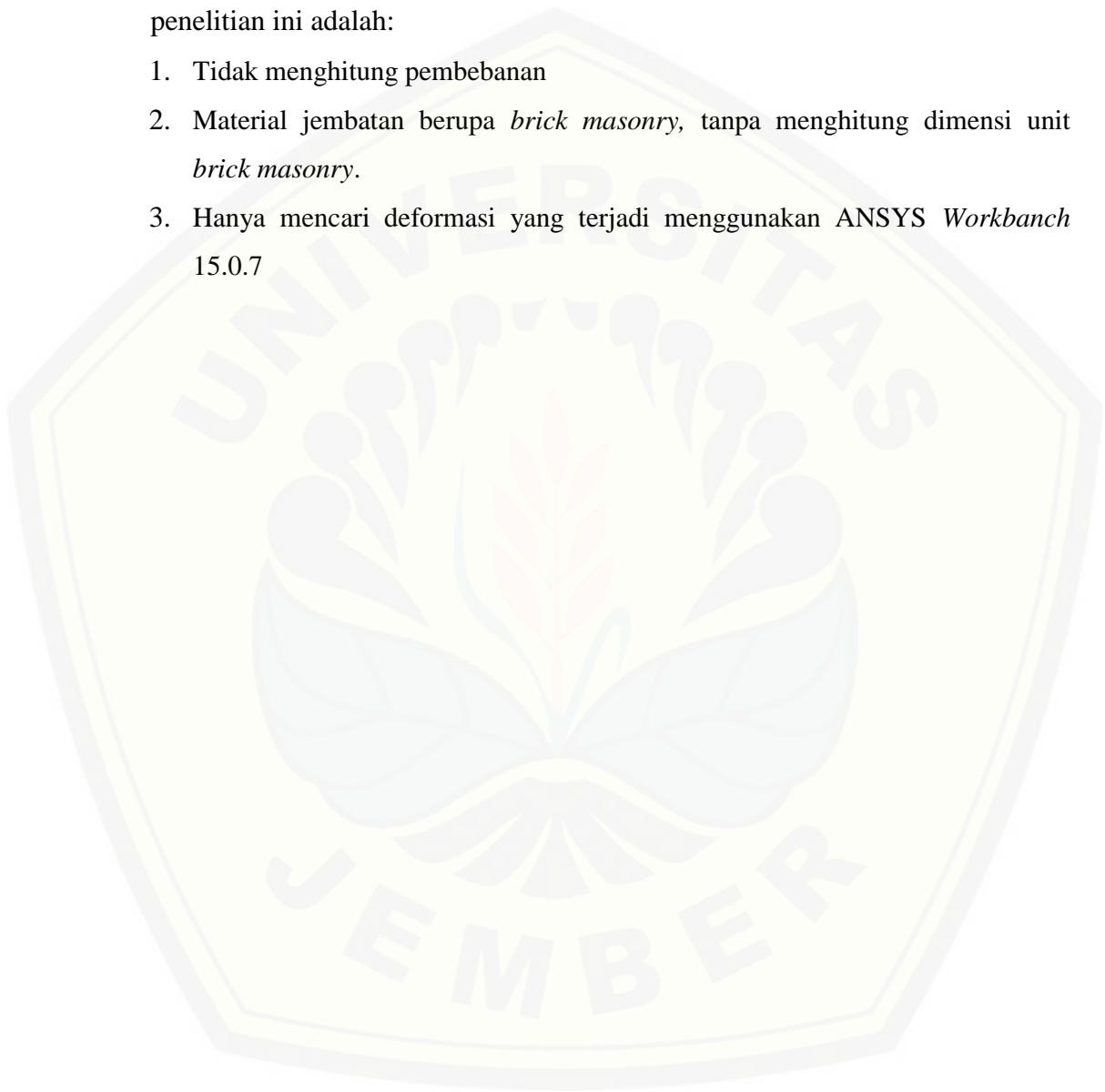
Berdasarkan permasalahan di atas, maka tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kapasitas jembatan lengkung batu berdasarkan data yang tersedia menggunakan metode MEXE
2. Melakukan analisa balik metode MEXE untuk mendapatkan konsep perhitungan dimensi struktur atas jembatan lengkung batu
3. Mengetahui deformasi yang terjadi menggunakan software ANSYS Workbench versi 15.0.7 akibat variasi ketinggian R_c (Ketinggian Kelengkungan pada Jarak $1/2$ dari Panjang Bentang Jembatan) dan R_q (Ketinggian Kelengkungan pada Jarak $1/4$ dari Panjang Bentang Jembatan) dengan kelipatan 0,01 meter

1.4 Batasan Masalah

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

1. Tidak menghitung pembebanan
2. Material jembatan berupa *brick masonry*, tanpa menghitung dimensi unit *brick masonry*.
3. Hanya mencari deformasi yang terjadi menggunakan ANSYS *Workbench* 15.0.7



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Jembatan

Jembatan merupakan suatu konstruksi yang melintasi suatu rintangan yang lebih rendah, seperti sungai, lembah, teluk, waduk, dan kondisi-kondisi sebagainya.

2.2 Jembatan Lengkung Batu / Masonry

Bingkai atau rusuk pelengkung seperti balok lingkaran yang tidak hanya vertikal tetapi juga horizontal pada kedua ujungnya, dan akan mendukung reaksi vertikal dan horizontal. Gaya horizontal akan menyebabkan tegangan aksial yang akan menambahkan momen tekuk pada rusuk lengkung. Momen tekuk akan menyebabkan keseimbangan gaya horizontal dengan beban gravitasi. Dibandingkan dengan gaya aksial, akibat momen tekuk biasanya kecil. Hal itulah yang menyebabkan mengapa lengkung sering dibuat dari bahan yang mampu menahan gaya tekan tinggi seperti batu bata.

2.3 Metode MEXE (*The Military Engineering eXperimental Establishment*)

Metode MEXE pertama kali digunakan di Inggris oleh *Ministry of Supply* saat perang dunia ke dua untuk mengetahui jembatan mana yang dapat dilalui oleh militer karena banyaknya jembatan lengkung. Metode ini telah dikembangkan mulai dari sejumlah tes skala penuh dan perhitungan analitisnya serta berlaku untuk sejumlah asumsi (Sowden 1990):

- Lengkung parabola
- Lengkung dua perletakan
- Lengkung dalam kondisi baik
- Beban terpusat / bebab titik di puncak kelengkungan

- Bentang kelengkungan kurang dari 20 meter
- Kenaikan R_c lebih dari $\frac{1}{4}$ dari bentang kelengkungan
- Kedalaman urugan antara 30-105 cm dari puncak kelengkungan.

Rumus mencari kapasitas sementara metode MEXE sebagai berikut:

$$PAL = \frac{740 (d+h)^2}{L^{1,3}} \quad (2.1)$$

Dimana:

- d = ketebalan kelengkungan (meter)
- h = rata-rata kedalaman urugan pada titik-titik seperempat dari profil jalan melintang antara permukaan jalan dengan lengkungan pada puncak kelengkungan, termasuk permukaan jalan (meter)
- L = Bentang jembatan lengkung (meter)

Rumus tersebut dapat diaplikasikan dengan bentang (L) 1,5 meter sampai 18 meter dan 0,25 meter sampai 1,8 meter untuk $d+h$. Berikut merupakan faktor modifikasi:

1. Bentang: Faktor bentang (F_{sr})

Untuk rasio bentang kurang dari sama dengan 4 digunakan factor modifikasi sebesar 1. Untuk rasio bentang lebih besar dari 4 digunakan factor modifikasi < 1 .

2. Faktor Profil (F_p)

Lengkung profil parabola dianggap ideal. Jika R_q adalah kenaikan pada seperempat bentang dan R_c adalah kenaikan pada puncak bentang.

Untuk $\frac{R_q}{R_c} \leq 0,75$ digunakan faktornya 1.

Untuk $\frac{R_q}{R_c} \geq 0,75$ digunakan factor kurang dari 1.

3. Faktor Material (F_m)

Tergantung pada jenis bahan / material yang digunakan, ketebalan lengkung, dan material urugannya.

4. Faktor Sendi / joint (F_j)

Faktor sendi / joint ditentukan berdasarkan lebar sendi (F_w), kedalaman sendi (F_d), dan factor mortal (F_m).

$$F_j = F_w \cdot F_d \cdot F_m \quad (2.2)$$

5. Faktor Kondisi (F_{cm})

Faktor kondisi tergantung pada penilaian retak dan deformasi yang kemungkinan ada dalam struktur. Nilai bervariasi antara 0 dan 1.

Jadi, Kapasitas maksimum = $F_{sr} \cdot F_p \cdot F_m \cdot F_j \cdot F_{cm} \cdot PAL$. (2.3)

Keuntungan metode MEXE:

- Perhitungan cepat dari beban maksimum yang diizinkan
- Tidak perlu membutuhkan pemodelan computer yang kompleks

Kekurangan dan batasan geometris:

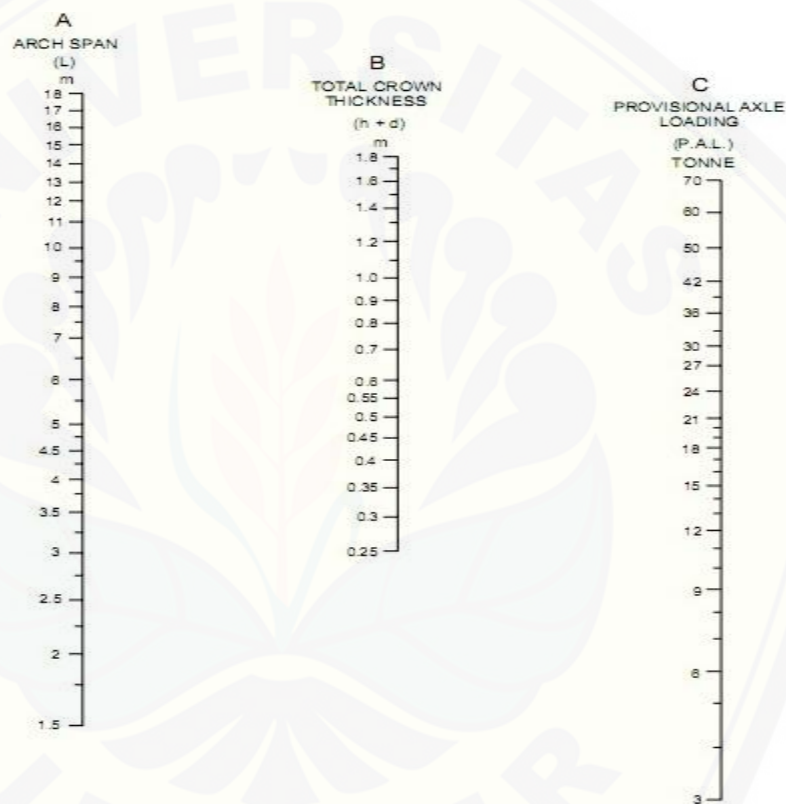
- Bentang L kurang dari sama dengan 20 meter
- Kenaikan R_c lebih besar sama dengan $\frac{1}{4}$ dari bentang L
- Kedalaman urugan $30 \text{ cm} \leq h \leq 105 \text{ cm}$ antara permukaan atas dari puncak kelengkungan dan bagian dalam *sleepers*.
- Didasarkan pada beban titik di puncak kelengkungan.
- Beban gandar diijinkan dimodifikasi oleh factor-faktor untuk memperhitungkan kondisi material dan lengkung yang ada retakannya..
- Perubahan lokasi engsel dan titik stres maksimum tidak dapat ditentukan.

2.3.1 Prosedur Perhitungan Metode MEXE

2.3.1.1 Penilaian Kapasitas Sementara

Kapasitas sementara PAL diperoleh dengan nomogram gambar 2.1

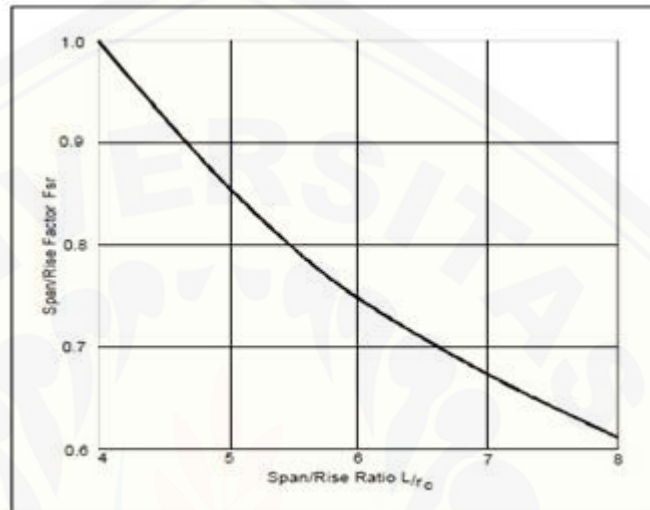
$$PAL = \frac{740 (d+h)^2}{L^{1,3}}$$
, rumus tersebut berdasarkan nomogram dan hanya boleh dilakukan dalam batas yang diberikan pada gambar 2.1. Beban gandar sementara yang diperoleh kemudian dimodifikasi sesuai subsubbab Faktor Modifikasi.



Gambar 2.1 Nomogram untuk menentukan beban gandar sementara dari jembatan lengkung sebelum di faktorkan (sumber: BA 16/97 amandemen 2)

2.3.1.2 Faktor Modifikasi

Faktor bentang (Fsr). Rasio bentang kurang dari sama dengan 4 diasumsikan memberikan kekuatan yang optimal dan memiliki factor bernilai 1. Rasio bentang lebih besar dari 4 harus sesuai dengan gambar 2.2 yang memberikan factor bentang sesuai Fsr untuk rasio yang berbeda.



Gambar 2.2 Faktor Bentang (sumber: BA 16/97 amandemen 2)

Faktor profil (Fp). Profil ideal telah ditetapkan untuk parabola dan membentuk peningkatan pada titik seperempat bentang $R_q = 0,75 R_c$, dimana R_c adalah lengkung di puncak kelengkungan dari jarak setengah bentang. Faktor Profil Fp untuk rasio R_q/R_c kurang dari sama dengan 0,75, dan rasio lebih besar dari 0,75 harus dihitung:

$$F_p = 2,3 \left[\frac{R_c - R_q}{R_c} \right]^{0,6} \quad (2.4)$$

Selanjutnya diplot pada gambar 2.3

For convenience this has been plotted in Figure 3/4.

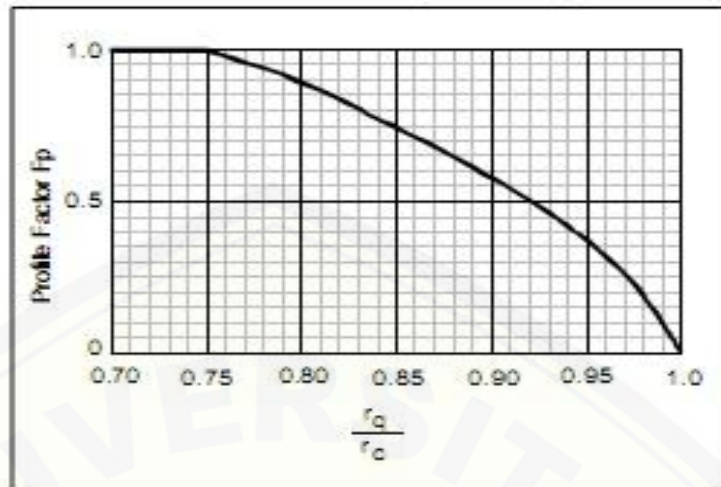


Figure 3/4 Profile Factor

Gambar 2.3 Faktor profil (sumber: BA 16/97 amandemen 2)

Faktor material (Fm). Diperoleh dari rumus:

$$F_m = \frac{(F_b \cdot d) + (F_f \cdot h)}{d+h} \tag{2.5}$$

Nilai Fb dan Ff dapat diperoleh dari tabel 2.1 dan 2.2.

Tabel 2.1 Faktor Barrel

| Lengkung Barrel | Faktor Barrel (Fb) |
|--|--------------------|
| Granit dan whinstone yang tersusun acak atau rapi dan semua terbuat dari masonry kecuali batu kapur, semua menggunakan balok-balok pembentuk kelengkungan yang berbentuk besar | 1,5 |
| Mengandung batu pasir bersilika | 1,4 |
| Beton# atau batu bata rekayasa dan ukuran masonry yang sama (bukan batu kapur) | 1,2 |
| Batu kapur, yang tersusun acak atau rapi, mengandung kapur pasir ashlar, masonry yang tersusun acak secara baik dan dibangun dari batu bata, semua dalam kondisi baik | 1,0 |
| Bagian dari masonry dalam keadaan kurang baik (banyak balok-balok pembentuk kelengkungan yang | 0,7 |

terkelupas atau pecah, bergeser, dll).

lengkung beton biasanya pada konstruksi yang relatif baru dan penilaiannya harus didasarkan pada perhitungan desain jika ada.

Tabel 2.2 Faktor Isi

| Isian | Faktor Isi (Ff) |
|---|-----------------|
| Beton# | 1,0 |
| Material untuk grouted (selain dengan kandungan tanah liat) | 0,9 |
| Material yang terpadatkan dengan baik* | 0,7 |
| Material yang lemah dari permukaan jalan kendaraan | 0,5 |

Keterangan:

faktor isi untuk beton adalah kurang dari faktor barrel yang memungkinkan kurangnya ikatan dalam lengkungan.

* ketika menaksirkan sebuah lengkung untuk berat resmi kendaraan, kecuali detail dari material pengisi yang diketahui atau ada bukti kelemahan dari kondisi permukaan jalan, disarankan dengan nilai faktor tersebut. Jika lengkung kemudian membutuhkan pembatas, investigasi lebih lanjut harus dilakukan untuk melihat jika kekuatan bisa ditingkatkan.

Faktor joint (Fj). Kekuatan dan stabilitas lengkung tergantung pada ukuran dan kondisi joint. Mortar dari kapur umumnya digunakan pada konstruksi jembatan. Walaupun lebih lembut dari mortar semen dan memiliki kekuatan lebih rendah namun baik untuk bahan pengisi joint, distribusi beban yang baik, dan fleksibel untuk gerakan jembatan dan permukaan tanah. Faktor joint Fj diperoleh dari rumus:

$$F_j = F_w \cdot F_d \cdot F_{m0} \quad (2.6)$$

Nilai yang sesuai dengan F_w dan F_{m0} dapat diperoleh dari table 2.3 dan 2.4 Faktor kedalaman F_d dapat 1,0 untuk menunjukkan joint dalam keadaan baik atau dapat diambil dari tabel 2.5.

Tabel 2.3 Faktor lebar

| Lebar joint | Faktor lebar (Fw) |
|---|--------------------------|
| Joint dengan lebar lebih dari 6 mm | 1,0 |
| Joint dengan lebar antara 6 mm sampai 12,5 mm | 0,9 |
| Joint dengan lebar lebih dari 12,5 mm | 0,8 |

Tabel 2.4 Faktor mortar

| Kondisi joint | Faktor mortal (Fmo) |
|---------------------------|----------------------------|
| Mortar dalam kondisi baik | 1,0 |
| Longgar atau mudah pecah | 0,9 |

Tabel 2.5 Faktor kedalaman

| Konstruksi joint/sendi | Faktor kedalaman (Fd) |
|--|------------------------------|
| Tidak dikatakan persendian, menunjukkan dalam kondisi buruk dan sendi yang lebih dari 12,5 mm dari ujung yang kurang cukup terisi. | 0,9# |
| Sendi sama dengan 12,5 mm untuk sepersepuluh dari ketebalan barrel yang kurang terisi | 0,8# |
| Sendi yang kurang terisi untuk lebih dari sepersepuluh dari ketebalan barrel | Di + kebijakan insinyur |

Keterangan:

interpolasi antara nilai tersebut diperbolehkan, tergantung pada tingkat dan posisi sendi yang kurang.

+ $Fd = \left[\frac{d-d_j}{d}\right]^2$ dimana d adalah ketebalan barrel dan d_j adalah kedalaman mortal yang hilang di sendi.

Faktor kondisi (FcM)

Umum

Faktor estimasi sebelumnya didasarkan pada informasi kuantitatif yang diperoleh dari pemeriksaan strukturnya. Tetapi factor untuk kondisi jembatan jauh lebih tergantung pada jenis keretakan dan deformasi yang mungkin terjadi dan sejauh mana dapat diimbangi dengan indikasi bahan yang baik dan pengerjaannya. Perkiraan kuantitatif dari factor kondisi

lengkung F_cM harus dibuat oleh insinyur. Nilai yang telah ditetapkan adalah 0 dan 1,0. Faktor rendah harus dipilih untuk jembatan yang rusak parah sedangkan nilai 1,0 diambil untuk lengkung yang masih baik.

Kerusakan yang mempengaruhi stabilitas dan kapasitas pembebanan pada lengkung.

Rentang dari factor kondisi yang diberikan di bawah ini untuk pola retak akibat sebab-sebab tertentu:

1. Retak longitudinal di abudmen. Berbahaya jika besarnya > 3 mm karena menunjukkan bahwa barrel retak menjadi beberapa bagian. Jika diindikasikan bahwa retaknya 1 m atau kurang maka factor 0,4 (atau kurang) harus digunakan. Faktor 0,4 – 0,6 digunakan untuk keretakan lebih dari 1 m.
2. Retak lateral atau deformasi permanen dari lengkung karena kegagalan parsial lengkung atau gerakan di abudmen. Faktor kondisinya 0,6 – 0,8.
3. Retak diagonal. Biasanya muncul di sisi dekat kelengkungan dan menyebar ke arah puncak kelengkungan. Penyebabnya karena penurunan tanah di sisi abudmen. Faktor kondisinya 0,3 – 0,7.
4. Retak di bagian seperempat. Faktor kondisi 0,8.

2.3.1.3 Aplikasi

Untuk menentukan beban gandar yang dimodifikasi adalah dengan rumus:

$$\text{Kapasitas maksimum} = F_{sr} \cdot F_p \cdot F_m \cdot F_j \cdot F_{cM} \cdot PAL \quad (2.7)$$

2.4 Software ANSYS

ANSYS adalah aplikasi multifisika general nonlinier menampilkan analisis struktur dan termodinamika, analisis aliran kontinum, analisis

elektrostatik, dan analisis medan elektromagnetik. Semua analisis tersebut dapat dilakukan sendiri, atau berkat ANSYS multiphysics menggunakan pendekatan dalam satu analisis yang komprehensif. ANSYS memungkinkan untuk melakukan tidak hanya memvalidasi perhitungan, namun berkat model perhitungan parametrik bahkan untuk analisis optimasi dan sensitivitas serta analisis keandalan.

Tutorial ANSYS Workbench 15.0.7 untuk mengetahui deformasi struktur atas jembatan lengkung batu bata / masonry:

1. Buka software ANSYS workbench 15.0.7
2. Klik 2x menu static structural pada toolbox Analisis system, maka akan muncul di lembar kerja Project Schematic
3. Klik 2x pada Engineering Data, maka akan muncul lembar kerja Engineering Data
4. Buat/tulis jenis material baru pada kolom Click Here to Add a New Material pada lembar kerja Outline of Schematic A2: Engineering Data. Klik enter
5. Klik 2x menu Density pada toolbox menu Physical Properties, maka akan muncul pada lembar kerja Properties of Outline Row 4:a
6. Klik 2x menu Isotropic Elasticity pada toolbox menu Linier Elastic, maka akan muncul pada lembar kerja Properties of Outline Row 4:a
7. Isi angka pada kolom Value dan ganti satuan pada kolom Unit yang ada pada lembar kerja Properties of Outline Row 4:a. Contoh di gambar di bawah ini:

The image shows two screenshots from the ANSYS Engineering Data software. The top screenshot is titled "Outline of Schematic A2: Engineering Data" and displays a tree view of materials. The bottom screenshot is titled "Properties of Outline Row 3: Brick Masonry" and shows a table of material properties.

| | A | B | C | D |
|---|----------------------------------|--------------------------|--------|---|
| 1 | Contents of Engineering Data | | Source | Description |
| 2 | Material | | | |
| 3 | Brick Masonry | <input type="checkbox"/> | | |
| 4 | Brick Masonry Spandrel | <input type="checkbox"/> | | |
| 5 | Structural Steel | <input type="checkbox"/> | | Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1 |
| * | Click here to add a new material | | | |

| | A | B | C | D | E |
|---|----------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | Property | Value | Unit | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2 | Density | 1800 | kg m ⁻³ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3 | Isotropic Elasticity | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4 | Derive from | Young's Modulu... | | | |
| 5 | Young's Modulus | 2200 | MPa | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6 | Poisson's Ratio | 0,2 | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7 | Bulk Modulus | 1,222E+09 | Pa | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8 | Shear Modulus | 9,1667E+08 | Pa | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Gambar 2.4 Brick Masonry dan Propertinya

The image shows two screenshots from ANSYS Workbench. The top screenshot is the 'Outline of Schematic A2: Engineering Data' window, which is a table with columns A, B, C, and D. Row 4 is highlighted, showing 'Brick Masonry Spandrel' in column A, a checkbox in column B, and a source icon in column C. The bottom screenshot is the 'Properties of Outline Row 4: Brick Masonry Spandrel' window, which is a table with columns A, B, C, D, and E. Row 7 is highlighted, showing 'Bulk Modulus' in column A, the value '1,2222E+09' in column B, and the unit 'Pa' in column C.

| | A | B | C | D |
|---|----------------------------------|--------------------------|--------|--|
| 1 | Contents of Engineering Data | | Source | Description |
| 2 | Material | | | |
| 3 | Brick Masonry | <input type="checkbox"/> | | |
| 4 | Brick Masonry Spandrel | <input type="checkbox"/> | | |
| 5 | Structural Steel | <input type="checkbox"/> | | Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110. 1 |
| * | Click here to add a new material | | | |

| | A | B | C | D | E |
|---|----------------------|-------------------|--------------------|---|---|
| 1 | Property | Value | Unit | | |
| 2 | Density | 1600 | kg m ⁻³ | | |
| 3 | Isotropic Elasticity | | | | |
| 4 | Derive from | Young's Modulu... | | | |
| 5 | Young's Modulus | 2200 | MPa | | |
| 6 | Poisson's Ratio | 0,2 | | | |
| 7 | Bulk Modulus | 1,2222E+09 | Pa | | |
| 8 | Shear Modulus | 9,1667E+08 | Pa | | |

Gambar 2.5 Brick Masonry Spandrel dan Propertinya

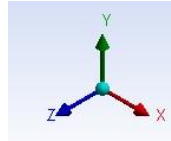
8. Kalau sudah klik menu Project di sebelah kanan atas, maka akan kembali ke lembar kerja Project Schematic
9. Klik 1x Geometry pada Static Struktural, maka akan muncul Properties of Schematic A3: Geometry
10. Pilih 2D di kolom Analisis Tipe

The image shows the 'Advanced Geometry Options' dialog box. It has a table with columns for the option name and its value. The 'Analysis Type' is set to '2D', 'Use Associativity' is set to '3D', and 'Import Coordinate Systems' is set to '2D'.

| | Advanced Geometry Options | |
|----|---------------------------|----|
| 15 | Analysis Type | 2D |
| 16 | Use Associativity | 3D |
| 17 | Import Coordinate Systems | 2D |
| 18 | | |

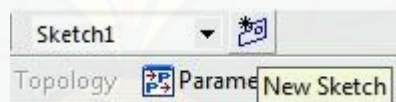
Gambar 2.6 Analysis Type

11. Klik 2x Geometry pada Static Structural, maka akan muncul halaman kerja Geometry
12. Klik 1x di garis sumbu Z agar lembar kerja Graphic hanya ada 2 sumbu yaitu sumbu X horizontal dan sumbu Y vertikal



Gambar 2.7 Sumbu X, Y, dan Z

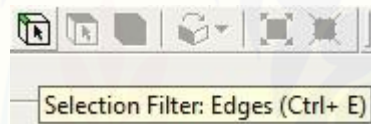
13. Klik 1x XY Plane pada Static Structural
14. Klik Sketching
15. Klik Setting – Grid – Centang di kotak Show in 2D, maka akan muncul garis bantu pada lembar kerja Graphic
16. Klik Draw untuk menggambar, di menu Draw ada banyak pilihan seperti Line, Tangen Line, dll. Untuk garis lurus gunakan Line dan untuk garis lengkung gunakan Spline
17. Gambar sesuai jembatan lengkung yang direncanakan
18. Karena ada 2 struktur penyusun jembatan lengkung batu yang berbeda, maka untuk struktur lengkungnya digunakan Sketch 1 dan urugannya menggunakan Sketch 2.
19. Membuat Sketch 2 dengan klik icon New Sketch di Toolbar



Gambar 2.8 New Sketch

20. Jika ada garis yang tidak lurus maka dapat diluruskan dengan klik Constraints – vertikal (untuk garis vertikal) dan horizontal (untuk garis horizontal) klik pada garisnya sesuai perintah
21. Klik Dimensions – General – klik dan tarik pada garis yang ingin diperlihatkan dimensinya
22. Klik Dimensions – Display – centang di kotak Value & hilangkan centang di kotak Name, agar di dimensi hurufnya hilang dan berganti menjadi angka/nilai

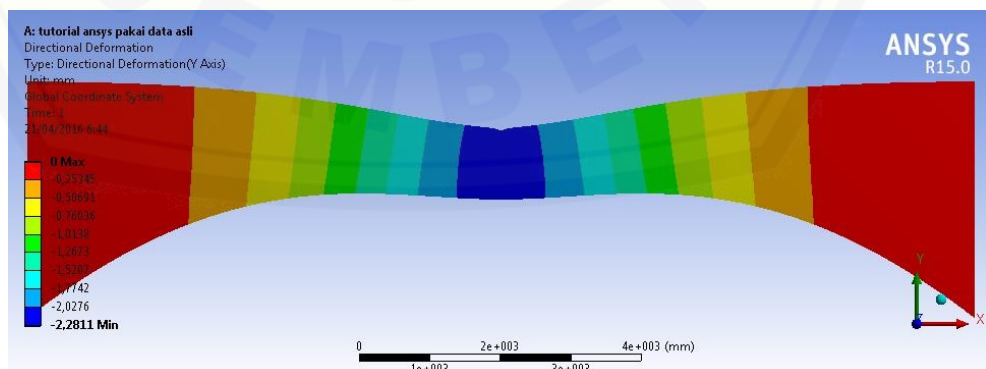
23. Jika dimensinya salah dapat dirubah angkanya di kotak H1, H2, dst serta V1, V2, dst (klik enter setelah merubah angkanya) di Dimension: 2 pada Details View, maka dimensi akan berubah sesuai dengan rencana
24. Klik modeling – klik Sketch 2
25. Klik menu Concept – Surfaces From Sketchs – Klik ke salah satu garis di sketch 2 - Klik Apply di Detail View – klik ke salah satu garis di Sketch 1 - Apply
26. Klik Generate
27. Klik Tools – Face Split – klik di dalam Sketch 2 – klik Apply
28. Klik kotak Total Geometry di Detail View sampai muncul Apply
29. Klik icon Selection Filter: Edge atau tekan Ctrl + E pada keyboard



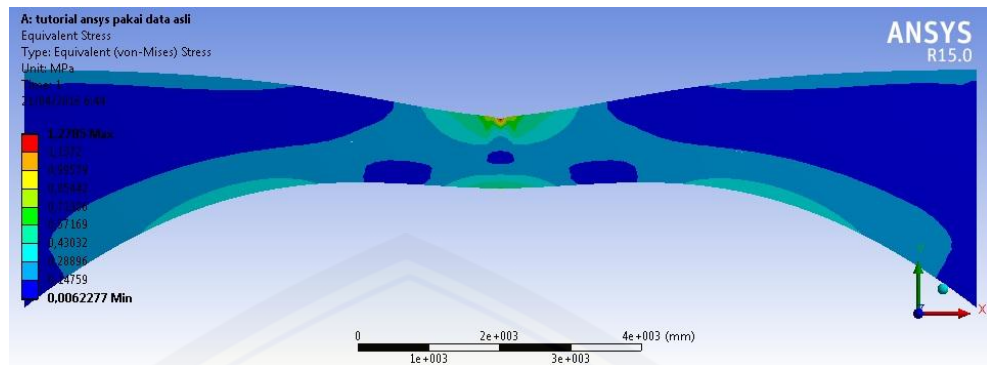
Gambar 2.9 Ctrl + E

30. Klik pada garis tengah di Sketch 2 – klik Apply
31. Klik Generate
32. Close window tanpa save
33. Kembali ke lembar kerja Project Schematic
34. Klik 2x Model, maka akan muncul jendela baru Static Structural: Mechanical
35. Klik kotak + di samping Geometry pada Project
36. Klik Surface Body ke 1 – pada Detail Surface of Body klik kotak Assignment – pilih Brick Masonry
37. Klik Surface Body ke 2 – pada Detail Surface of Body klik kotak Assignment – pilih Brick Masonry Spandrel
38. Klik kanan Mesh – Insert – Sizing
39. Klik kotak Geometry pada Detail of Sizing sampai muncul Apply
40. Klik ke 3 bagian struktur jembatan lengkun batu
41. Klik apply

42. Klik kotak Element Size – isi sesuai keinginan – enter
43. Klik kanan Mesh – Generate Mesh
44. Klik kanan Static Structural – Insert – Fixed Support
45. Klik icon Vertex atau tekan Ctrl + P pada keyboard
46. Klik pada ujung titik tumpuan jembatan lengkung batu
47. Klik Apply
48. Klik kanan Fixed Support – Duplicate
49. Klik ujung satunya lainnya
50. Klik apply
51. Ulangi lagi sampe semua bagian garis ter Fixed Support
52. Klik kanan Static Structure – insert – Force
53. Klik icon Vertex/Node (Ctrl+P)
54. Klik di ujung atas garis tengah urugan/sketch 2
55. Klik apply pada geometry
56. Klik kotak define by, ganti dengan Component
57. Klik dan masukkan beban pada kotak Y component (kalau arah gaya ke bawah diberi tanda -) – enter
58. Klik kanan Solution – insert – deformation – directional
59. Ganti Y axis di kotak Orientation pada Detail of Directional Deformation
60. Klik kanan Solution – insert – stress – equivalen (non-mises)
61. Klik kanan solution – solve
62. Tunggu dan selesai.



Gambar 2.10 Directional Deformation



Gambar 2.11 Equivalent Stress



Project

| | |
|------------------------------|--------------------------|
| First Saved | Thursday, April 21, 2016 |
| Last Saved | Thursday, April 21, 2016 |
| Product Version | 15.0.7 Release |
| Save Project Before Solution | No |
| Save Project After Solution | No |



Print Preview Report Preview

Gambar 2.12 Report Preview

BAB 3.

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Analisa ini menindaklanjuti dari Data Laporan Inspeksi dan Perhitungan *Safe Axle Load* Menggunakan Metode MEXE (*The Military Engineering Experimental*) pada Jembatan *Wolverhampton Railway Drive Arch Bridged* di Inggris oleh AECOM tahun 2014.

Landasan penelitian didasarkan pada kajian pustaka (*literature review*) dari beberapa tulisan ilmiah yang dimuat di jurnal dan peraturan sebagaimana yang tertera dalam daftar pustaka.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah tebal plat lengkung, panjang bentang lengkung, tinggi lengkung, dan ketebalan urugan tanah.

3.3 Langkah-langkah Penelitian

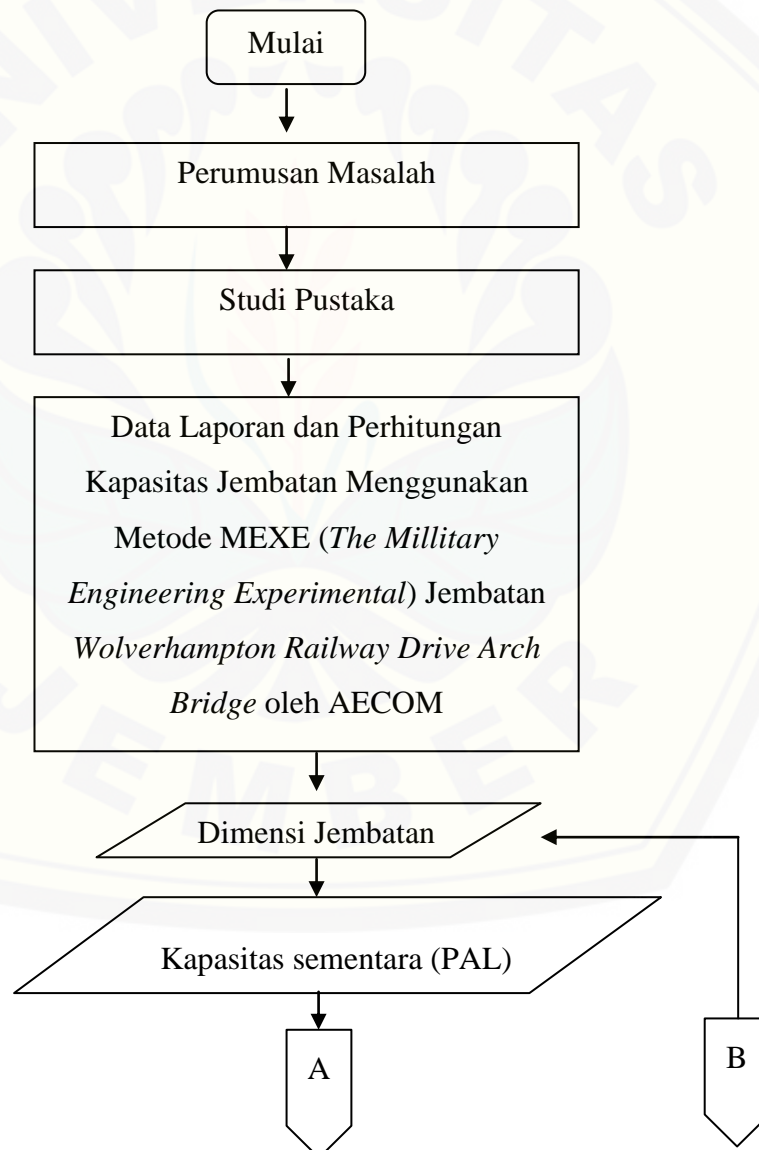
1. Rumusan Masalah

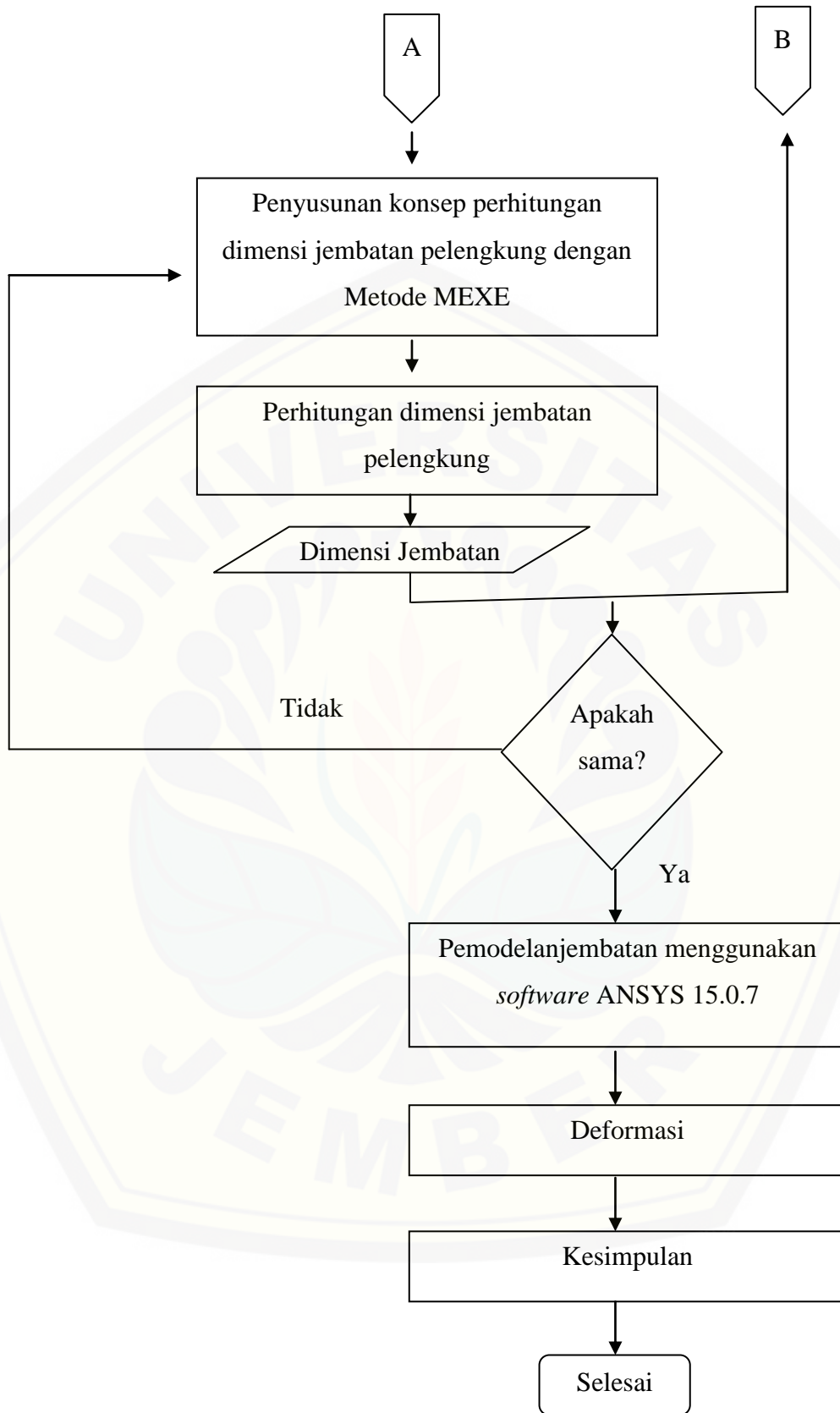
Langkah-langkah menentukan dimensi jembatan lengkung serta perhitungannya menggunakan Metode MEXE (*The Military Engineering eXperimental Establishment*) dan mengetahui deformasi yang terjadi pada struktur jembatan lengkung dari data laporan inspeksi jembatan *Wolverhampton* Inggris menggunakan Software ANSYS.

3.7 Hasil Akhir

Mengetahui langkah-langkah perhitungan untuk menghitung dimensi jembatan lengkung menggunakan metode MEXE (*The Military Engineering eXperimental Establishment*) dan menggunakan *software* ANSYS untuk mengetahui deformasi yang terjadi dari data jembatan Wolverhampton Inggris.

3.8 Bagan Alir





BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan tersebut dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Kapasitas jembatan Wolverhampton Inggris berdasarkan perhitungan kapasitas maksimum berbasis metode MEXE sebesar 14,8505 ton.
- b. Dibutuhkan data berupa kapasitas jembatan dan bentang jembatan untuk mendesain dimensi jembatan lengkung berdasarkan metode MEXE.
- c. Semakin tinggi dimensi R_c dan R_q maka deformasi akan bertambah besar dan sebaliknya apabila semakin rendah dimensi R_c dan R_q maka deformasi akan mengecil.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian penulis dapat memberi saran sebagai berikut:

- a. Dapat menggunakan software struktur lainnya untuk membandingkan besarnya deformasi hasil dari software ANSYS Workbench versi 15.0.7.
- b. Dapat dihitung secara manual dengan metode elemen hingga untuk menghitung deformasi yang terjadi dan hasilnya dapat dibandingkan dengan deformasi dari software ANSYS Workbench versi 15.0.7

DAFTAR PUSTAKA

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

DMRB volume 3 Section 4 Part 4 – BA 16/97. 2001. *The Assessment of Highway Bridges and Structures*. Inggris: Kementerian Transportasi.

Solonaru, Maria., Lungu, Irina., dan Budescu, Mihai. 2015. *Stress Analysis Of Masonry Walls In Case Of Limited Excavation For Foundation Underpinning*. Faculty of Civil Engineering and Building Services “Gheorghe Asachi” Technical University of Iasi.

Martines, Ion Carmona. 2014. *The Evolution of Masonry Bridge Assessment Methodologies*. Ice West Midlands: Ice Graduate & Student Paper Competition 2014.

Sowden, A.M. 1990. *The Maintenance of Brick and Stone Masonry Structures*. Cambridge: University Printing House.

UM Palangkaraya. (Tanpa Tahun). *Modul Konstruksi Bangunan Jembatan Lengkung (arch bridge)*: Fakultas Teknik UM Palangkaraya.