



**KONSEP DESAIN JEMBATAN PELENGKUNG BATU
BERBASIS METODE PIPPARD'S ELASTIC**

SKRIPSI

oleh

**Arga Saputra
NIM 121910301094**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**KONSEP DESAIN JEMBATAN PELENGKUNG BATU
BERBASIS METODE PIPPARD'S ELASTIC**

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

**Arga Saputra
NIM 121910301094**

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

2016

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ayahanda Sukasi dan Ibunda Sri Kustini tercinta yang telah membantu baik moril dan materi, mendoakan, mendidik dan memberi kasih sayang serta pengorbanan yang tidak terhingga;
2. Dosen Pembimbing Skripsi Bapak M. Farid Ma'ruf, S.T., M.T., Ph.D., dan Bapak Dwi Nurtanto, S.T., M.T., atas kesabarannya dalam membimbing penyelesaian skripsi ini;
3. Guru-guruku tercinta TPQ An-Nuur, TK Dharmawanita II Karangrejo, SDN 5 Cluring, SMPN 1 Cluring, SMAN 1 Cluring serta seluruh dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah berbagi dan mengajarkanku ilmu yang sangat bermanfaat untuk masa depanku;
4. Keluarga besar Teknik Sipil Angkatan 2012 yang telah menemani dalam perjuangan bersama untuk menuntut ilmu serta meraih gelar sarjana teknik di Kampus Teknik;
5. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

Dream, Believe and Make It Happen.^{*)}

MENANG ATAU KALAH URUSAN BELAKANGAN, TAPI TAK MENYERAH
ADALAH HARGA MATI.^{**)}

^{*)} Agnes Monica: *Dream, Believe, and Make It Happen* [Berita], *Kapanlagi*, 21 Desember 2012.

^{**)} Merry Riana, *Langkah Sejuta Suluh* (Jakarta: PT Graha Pustaka Mdia, 2014), hlm. 346.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Arga Saputra

NIM : 121910301094

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Konsep Desain Jembatan Pelengkung Batu Berbasis Metode *Pipard’s Elastic*” 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,

Arga Saputra
NIM 121910301094

SKRIPSI

**KONSEP DESAIN JEMBATAN PELENGKUNG BATU
BERBASIS METODE PIPPARD'S ELASTIC**

oleh

Arga Saputra
NIM 121910301094

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 *Pippard’s Elastic*” 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 Pippard's Elastic; Arga Saputra, 121910301094; 2016: 36 halaman; Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

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 *pippard's elastic*. Metode tersebut digunakan untuk menghitung kapasitas jembatan pelengkung batu berupa *safe axle load*. Namun sampai saat ini belum ada bahasan tentang konsep desain jembatan pelengkung batu. Oleh karena itu, perlu dilakukan penyusunan konsep desain jembatan pelengkung batu menggunakan salah satu metode perhitungan kapasitas beban jembatan pelengkung batu yaitu metode *pippard's elastic* serta dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi dimensi elemen struktur jembatan pelengkung batu terhadap deformasi yang terjadi sehingga dapat digunakan untuk perkiraan pengambilan dimensi yang digunakan.

Penelitian dilakukan menggunakan data sekunder dari AECOM yaitu data *Wolverhampton City Centre Extension Railway Drive Arch Bridge Structural Assesment*. Pertama dilakukan perhitungan kapasitas beban *Railway Drive Arch Bridge* menggunakan metode *pippard's elastic*. Setelah itu dilakukan penyusunan konsep desain jembatan pelengkung batu dan dilakukan perhitungan dimensi jembatan pelengkung batu dengan beban rencana berupa *safe axle load* hasil dari perhitungan menggunakan metode *pippard's elastic*. Kedua dilakukan analisis deformasi yang terjadi menggunakan bantuan *software ANSYS 15.0* serta dilakukan

analisis deformasi yang terjadi dengan variasi dimensi ketebalan pelengkung dan tinggi *spandrel*.

Hasil penyusunan konsep desain jembatan pelengkung batu merupakan tahapan dan tata cara perhitungan dimensi struktur atas jembatan pelengkung batu. Adapun hasil penyusunan konsep desain jembatan pelengkung yaitu yang pertama dibutuhkan data lapangan berupa lebar sungai (l), beban rencana (W_A), berat isi material yang digunakan (σ) dan tegangan batas material (f). Kedua, dilakukan perhitungan tinggi pelengkung pada setengah bentang ($rc=1/4l$). Ketiga, dilakukan perhitungan tinggi pelengkung pada seperempat bentang ($rq=3/4rc$). Keempat, dilakukan perhitungan tebal pelengkung ($d=1/4rc$) dan yang terakhir adalah perhitungan tinggi *spandrel* (h) dengan interpolasi dari asumsi nilai h . Sedangkan hasil analisis deformasi yang terjadi akibat variasi dimensi ketebalan pelengkung dan tinggi *spandrel* menggunakan *software* ANSYS 15.0 yaitu semakin tebal dimensi *spandrel* maka *deformasi* maupun lendutanyang terjadi semakin kecil, sebaliknya semakin kecil dimensi *spandrel* maka *deformasi* maupun lendutan yang terjadi semakin besar. Sama halnya dengan pengaruh variasi ketebalan pelengkung terhadap deformasi yang terjadi yaitu semakin tebal dimensi pelengkung maka *deformasi* maupun lendutanyang terjadi semakin kecil dan sebaliknya semakin kecil dimensi pelengkung maka *deformasi* maupun lendutanyang 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 *safe axle load* yang sama maka *deformasi* serta lendutan yang terjadi semakin kecil.

SUMMARY

Design Concept Masonry Arch Bridge Based Pippard's Elastic Method; Arga Saputra, 121910301094; 2016: 36 halaman; Departement of Civil Engineering; Faculty of Engineering, University of Jember.

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 pippard's elastic method. The method used to calculate the capacity of masonry arch bridge in the form of safe axle load. But so far there has been no discussion about masonry arch bridge design concept. Therefore, the need for the preparation of masonry arch bridge design concepts using one of the methods of calculation of the load capacity of the masonry arch bridge pippard's elastic method and do research to find out the influence of the variation of dimension masonry arch bridge structure elements against deformation that occurs so it can be used to estimate the uptake of dimensions are used.

The research was conducted using data from secondary data AECOM Wolverhampton City Centre Extension Railway Drive Arch Bridge Structural Assesment. The first calculation of the load capacity of the Railway Drive Arch Bridge using pippard's elastic method. After that is done the preparation of masonry arch bridge design concept and do the calculation of dimension masonry arch bridges with load plan be safe axle load results from the calculation using the pippard's elastic method. The two performed the analysis of the deformations that occur using the assistance software ANSYS 15.0 as well as conducted the analysis of deformation

that occurs with variations in the dimensions of the arch thickness and height of spandrel.

The results of the preparation of the masonry arch bridge design concept is the stages and procedures for the calculation of dimension masonry arch bridge upper structure. As for the results of the drafting of the arch bridge design concept that is the first one required field data in the form of wide river (l), the load plan (W_A), unit weight of material (σ) and compressive limiting stress (f). Second, do the calculation of high arch at half span ($rc=1/4l$). Third, do the calculation of high arch on one-quarter span ($rq=3/4rc$). Fourth, do the calculation of thick arch ($d=1/4rc$) and the last one is the calculation of the height of spandrel (h) with interpolation from assuming the value of h . While the results of the analysis of the deformations that occur due to variations in the dimensions of the arch thickness and height of spandrel using software ANSYS 15.0 namely the thicker dimensions spandrel then deformation that occurs is getting smaller, conversely the smaller dimensions of the spandrel thus deformations happens. As well as the influence of variations in the thickness of the arch against deformation that occurs that is thicker then the arch dimensions deformation or lendutan happens is getting smaller and instead the smaller dimensions of the arch then deformation happens. It is caused due to the thicker an element then the area spreading the work load distribution is increasingly widely so that the spool capacity load acting on the structure is so large, the safe load with the same axle load then the deformations happened is getting smaller.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Konsep Desain Jembatan Pelengkung Batu Berbasis Metode *Pippard's Elastic*”. 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 ucapan terima kasih kepada:

1. M. Farid Ma'ruf, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Dwi Nurtanto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, perhatian serta saran dalam penulisan skripsi ini;
2. Dr. RR. Dewi Junita K, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji Utama, dan Anita Trisiana, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, perhatian serta saran dalam penulisan skripsi ini;
3. Ir. Krisnamurti, M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik semester satu sampai semester empat dan Sri Wahyuni, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik semester lima sampai semester delapan yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, sarana dan prasarana selama pengerjaan skripsi ini;
5. Ayahanda Sukasi dan Ibunda Sri Kustini tercinta yang telah membantu baik moril dan materi serta mendoakan hingga terselesaikannya skripsi ini;
6. rekan sepembimbing Ahmad Faisol Zulqowim, Alifa Nur M, Hammas Jericho Gaza Auriri, Kiswara Rore Amaral, Moh. Luki Firman dan Rena Yunissa Larasati yang telah bersatu dan berjuang bersama serta memberi dorongan/semangat

selama proses pembimbingan skripsi serta seluruh teman-teman Teknik Sipil 2012;

7. teman-teman terbaikku Agus Setiawan (Suga), Ari Trisna Sanubari, Hendra Andiananta P, Lya Martha Hayu, Moh. Nazil Ramadhan, Novi Wahyuningtyas, Yusi Putra Darmawan, seluruh manajemen ENGINEER STORE INDONESIA serta teman-teman KKN 35 Akhmad Saifudin Zuhri, Henggar Allest Pratama, Novitasari, Risky Ari Kriswardani, Riska Farazona, Rizky Hidayat dan Yuliati yang selalu mendoakan dan memberi semangat dalam pengerjaan skripsi ini;
8. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis 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	xiv
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.....	2
BAB 2. LANDASAN TEORI	
2.1 Tinjauan Umum	3
2.2 Pengertian Jembatan Pelengkung (<i>Arch Bridge</i>)	3
2.3 Jembatan Pelengkung Batu (<i>Masonry Arch Bridge</i>)	4
2.4 Pippard's Elastic Method	7
2.5 <i>Analysis System Static Structural ANSYS 15.0</i>	13

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Pustaka	18
3.2 Pengolahan Data	18
3.3 Analisis	19
3.3.1 Analisis Hasil Penyusunan Konsep Desain Jembatan Pelengkung Batu Berbasis Metode <i>Pippard's Elastic</i>	19
3.3.2 Analisis <i>Deformasi</i> Menggunakan <i>Software ANSYS</i> 15.0.....	20
3.3.2.1 <i>Analysis System</i>	21
3.3.2.2 <i>Engineering Data</i>	21
3.3.2.3 <i>Geometri</i>	22
3.3.2.4 <i>Model</i>	22
3.3.2.5 <i>Results</i>	23
3.4 Penarikan Kesimpulan	23

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Jembatan	25
4.2 Perhitungan <i>Safe Axle Load (W_A)</i>	25
4.3 Analisis Balik Metode <i>Pippard's Elastic</i>	26
4.4 Pemodelan Jembatan Menggunakan ANSYS 15.0	32
4.5 Pengaruh Variasi Dimensi <i>Spandrel</i> Terhadap <i>Deformasi</i>	35

BAB 5. PENUTUP

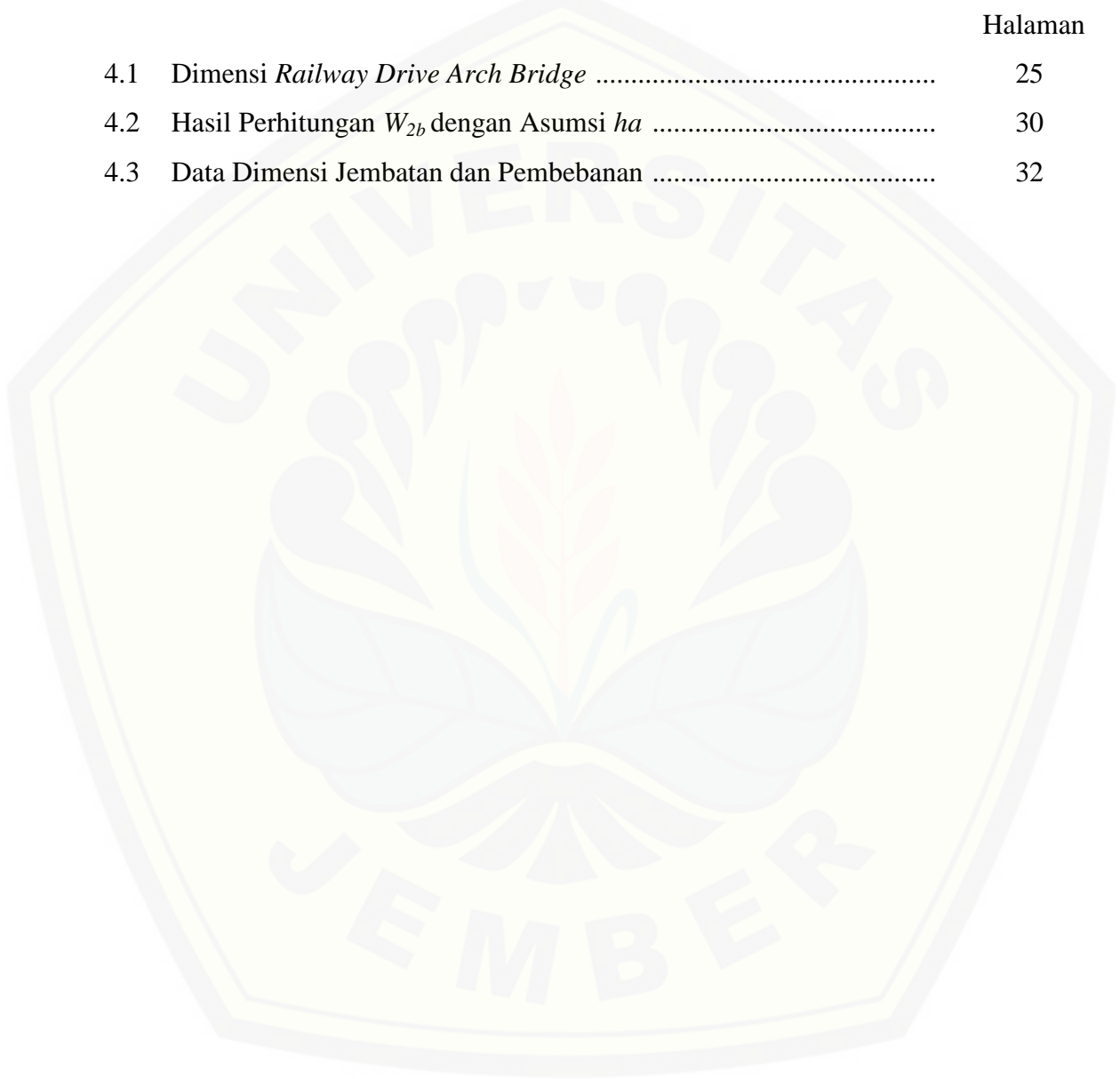
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	38

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
4.1 Dimensi <i>Railway Drive Arch Bridge</i>	25
4.2 Hasil Perhitungan W_{2b} dengan Asumsi <i>ha</i>	30
4.3 Data Dimensi Jembatan dan Pembebanan	32

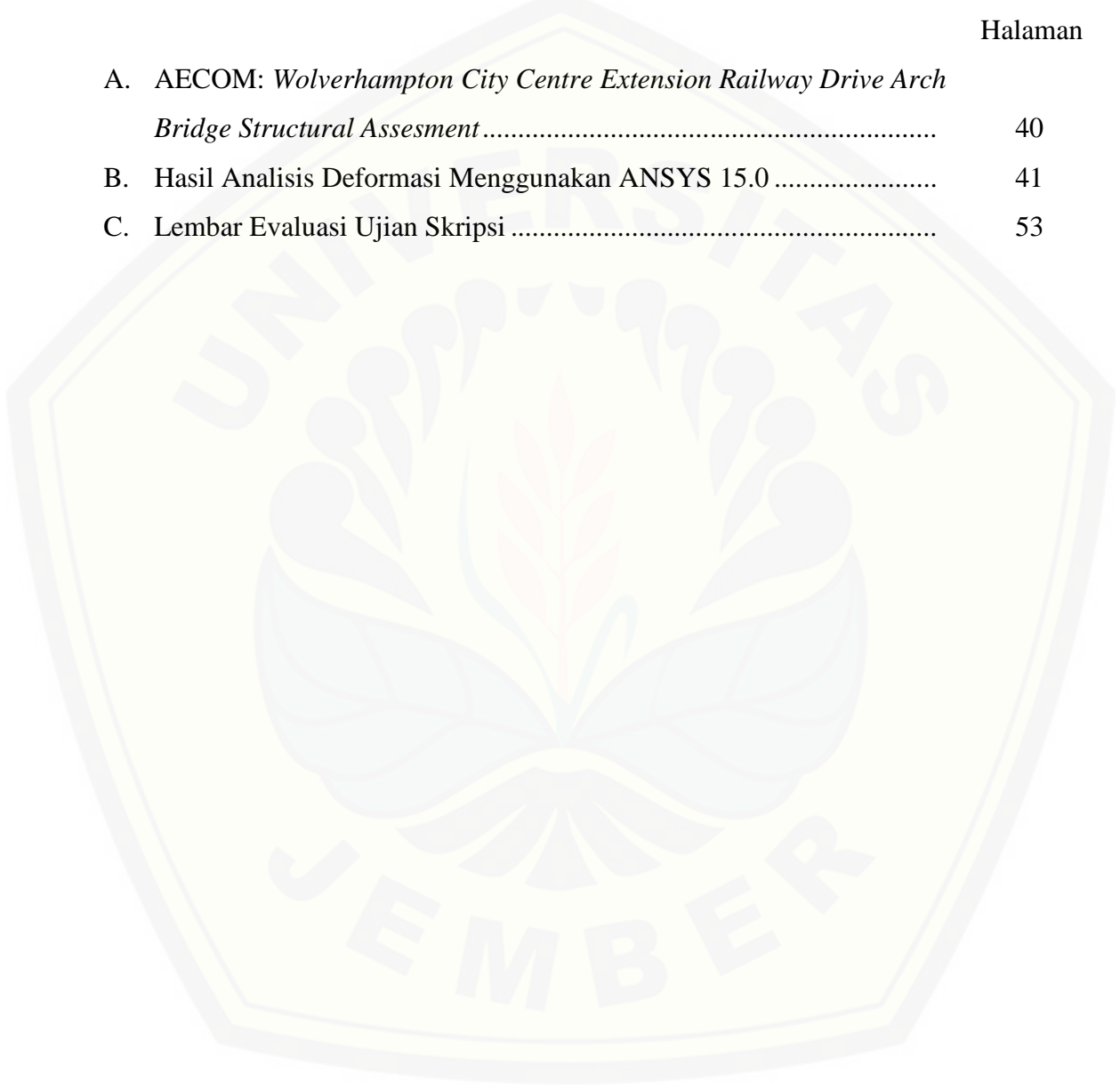


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Tipe-tipe jembatan lengkung.....	3
Gambar 2.2 Bagian-bagian jembatan pelengkung batu	5
Gambar 2.3 <i>Voussoir</i> dan <i>parapet</i> pada Pontypridd	5
Gambar 2.4 Clare College Bridge, Cambridge; Thomas Grumbold, 1638-40.....	6
Gambar 2.5 Masalah struktur jembatan pelengkung.....	7
Gambar 2.6 Notasi bagian-bagian jembatan pelengkung	8
Gambar 2.7 Perletakan beban W	8
Gambar 2.8 Perbedaan koordinat antara garis leleh dan pusat garis pelengkung	10
Gambar 2.9 <i>Analysis system static structural</i>	14
Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian.....	16
Gambar 3.2 Diagram alir <i>analysis system static structural</i> ANSYS 15.0	20
Gambar 4.1 Diagram alir perhitungan dimensi jembatan	28
Gambar 4.2 <i>Sketching</i> model jembatan.....	32
Gambar 4.3 Statika model jembatan pelengkung batu hasil perhitungan	33
Gambar 4.4 <i>Directional deformation</i>	33
Gambar 4.5 <i>Equivalent Stress</i>	34
Gambar 4.6 Grafik perbandingan variasi dimensi <i>spandrel</i> terhadap <i>deformasi</i>	35

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. AECOM: <i>Wolverhampton City Centre Extension Railway Drive Arch Bridge Structural Assesment</i>	40
B. Hasil Analisis Deformasi Menggunakan ANSYS 15.0	41
C. Lembar Evaluasi Ujian Skripsi	53



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan pelengkung batu (*masonry arch bridge*) pertama kali dibangun pada tahun 1746 oleh William Edwards di Pontypridd. Bahkan sampai saat ini jembatan pelengkung batu juga masih berkembang diseluruh dunia, termasuk di Indonesia masih banyak sekali ditemukan jembatan-jembatan pelengkung batu peninggalan orang-orang terdahulu. Jembatan pelengkung batu banyak berkembang karena strukturnya lebih kuat dibandingkan jembatan biasa dalam menerima beban tekan dari atas jembatan.

Semakin berkembangnya jembatan pelengkung batu juga membuat metode perhitungan kapasitas jembatan pelengkung batu banyak bermunculan. Metode-metode tersebut banyak dikembangkan untuk evaluasi keadaan jembatan. Menurut Heyman (dalam *The Masonry Arch*, 1982) metode perhitungan kapasitas jembatan pelengkung batu pertama kali dibuat oleh Pippard pada tahun 1943 yaitu metode *pippard's elastic*. Metode tersebut dibuat dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Pippard terhadap jembatan-jembatan pelengkung batu yang ada di Eropa. Hasil perhitungan dari metode tersebut berupa beban aman jembatan atau *safe axle load*. Beban aman tersebut adalah beban terpusat maksimal yang mampu ditahan oleh jembatan pelengkung batu di tengah bentang.

Selain metode *pippard's elastic* masih banyak metode-metode lain yang juga digunakan untuk perhitungan kapasitas beban jembatan pelengkung batu. Namun sampai saat ini belum ada bahasan tentang perhitungan dimensi struktur atas jembatan pelengkung batu. Bukan bermaksud untuk membandingkan metode-metode perhitungan kapasitas jembatan pelengkung batu, tetapi untuk mengetahui konsep desain dimensi struktur atas jembatan pelengkung batu maka dalam skripsi ini akan

dilakukan penyusunan konsep desain jembatan pelengkung batu berbasis metode *pippard's elastic*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, penulis merumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana konsep desain jembatan pelengkung batu berbasis metode *pippard's elastic*?
2. Bagaimana pengaruh variasi dimensi *spandrel* dan ketebalan pelengkung terhadap *deformasi* yang terjadi?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat konsep desain jembatan pelengkung batu berbasis metode *pippard's elastic*.
2. Mengetahui pengaruh variasi dimensi *spandrel* dan ketebalan pelengkung terhadap *deformasi* yang terjadi menggunakan *software ANSYS 15.0*.

1.4 Batasan Masalah

Agar masalah dalam penelitian ini menjadi lebih sederhana, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penyusunan konsep perhitungan dimensi struktur atas jembatan pelengkung batu menggunakan analisis balik metode *pippard elastic*.
2. Material jembatan pelengkung berupa *brick masonry*, tanpa menghitung dimensi unit *brick masonry*.
3. Pemodelan jembatan untuk menganalisis *deformasi* yang terjadi menggunakan *software ANSYS 15.0* tanpa membandingkan dengan perhitungan manual.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

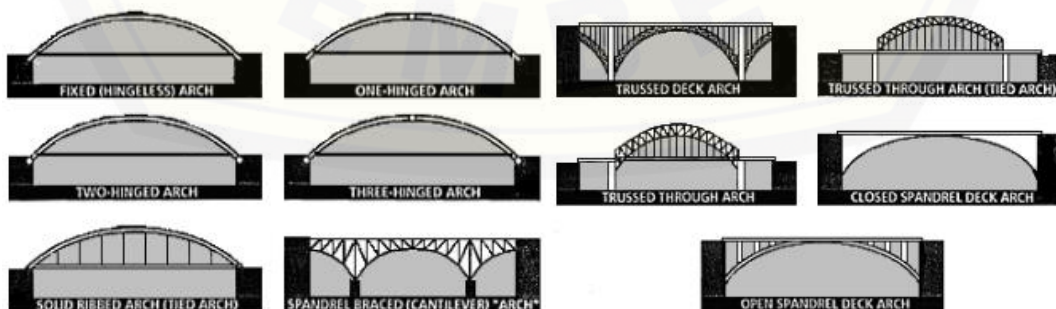
2.1 Tinjauan Umum

Jembatan merupakan suatu konstruksi atau struktur bangunan yang menghubungkan rute/lintasan transportasi yang terpisah baik oleh sungai, rawa, danau, selat, saluran, jalan raya, jalan kereta api, atau perlintasan lainnya.

Berdasarkan UU 38 Tahun 2004, bahwa jalan dan juga termasuk jembatan sebagai bagian dari sistem transportasi nasional mempunyai peranan penting terutama dalam mendukung bidang ekonomi, sosial dan budaya serta lingkungan yang dikembangkan melalui pendekatan pengembangan wilayah agar tercapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan antar daerah. Salah satunya adalah untuk kemudahan akses jalan diperkebunan, karena medan perkebunan yang relatif tergolong dataran tinggi dan banyak sungai-sungai kecil.

2.2 Pengertian Jembatan Pelengkung (*Arch Bridge*)

Jembatan lengkung/busur (*arch bridges*) adalah suatu tipe jembatan yang menggunakan prinsip kestabilan dimana gaya-gaya yang bekerja di atas jembatan di transformasikan ke bagian akhir lengkung atau *abutment*. 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)

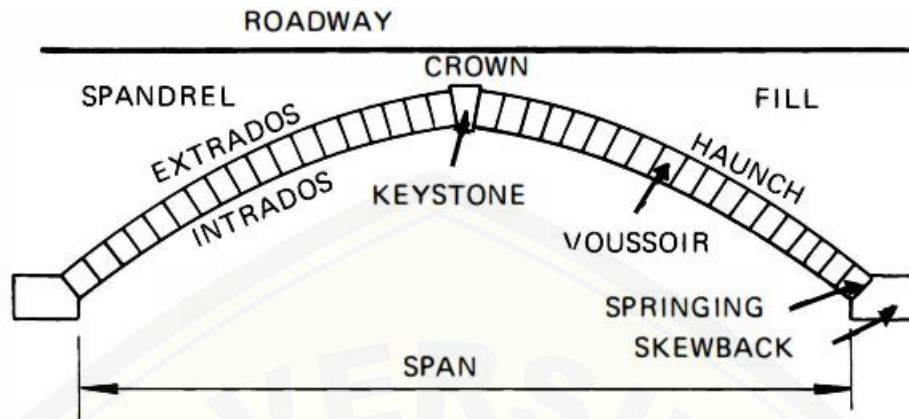
- 1) *Fixed arch*,
- 2) *One-hinged arch*,
- 3) *Trussed deck arch*,
- 4) *Trussed through arch (tied arc)*,
- 5) *Two-hinged arch*,
- 6) *Three-hinged arch*,
- 7) *Trussed through arch*,
- 8) *Closed spandrel deck arch*,
- 9) *Solid ribbed arch (tied arch)*,
- 10) *Spandrel braced (cantilever) arch*,
- 11) *Open spandrel deck arch*.

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 Jembatan Pelengkung Batu (*Masonry Arch Bridge*)

Jembatan pelengkung batu dibangun diatas perancah sementara, atau terpusat. Pusat ini secara tradisional terbuat dari balok kayu dengan potongan atau beberapa perangkat yang sama, untuk menghilangkan perancah setelah pelengkung selesai dibuat.

Cincin pelengkung itu sendiri yang membentuk komponen struktur dasar jembatan, terdiri dari *voussoirs* berbentuk baji (lihat Gambar 2.2). Pemotongan *voussoir* harus sangat hati-hati pada saat digunakan untuk bentang yang besar dan dirakit dengan sedikit mortar. Dalam kasus Pontypridd, *voussoir* sangat tipis (lihat Gambar 2.3), dan *voussoir* tersebut tidak perlu berbentuk baji untuk mencapai kelengkungan cincin lengkung.

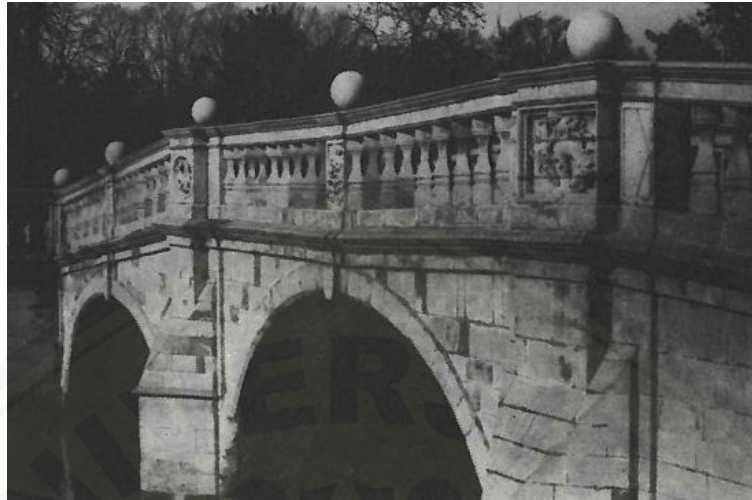


Gambar 2.2 Bagian-bagian jembatan pelengkung batu (Sumber: Jacques Heyman, 1982)



Gambar 2.3 *Voussoir* dan *parapet* pada Pontypridd (photographed by Ted Ruddock, reproduced by permission of Cambridge University Press) (Sumber: Jacques Heyman, 1982)

Sebaliknya, biasanya *voussoir* jembatan pelengkung memiliki cincin yang relatif terbentuk dari batu tebal (lihat Gambar 2.4), seperti Jembatan Clare Collage (1638). *Keystone* mempunyai signifikansi konstruksi khusus yang merupakan batu terakhir yang ditempatkan pada pelengkung. *Keystone* sering tapi visualisasi tidak selalu ditekankan oleh perencana karena fungsi struktur ini, bahkan tindakan struktural tidak berbeda dari *voussoir* yang lain, hanya sebagai *link* dalam rangkaian besi tidak berbeda dari *link* yang lain. *Link* akan mengirimkan tegangan sepanjang rangkaian, *voussoirs* akan mengirimkan tekanan sepanjang pelengkung.



Gambar 2.4 Clare College Bridge, Cambridge; Thomas Grumbold , 1638-40 (Sumber: Jacques Heyman, 1982)

Setelah pelengkung selesai dirakit, maka *centering* dapat dihapus. Kemudian beberapa pengisi (urugan) dapat ditempatkan diatas *extrados* diwilayah *abutment*, dalam rangka menstabilkan pelengkung. Keseimbangan pelengkung mungkin lemah, dan perawatan harus dilakukan untuk menjaga keseimbangan beban diseluruh bentang. Jembatan ketiga di Pontypridd terlalu banyak urugan atau beban dipangkal jembatan dan kurang dibagian *crown*. Clare Collage Bridge (lihat Gambar 2.4), dibangun dengan cara yang tidak seimbang, dan tiang jembatan paling barat miring selama konstruksi.

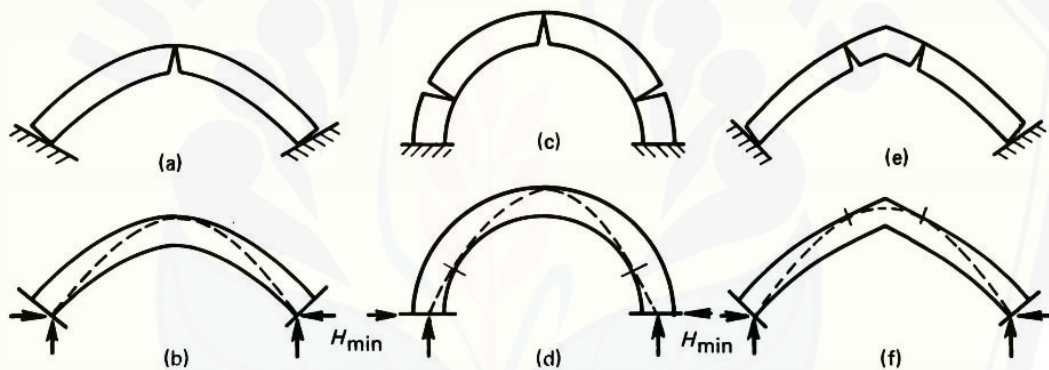
Pada jembatan pelengkung kecil, urugan terdiri dari puing-puing, tanah ataupun kerikil. Urugan dipertahankan oleh *spandrel* yang dibangun pada dua sisi pelengkung. Urugan tidak dapat bertindak secara struktural, walaupun dalam kenyataannya beban diaplikasikan kepermukaan jalan kemudian menyebar melalui urugan dan diteruskan ke *extrados* jembatan. Jembatan yang lebih besar, serangkaian dinding bata paralel dapat dibangun diatas pelengkung dan dinding-dinding ini yang akan memuat jalan.

Elevasi (lihat Gambar 2.2) dapat disamakan diseluruh jembatan. Cincin lengkungan paralel tidak dapat selalu berdiri sendiri, *voussoirs* biasanya memiliki

panjang *axial* yang berbeda, jadi antara cincing pelengkung satu dengan yang lain akan berpaut atau mengikat satu sama lain sehingga membentuk pelengkung prismatic yang terus-menerus.

2.4 Pippard's Elastic Method

Pippard dimulai dari pengamatan bahwa penyebaran beban ke *abutment* dari lengkungan *voussoir* biasanya akan menghasilkan 'sendi' atau engsel di *abutment*. Namun, Pippard mengabaikan fakta bahwa engsel ketiga juga akan terbentuk, mengubah lengkungan ke dalam statis - tertentu struktur tiga-sendu (lihat Gambar 2.5.(a)); sebaliknya, Pippard menganalisis dua-pin lengkungan.

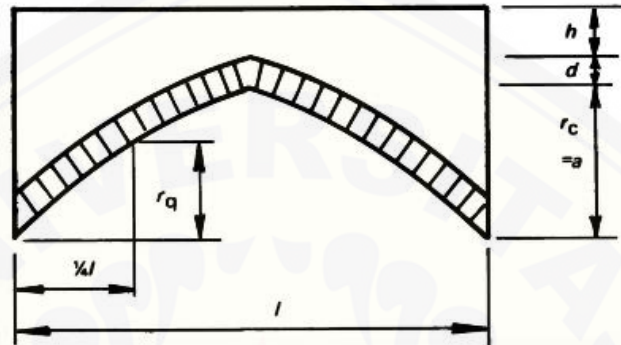


Gambar 2.5 Masalah Struktur Jembatan Pelengkung (Sumber: Jacques Heyman, 1982)

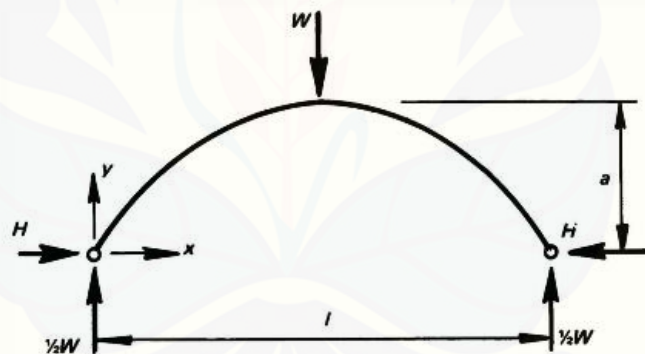
Jembatan yang akan diberlakukan ditunjukkan pada (lihat Gambar. 2.6); permukaan urugan dibuat rata dan untuk tujuan analisis cincin lengkungan yang digantikan oleh dua pin disematkan pusat-garis (lihat Gambar. 2.8). Ini adalah yang pertama dalam serangkaian penyederhanaan yang dibuat oleh Pippard dalam rangka untuk memperoleh nilai yang wajar untuk jumlah struktural; asumsi nya tidak selalu eksplisit, tetapi analisis dirangkum pada tahun 1948 yang direkonstruksi dari bukunya 1943.

Jadi Pippard, seperti Castigliano yang prihatin dengan solusi 'elastis' untuk masalah pelengkung. Tidak seperti Castigliano, namun Pippard adalah konten

untuk menganalisis hipotesis *rib coinciding* bertepatan dengan garis tengah lengkungan, dan Pippard tidak mengikuti secara detail retak batu pada *abutment*. Bahkan, solusi Castigliano untuk berbagai asumsi-asumsi alternatif untuk aturan mortar semua memberikan nilai hingga 4% dari nilai rata-rata.



Gambar 2.6 Notasi bagian-bagian jembatan (Sumber: Jacques Heyman, 1982)



Gambar 2.7 Perletakan Beban W (Sumber: Jacques Heyman, 1982)

Oleh karena itu, beban titik W ditempatkan di puncak lengkungan, (lihat Gambar.2.7) dan ini adalah kasus yang dianggap oleh Pippard yang kemudian momen lentur Mx di setiap bagian dapat ditulis dengan sebutan nilai gaya horizontal pada *abutment* H yang tidak diketahui. Bentuk keharusan lengkungan tentu saja diketahui, dan Pippard mengambil lengkungan menjadi parabola; yaitu analisis terbatas untuk kasus yang $r_q/r_c = 3/4$ (lihat Gambar. 2.7). Selain itu,

Pippard mengabaikan gaya aksial dan gaya geser istilah dalam persamaan energi regangan.

Maka energi regangan diasumsikan benar-benar tergantung pada respon lentur lengkungan, yaitu:

$$U = 2 \int_{x=0}^{x=1/2l} \frac{Mx^2}{2EI} ds \quad (2.1)$$

di mana E adalah modulus elastisitas dan ds adalah kenaikan panjang di sepanjang pelengkung. Dengan demikian nilai reaksi horisontal pada abutment diberikan oleh solusi dari persamaan:

$$\frac{\partial U}{\partial H} = \int_{x=0}^{x=1/2l} \frac{Mx^2}{EI} \frac{\partial Mx}{\partial H} ds = 0 \quad (2.2)$$

Untuk menyederhanakan integral, Pippard mengira bahwa bagian dari pelengkung bervariasi sedemikian rupa sehingga:

$$I = I_0 \frac{ds}{dx} \quad (2.3)$$

Sehingga persamaan 2.2 menjadi:

$$\int_{x=0}^{x=1/2l} Mx \frac{\partial Mx}{\partial H} dx = 0 \quad (2.4)$$

Persamaan (2.3) mengartikan bahwa bagian dari pelengkung meningkat dari *crown* menuju *abutment*. Solusi dari (2.4) untuk kasus beban (lihat Gambar 2.7) memberikan nilai H_L beban hidup reaksi horisontal *abutment*:

$$H_L = \frac{25}{128} \left(\frac{l}{a}\right) W \quad (2.5)$$

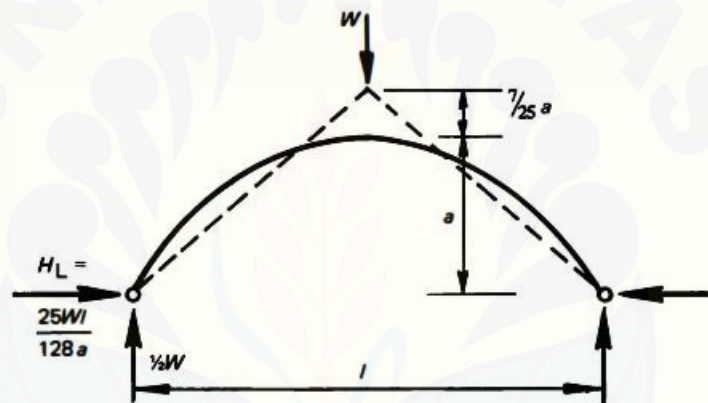
Sejalan dengan itu, nilai momen lentur pada *crown* lengkungan adalah:

$$M_L = -\frac{7}{128} Wl \quad (2.6)$$

di mana tanda negatif menunjukkan bahwa garis leleh terletak di atas lengkungan (momen lentur); solusinya diilustrasikan pada gambar 2.9.

Persamaan (2.5) dan (2.6) adalah hasil yang penting, bila dikombinasikan dengan ekspresi yang sesuai dihasilkan dari berat sendiri dari lengkungan ((2.7) dan (2.8) di bawah ini), yang digunakan oleh Pippard untuk memperkirakan nilai

yang aman dari beban hidup untuk pelengkung dengan bentuk apapun. Perlu dicatat, bahwa hasil ini telah diperoleh dengan menggunakan metode elastis analisis untuk dua-pin lengkungan, untuk pelengkung bentuk parabola, dan untuk variasi penampang sesuai persamaan (2.3). Dalam kenyataannya tidak ada asumsi ini akan banyak berpengaruh pada nilai dorong *abutment* H_L . Namun, momen lentur pada mahkota lengkungan ditentukan oleh perbedaan dalam koordinat antara garis leleh dan pusat garis pelengkung (yaitu, oleh dimensi $7a/25$ pada gambar 2.8), perubahan yang relatif kecil dalam nilai H_L dapat memiliki efek yang jauh lebih besar pada nilai momen lentur.



Gambar 2.8 Perbedaan koordinat antara garis leleh dan pusat garis pelengkung (Sumber: Jacques Heyman, 1982)

Selanjutnya, analisis Pippard terbatas untuk beban titik di pertengahan bentang. Lokasi 'terburuk' untuk beban titik diselidiki lebih lanjut di bawah. Pippard menyadari bahwa dalam teori pada lengkungan paling lemah saat beban titik di sekitar seperempat bentang. Namun, ia berpendapat-cukup-untuk penggunaan hasilnya untuk beban terpusat pada distribusi beban dari permukaan jalan melalui urugan ke pelengkung. Jika sudut baji konvensional diambil 90° untuk penyebaran beban, maka lebar efektif pelengkung ketika beban terjadi di *crown* adalah $2h$. Lebar pelengkung yang lebih besar akan mampu untuk menahan beban titik di seperempat bentang, karena beban akan tersebar melalui ketebalan urugan yang lebih besar.

Nilai-nilai numerik yang dihasilkan dari persamaan (2.5) dan (2.6) harus sesuai jumlah yang timbul dari beban mati dari pelengkung dan urugan. Pippard mengambil lebar jembatan yang sesuai $2h$; maksudnya, ia menganalisis 'rusuk' yang terkandung dalam jembatan, setidaknya pada *crown* dengan menahan beban hidup. Lebih lanjut dia menganggap bahwa urugan tidak memiliki kekuatan struktural, sehingga beban vertikal dianggap langsung membebani pada pelengkung (ini adalah asumsi yang dibuat oleh Inglis, tertulis dalam Bab 3 Buku *The Masonry Arch* karya Jacques Heyman, lihat Gambar 3.5), dan urugan memiliki unit yang sama berat sebagai cincin pelengkung. Lebih lanjut analisis energi regangan kemudian memberikan nilai-nilai gaya horizontal beban mati dan momen lentur pada mahkota sebagai berikut:

$$H_D = \frac{\sigma l^2 h}{a} \left(\frac{a}{21} + \frac{h+d}{4} \right) \quad (2.7)$$

Dan

$$M_D = \frac{1}{168} \sigma l^2 h \quad (2.8)$$

Sehingga akibat dari kombinasi titik beban hidup di mahkota dan beban mati dari pelengkung (lebar $2h$) adalah gaya horizontal dan momen lentur pusat dengan nilai-nilai sebagai berikut:

$$H = \frac{1}{a} \left\{ \sigma l h \left(\frac{a}{21} + \frac{h+d}{4} \right) + \frac{25}{128} W \right\} \quad (2.9)$$

Dan

$$M_c = \frac{1}{4} l \left(\frac{\sigma l a h}{42} - \frac{7}{32} W \right) \quad (2.10)$$

Pernyataan tentang sensitivitas dari nilai momen lentur pada asumsi-asumsi yang telah dibuat untuk menggunakan nilai yang berlaku bahkan lebih untuk analisis beban mati. Garis leleh beban mati adalah kurva simetris halus yang terletak dekat dengan garis pusat pelengkung parabola (karena untuk meminimalkan energi regangan); untuk nilai-nilai h , d dan a , (2.7) dan (2.8) menunjukkan bahwa garis leleh terletak di bawah garis tengah lengkungan di

crown dengan hanya beberapa persen dari kenaikan a . Dengan demikian untuk jembatan kecil dengan $h=d=1/4a$, mengatakan bahwa persamaan (2.7) dan (2.8) memberikan $M_D/H_D = a/29$.

Selain itu, dua jumlah sensitif kombinasi dalam persamaan (2.10), dan itu adalah nilai ini momen lentur yang digunakan oleh Pippard untuk memperoleh aturan tentang penilaian. Nilai W yang besar dan lebih besar dikenakan pada *crown* jembatan, sehingga resultan garis leleh menyimpang dari garis tengah pelengkung; istilah pertama dalam persamaan (2.10) tetap konstan, sedangkan yang kedua lebih meningkat. Implikasinya adalah bahwa tegangan tarik akhirnya akan berkembang.

Jadi kriteria pertama diterapkan oleh Pippard berasal dari *middle-third rule*. Atau lebih tepatnya, Pippard berpendapat bahwa kriteria bersifat membatasi mungkin didasarkan pada *middle-half rule*, dimana kasus tersebut membatasi nilai W yang akan diberikan oleh solusi

$$\frac{Mc}{Hd} = -\frac{1}{4}d \quad (2.11)$$

Yang mengarah ke

$$W_I = \frac{32\sigma lh\{2a^2+4ad+21d(h+d)\}}{21(28a-25d)} \quad (2.12)$$

Namun, Pippard juga meneliti kasus di mana tegangan tekan di batu yang mencapai nilai maksimal yang diizinkan, dan dengan demikian ia menganggap kondisi kedua. Karena cincin lengkungan memiliki kedalaman d dan lebar efektif $2h$, batas tegangan f akan tercapai bila

$$f = \frac{H}{2dh} - \frac{3M_c}{hd^2} \quad (2.13)$$

Dan substitusi persamaan (2.9) ke dalam persamaan (2.10) adalah

$$W_2 = \frac{\frac{256fhd}{l} + 128\sigma lh \left(\frac{a}{28d} - \frac{1}{21} - \frac{h+d}{4a} \right)}{\left(\frac{25}{a} + \frac{42}{d} \right)} \quad (2.14)$$

Pippard mempelajari persamaan (2.12) dan (2.14) yang memberikan nilai batas dari W pada asumsi tegangan tarik sama dengan nol (pada kenyataannya

dengan aturan *middle-half* untuk memungkinkan beberapa tegangan tarik yang tidak ditentukan) dan tegangan tekan terbatas. Pippard mengambil berbagai contoh numerik, dan dia telah memiliki hasil tes skala penuh yang dibuat oleh *Research Station Building*. Sebagai akibatnya, ia menganggap itu aman untuk membuang persamaan (2.12), dan menggunakan sifat batas persamaan (2.14). Artinya, nilai W_2 (untuk nilai-nilai konstanta yang dipilih oleh Pippard) umumnya lebih besar dari W_1 dan Pippard bahkan memperbolehkan *middle-third rule* untuk diabaikan.

Untuk pelengkung kecil h sering kurang dari 2 ft, sehingga efektif sesuai pelengkung akan kurang dari 4 ft lebar; dua rusuk tersebut dapat dianggap seperti yang ada secara mandiri disepanjang pelengkung sebenarnya.

Dengan demikian beban gandar W_A aman untuk kendaraan dari lebar lintasan yang normal dapat diambil sebagai:

$$W_A = 2W_2 \quad (2.15)$$

Dari persamaan (2.14) dan (2.15) Pippard membuat tabel untuk pelengkung standar tunggal profil parabola dengan bentang/rasio $l/a = 4$. Berat isi pelengkung dan bahan urugan/pengisi diambil sebesar $\sigma = 0,0625 \text{ ton/ft}^3$, dan membatasi tegangan tekan sebesar $f = 13 \text{ ton/ft}^2$.

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 2.9 *Analysis system static structural*

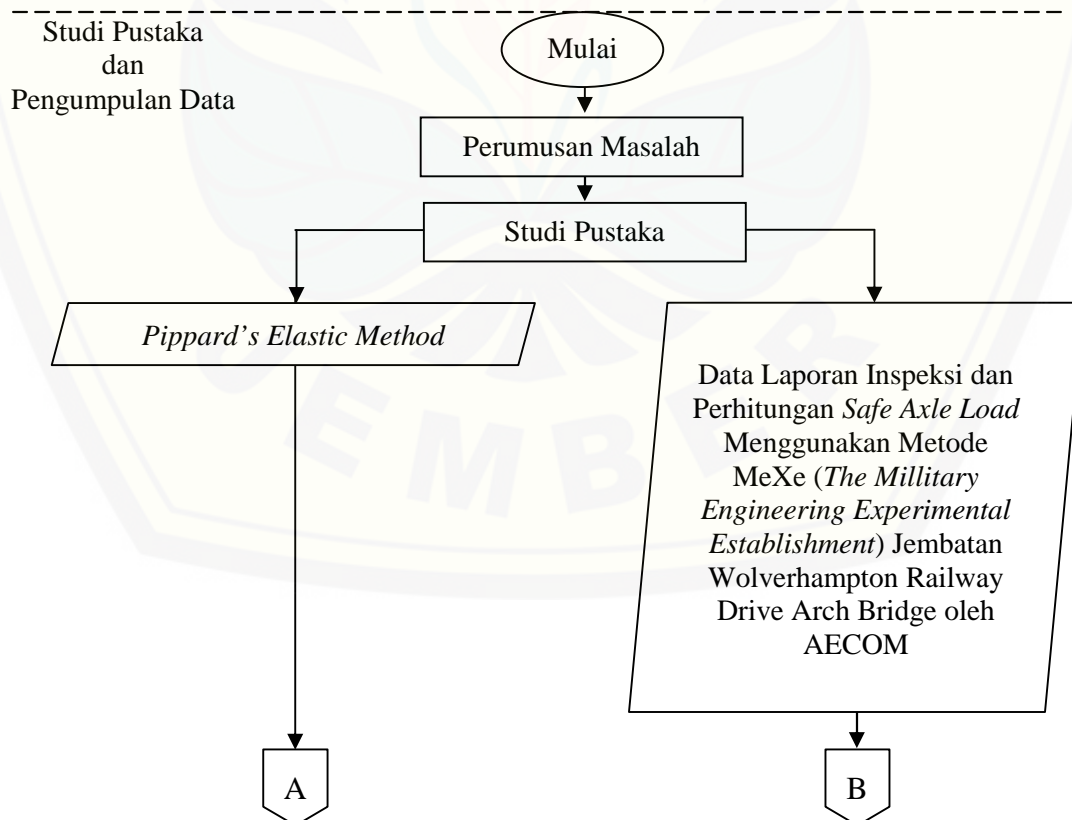
V pada bagian atas jendela *static structural* menunjukkan urutan *analysis system* yang aktif pada jendela *project*. Bagian pertama pada jendela *static structural* menunjukkan jenis *analysis system* yang digunakan yaitu *analysis system static structural*, sedangkan pada bagian kedua yaitu *Engineering 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

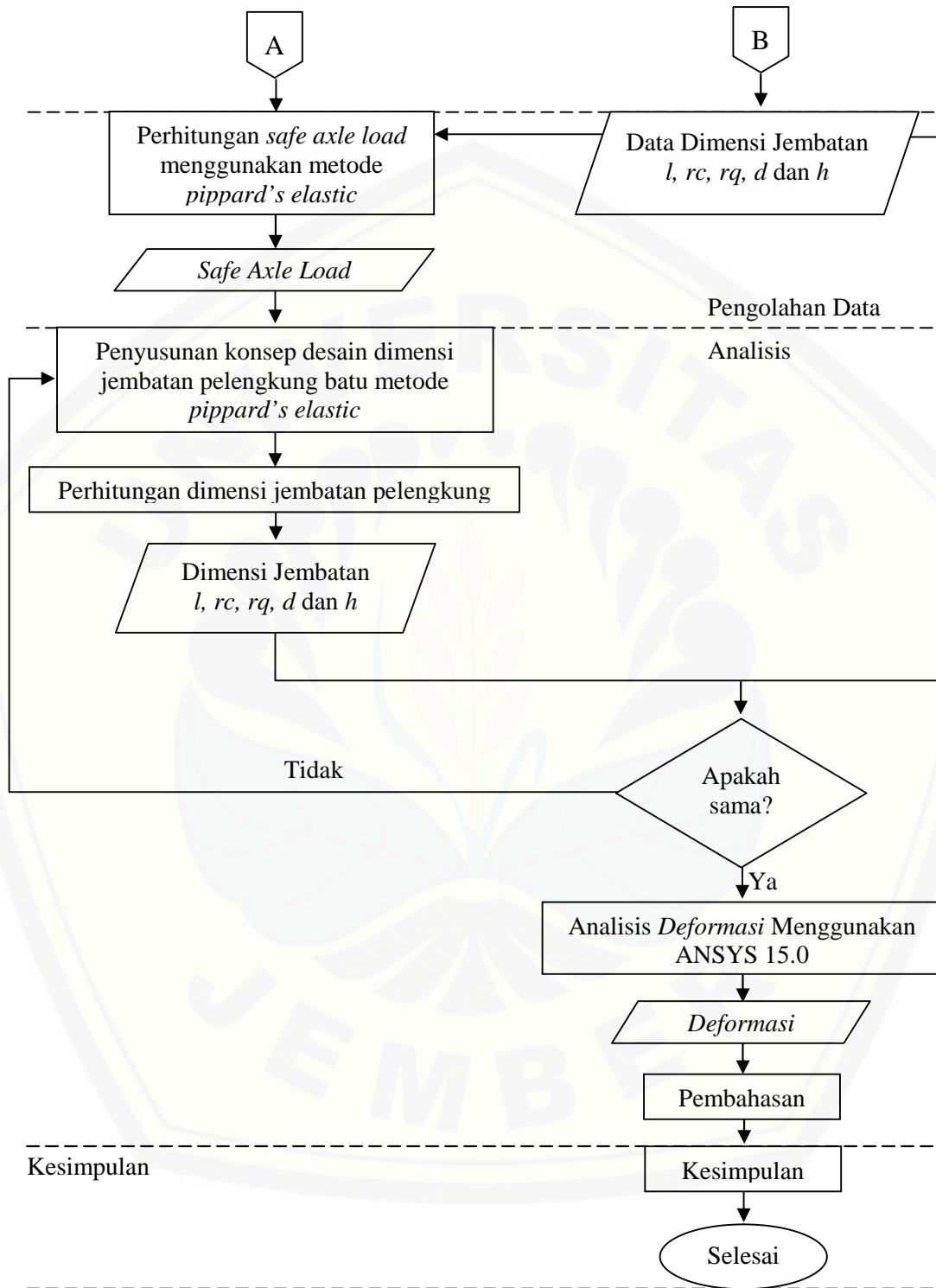
yang berurutan, maksudnya saat proses *model* pada tahapan keempat yaitu proses input data material ke model struktur yang akan dianalisis, *meshing*, input data pembebanan sampai dilakukannya *solve* atau analisis maka tahapan 5 sampai 7 otomatis selesai. Pada tahapan *Results* atau tahapan hasil merupakan 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.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penyusunan konsep desain jembatan pelengkung batu dalam penelitian ini didasarkan pada teori dan metode perhitungan beban aman/*safe axle load* pada jembatan pelengkung batu dengan metode *pippard's elastic*. Selain itu, dalam penelitian ini juga menggunakan bantuan perangkat lunak komputer berupa aplikasi pengolah data yaitu *Microsoft Excel* untuk membantu dalam perhitungan. Penelitian ini juga memodelkan contoh hasil perhitungan dimensi jembatan pelengkung menggunakan *software ANSYS 15.0* untuk menganalisis *deformasi* yang terjadi pada jembatan pelengkung akibat variasi ketebalan pelengkung dan *spandrel*. Alur penelitian skripsi mengikuti Gambar 3.1 yang menjelaskan prosedur penelitian dalam skripsi ini.





Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian

3.1 Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk mendapatkan referensi acuan yang tepat dalam penyusunan tugas akhir ini. 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 untuk penyusunan konsep perhitungan dimensi jembatan pelengkung batu dalam penelitian ini menggunakan data sekunder yaitu data dimensi *Railway Drive Arch Bridge*. Data dimensi jembatan didapat dari hasil laporan inspeksi keadaan jembatan yang dilakukan oleh AECOM (*Einstein College of Medicine*) pada 14 Februari 2014. Jembatan tersebut berupa jembatan pelengkung batu tunggal yang terbentuk dari material batu yang membentang diatas Sungai Birmingham, UK.

3.2 Pengolahan Data

Data yang digunakan adalah data Laporan Hasil Inspeksi *Railway Drive Arch Bridge*, dimana data tersebut berupa data dimensi jembatan serta data hasil perhitungan *safe axle load* menggunakan metode MeXe (*The Millitary Engineering Experimental Establishment*) yaitu metode perhitungan *safe axle load* kembangan dari metode *Pippard's Elastic* dimana dalam perhitungannya menggunakan faktor-faktor keadaan jembatan. Penelitian dalam skripsi ini menggunakan metode *pippard's elastic* maka perlu dilakukan perhitungan *safe axle load* menggunakan metode *pippard's elastic*. *Safe axle load* hasil perhitungan menggunakan metode *pippard's elastic* kemudian dibandingkan dengan *safe axle load* metode MeXe pada data Laporan Hasil Inspeksi *Railway Drive Arch Bridge* sampai memperoleh hasil yang sama. *Safe axle load* hasil perhitungan ini nantinya digunakan untuk data analisis hasil penyusunan konsep perhitungan dimensi jembatan. Setelah diperoleh hasil perhitungan *safe axle load* yang sama kemudian dilakukan penyusunan konsep perhitungan dimensi struktur atas jembatan pelengkung batu menggunakan metode

pippard's elastic. Penyusunan konsep perhitungan dimensi diambil dari rumus perhitungan *safe axle load* metode *pippard's elastic* dan rumus-rumus atau standar dimensi bagian-bagian jembatan pelengkung batu menurut Pippard dalam buku *The Masonry Arch* karya Jacques Heyman.

3.3 Analisis

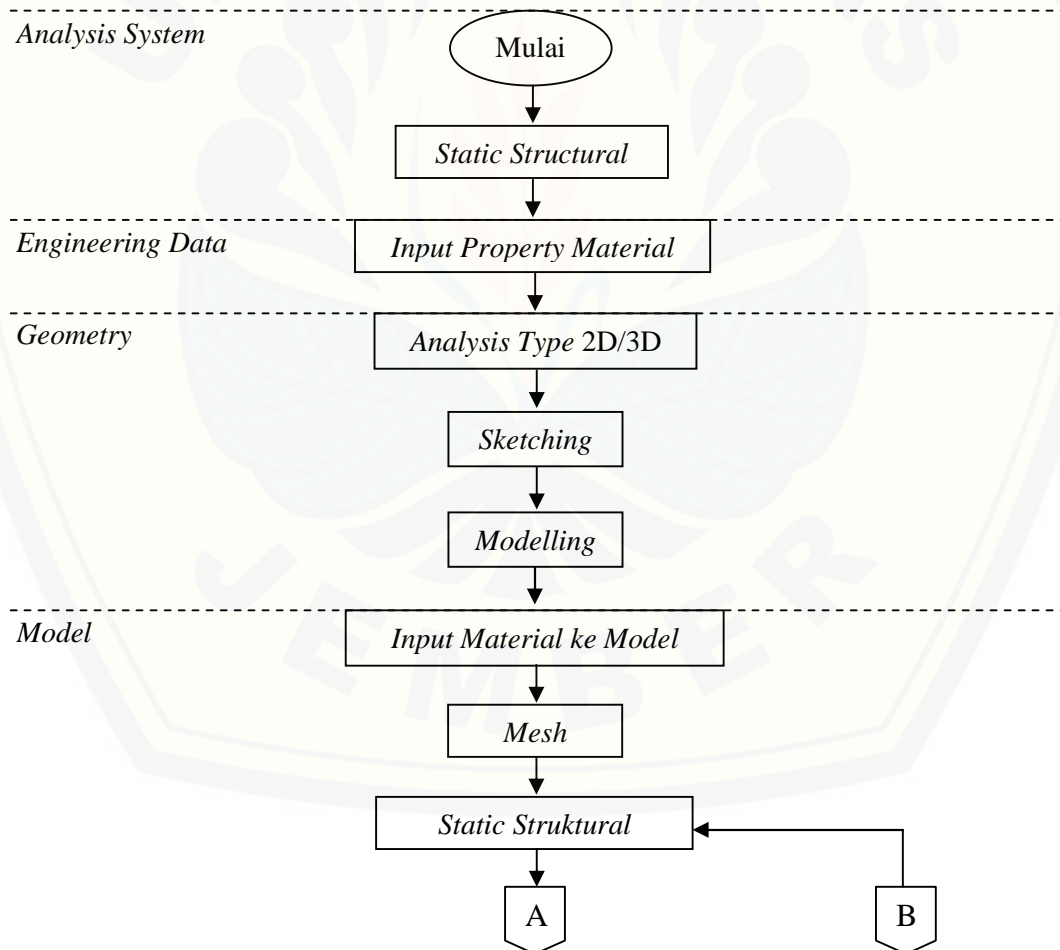
Pada tahap ini dilakukan analisis hasil penyusunan konsep perhitungan dimensi jembatan pelengkung batu dengan metode analitik maupun metode numerik. Jika hasil yang didapat belum sesuai dengan data yang digunakan maka penyusunan konsep perhitungan dimensi jembatan pelengkung batu akan disusun ulang sampai hasil perhitungan sesuai dengan data yang digunakan. Setelah itu dilakukan pemodelan jembatan pelengkung batu menggunakan *software* ANSYS 15.0 untuk mengetahui *deformasi* yang terjadi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada sub bab dibawah ini:

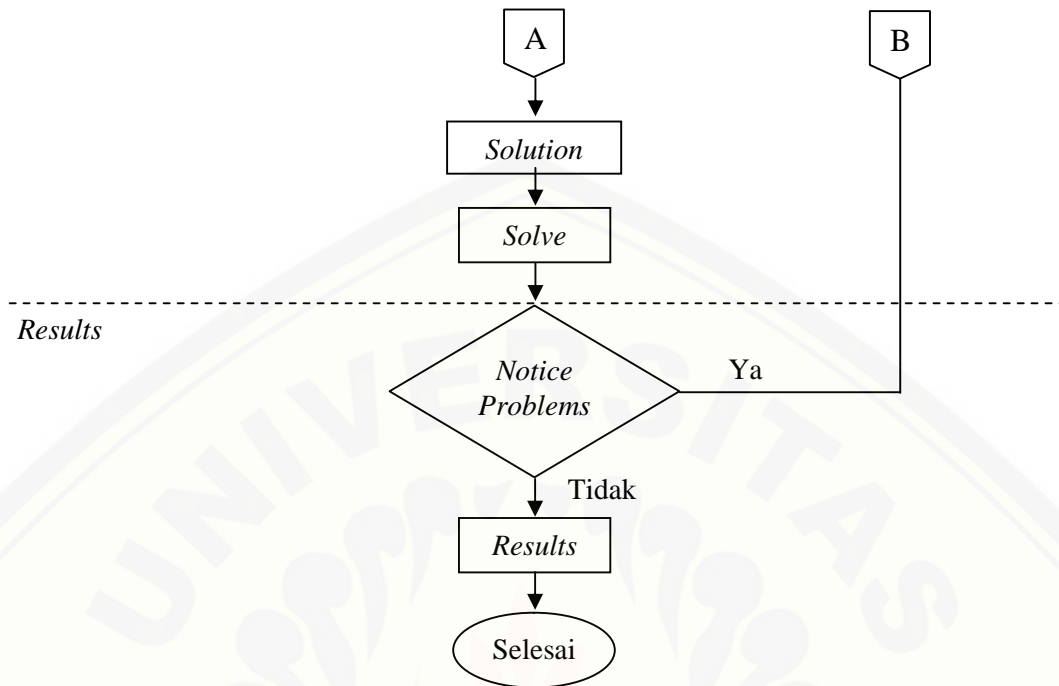
3.3.1 Analisis Hasil Penyusunan Konsep Desain Jembatan Pelengkung Batu Berbasis Metode *Pippard's Elastic*

Setelah dilakukan penyusunan konsep perhitungan dimensi struktur atas jembatan pelengkung batu menggunakan metode *pippard's elastic* maka perlu dilakukannya analisis hasil penyusunan konsep untuk mengecek kebenaran konsep hasil rancangan. Kemudian dilakukan perhitungan dimensi jembatan menggunakan konsep hasil rancangan menggunakan data dimensi *Railway Drive Arch Bridge* dan *safe axle load* hasil perhitungan menggunakan metode *pippard's elastic*. Dimensi hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan data dimensi *Railway Drive Arch Bridge*, jika sama maka konsep perhitungan dapat dilanjutkan dan jika tidak maka dilakukan penyusunan ulang konsep perhitungan sampai hasil perhitungan dimensi mendapatkan hasil perhitungan yang sama dengan data dimensi *Railway Drive Arch Bridge*.

3.3.2 Analisis *Deformasi* Menggunakan *Software* ANSYS 15.0

Selain pembuatan konsep perhitungan dimensi struktur atas jembatan pelengkung batu menggunakan metode *pippard's elastic* juga dilakukan analisis pemodelan dimensi jembatan hasil perhitungan menggunakan *software* ANSYS 15.0. Pemodelan ini digunakan untuk melihat bagaimana pengaruh variasi ketebalan pelengkung dan *spandrel* terhadap *deformasi* yang terjadi, sehingga nantinya bisa digunakan sebagai acuan saat perencanaan dimensi jembatan. Ada beberapa tahapan yang harus diperhatikan dalam proses analisis menggunakan *software* ini, adapun tahapan analisis menggunakan *software* ANSYS 15.0 lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram alur berikut:





Gambar 3.2 Diagram alir *analysis system static structural* ANSYS 15.0

3.3.2.1 Analysis System

Analysis System merupakan proses pertama yang harus dilakukan sebelum memulai proses analisis didalam *software* ANSYS 15.0. Tahapan ini berupa tahap pemilihan jenis analisis yang akan digunakan seperti *static struktural*, *fluid flow*, *thermal electric*, dll. Namun skripsi ini menggunakan *analysis system static structural*.

3.3.2.2 Engineering Data

Tahapan yang kedua adalah *engineering data*. Pada tahap ini dilakukan input data material yang digunakan. Dimana dalam skripsi ini digunakan data material *brick masonry*. Adapun nilai *young's modulus* yang digunakan adalah 1800 Mpa sedangkan *density* yang digunakan yaitu sebesar 21 kN/m³ sesuai data Laporan AECOM. Untuk entri data material dibuat 2 data yaitu data *brick*

masonry arch untuk data material pelengkung/*arch* dan *brick masonry spandrel and fill* untuk data material *spandrel* dan urugan.

3.3.2.3 Geometry

Geometry merupakan tahap penggambaran model jembatan yang akan dianalisis. Langkah awal dalam tahapan ini adalah pemilihan *analysis type* yaitu menggunakan tipe analisis 2D atau 3D, pemilihan *units/satuan*, kemudian *sketching*/penggambaran model jembatan. Dimensi jembatan yang digunakan adalah dimensi jembatan hasil perhitungan menggunakan konsep hasil rancangan. Setelah *sketching* maka dilakukan pembuatan permukaan pada model yaitu dengan memilih *surface from sketches* pada menu *concept*, pada jendela *details view* untuk *operation* dipilih *add frozen* agar antara material *arch* sama *spandrel* dapat dibedakan menjadi dua jenis, kemudian *generate*. Untuk pembebanan ditengah bentang digunakan garis bantu di tengah bentang *spandrel*, kemudian dipilih *face split* pada menu *tools*. Pada jendela *details view* untuk *target face* diseleksi pada *sketch spandrel* dan untuk *tool geometry* diseleksi pada garis bantu, kemudian *generate*.

3.3.2.4 Model

Pada tahapan ini ada beberapa *outline* yaitu: *geometri* untuk pemilihan material, *coordinate system*, *connections*, *mesh*, *static structural* untuk pemilihan tumpuan dan pemberian gaya pada model dan *solution* untuk pemilihan jenis analisis yang mencakup hasil atau *result* berupa animasi model akibat beban serta laporan hasil analisis berupa tabel-tabel data analisis mulai dari data *geometri* sampai data material. *Outline* pertama adalah *geometri* yaitu pemberian material pada model jembatan. Pemberian material jembatan sesuai dengan bahasan pada sub bab *engineering data*. Pada jendela *details of "surface body"* untuk *assignment* dipilih material sesuai dengan yang

direncanakan. *Outline* selanjutnya adalah *coordinate system* dan *connections*, keduanya dibiarkan tetap sesuai dengan keadaan awal. Sedangkan untuk *mesh* dibuat dengan *face sizing* ukuran *element* 200 mm. Pada tahapan *static structural* yang digunakan untuk pemberian tumpuan dan gaya pada model yang akan dianalisis. Pada sisi kanan kiri model dibuat *fixed support* agar model yang akan dianalisis tetap pada posisinya atau berfungsi sebagai tumpuan tetap. Untuk pemberian beban digunakan *force component*, dan beban *safe axle load* dibebankan pada tengah bentang dengan beban searah sumbu Y. *Outline* selanjutnya adalah *solution*, pada tahap ini dilakukan pemilihan jenis analisis yang dilakukan yaitu *deformation derectional* dan dipilih *orientation Y axis* untuk mendapatkan nilai *deformasi* searah sumbu Y serta *stress equibalent (von-Mises)* untuk mengetahui sebaran beban yang terjadi atau tegangan model jembatan akibat beban yang bekerja. Setelah langkah diatas selesai semua maka dilakukan *solve* untuk menganalisis model jembatan. Pada saat analisis ini apabila ada *notice problems* maka perlu dicek ulang untuk tahapan-tahapan sebelumnya.

3.3.2.5 Result

Setelah dilakukan *solve* maka tahapan terakhir adalah *result*, yaitu hasil akhir dari analisis berupa animasi pergerakan model jembatan akibat gaya yang bekerja serta *report review* hasil analisis.

3.4 Penarikan Kesimpulan

Setelah semua tahap dilakukan maka tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan. Pada tahap kesimpulan ini dapat diketahui konsep desain atau perhitungan jembatan pelengkung batu yang baik berdasarkan metode *pippard's elastic*. Selain itu juga diketahui cara memodelkan dimensi hasil perhitungan menggunakan *software ANSYS 15.0* untuk mengetahui *deformasi* yang terjadi akibat

adanya beban terpusat pada tengah bentang serta pengaruh variasi ketebalan pelengkung dan ketebalan *spandrel* terhadap *deformasi* yang terjadi.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil percobaan perhitungan dimensi jembatan menggunakan konsep desain yang telah dibuat menghasilkan dimensi jembatan yang sesuai dengan dimensi jembatan pada keadaan *existing*. Sehingga konsep desain yang dibuat dapat digunakan sebagai konsep desain jembatan pelengkung batu dengan alur perhitungan sebagai berikut:
 - a. Dibutuhkan data rencana dan data lapangan berupa lebar sungai (l), beban rencana (W_A) berupa beban terpusat atau beban gandar kendaraan, berat isi material yang digunakan (σ), tegangan batas material yang digunakan (f).
 - b. Menghitung tinggi pelengkung di $\frac{1}{2}$ bentang (rc atau a) yaitu $rc = \frac{1}{4} l$.
 - c. Menghitung tinggi pelengkung di $\frac{1}{4}$ bentang (rq) yaitu $rq = \frac{3}{4} rc$, dengan rc adalah rc yang digunakan untuk perencanaan.
 - d. Menghitung tebal pelengkung (d) yaitu $d = \frac{1}{4} rc$, dengan rc adalah rc yang digunakan untuk perencanaan.
 - e. Menghitung tinggi *spandrel* (h) yaitu dapat diambil sebesar $\frac{1}{4} a$ atau dihitung dari rumus perhitungan W_2 . Nilai W_2 didapat dari rumus perhitungan *safe axle load*/ W_A . Hasil perhitungan W_2 dari rumus perhitungan *safe axle load* (W_A) dinyatakan sebagai W_{2a} . Tinggi urugan/ *spandrel* (h) didapat dengan menghitung W_{2b} dengan mengasumsi beberapa nilai h . Hasil perhitungan W_{2b} dari asumsi nilai-nilai h dapat ditulis dalam bentuk tabel. Nilai h dapat diambil dengan cara interpolasi dengan mencocokkan W_{2a} dengan hasil perhitungan W_{2b} .

2. Variasi tinggi *spandrel* sangat mempengaruhi nilai *deformasi* yang terjadi. Semakin tebal dimensinya maka *deformasi* yang terjadi semakin kecil, sebaliknya semakin kecil dimensinya maka *deformasi* 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 tumpangan beban yang bekerja pada struktur tersebut semakin besar, dengan beban *safe axle load* yang sama maka *deformasi* serta lendutan yang terjadi semakin kecil.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk lebih menyempurnakan hasil penelitian ini atau untuk dikembangkan lebih lanjut. Adapun saran tersebut antara lain sebagai berikut:

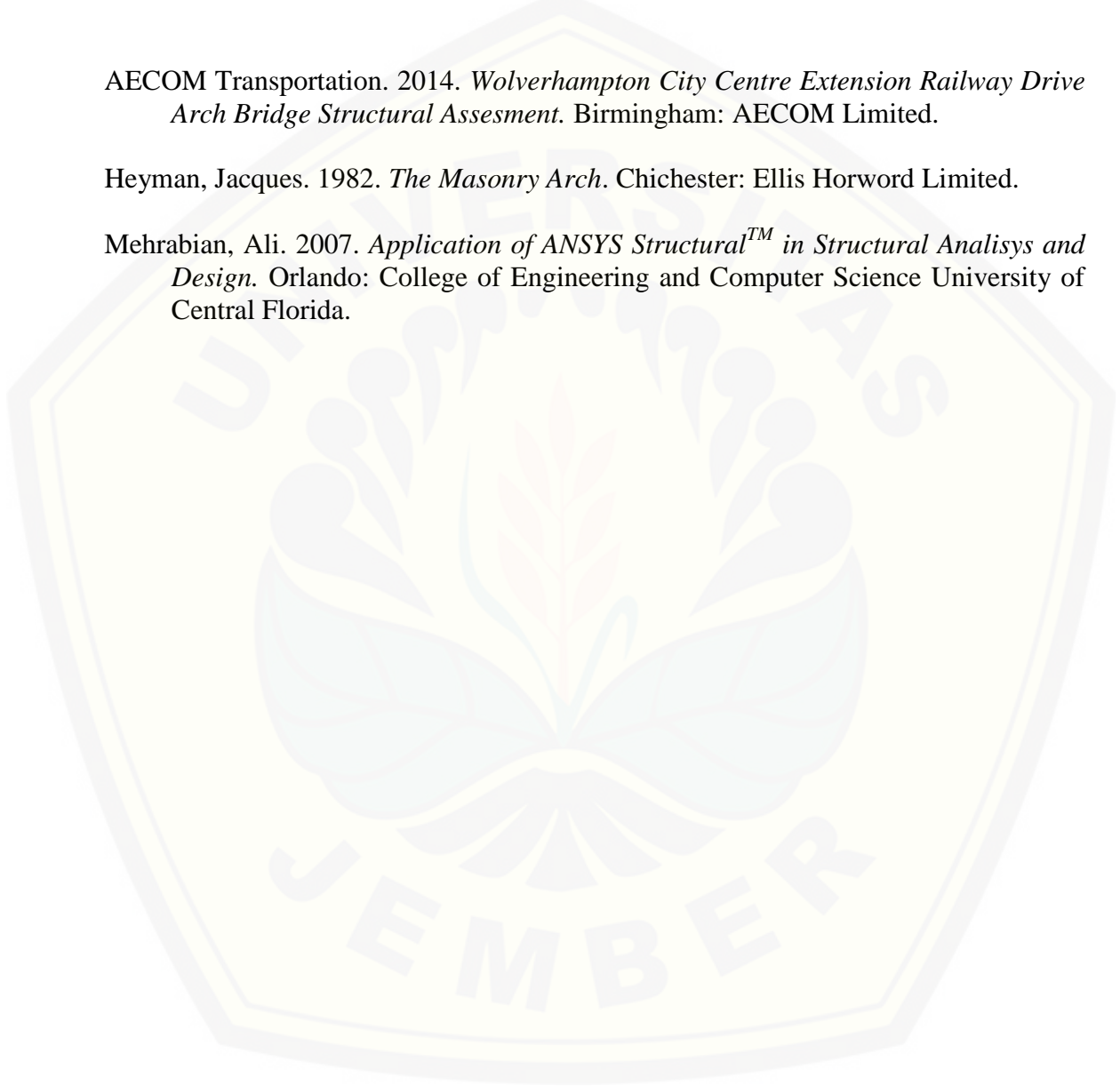
1. Dimensi struktur atas jembatan pelengkung batu yang digunakan dalam perencanaan perlu memperhitungkan dan menyesuaikan dimensi unit *brick masonry* serta ketebalan *spesi*, karena untuk memudahkan dalam pekerjaan dilapangan. Selain itu, untuk pengambilan besar dimensi yang digunakan juga perlu memperhatikan faktor-faktor lain seperti pengaruh berat struktur akibat besarnya dimensi yang diambil untuk perencanaan terhadap elemen struktur yang lain terutama elemen struktur dibawahnya.
2. Disarankan untuk melakukan analisis manual untuk membandingkan hasil analisis secara manual dengan hasil analisis menggunakan *software ANSYS 15.0*.

DAFTAR PUSTAKA

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

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

Mehrabian, Ali. 2007. *Application of ANSYS StructuralTM in Structural Analisis and Design*. Orlando: College of Engineering and Computer Science University of Central Florida.



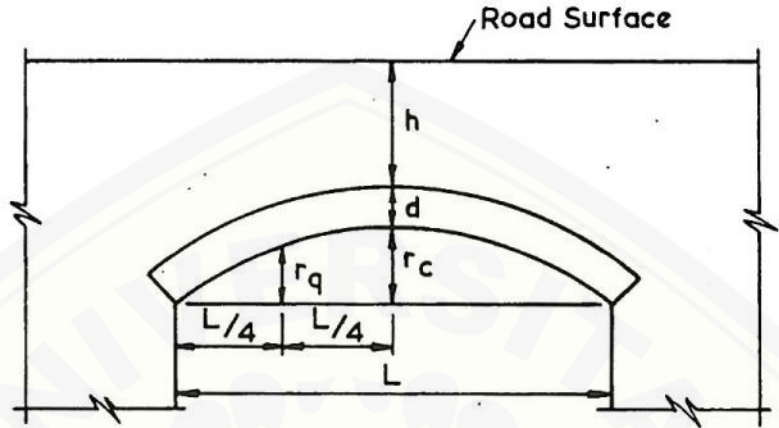
BA16
Factors

Digital Repository Universitas Jember

ARCH ASSESSMENT CALCULATION

Line Staur Valley Line			INDEX 543	BRIDGE No. 109
Calc:- GGA	Checked FC.	Date 5-4-73	Sheet	of
			Span	of

M.O.T. Code B.E.4



Clear Span.	=	44.0 ft.	L
Arch Ring Rise at Crown.	=	7.63 ft.	r _c
Arch Ring Rise, 1/4 points.	=	5.88 ft.	r _q
Arch Ring Thickness at Crown.	=	1.875 ft.	d
Average Depth of Fill (1/4 pt transverse road profile).	=	1.46 ft.	h*
Total Thickness at Crown.	=	3.335 ft.	h + d
Provisional Axle (Nomogram I3).	=	27 T's	PA
Span/Rise Ratio L/r _c ,	$\frac{44.0}{7.63} = 5.77$		
Span/Rise Factor (figure 7).	=	0.772	FR
Profile Ratio r _q /r _c ,	$\frac{5.88}{7.63} = 0.771$		
Profile Factor (figure 8).	=	0.95	FP
Ring Factor (Table III).	=	1.0	Fr*
Fill Factor (Table IV).	=	0.9	Ff*
Material Factor			
	$\frac{(Fr \times d) + (Ff \times h)}{h + d} = \frac{(1.0 \times 1.875) + (0.9 \times 1.46)}{3.335} = 0.956$		FM
Width (Joint) Factor (Table V).	=	0.9	Fw*
Depth (Joint) Factor (Table VI).	=	1.0	Fd*
Mortar Factor (Table VII).	=	1.0	Fm
Joint Factor = Fw x Fd x Fm,	x x	=	0.9
Condition Factor	=	0.9	FC

Allowable Axle Load = PA x FR x FP x FM x FJ x FC
 = 27 x 0.772 x 0.95 x 0.956 x 0.9 x 0.9 = 15 Tons

CAPACITY AS AN UNDER-SIZED
IS VERY APPROXIMATELY A
25 TON AXLE. W.M.P.

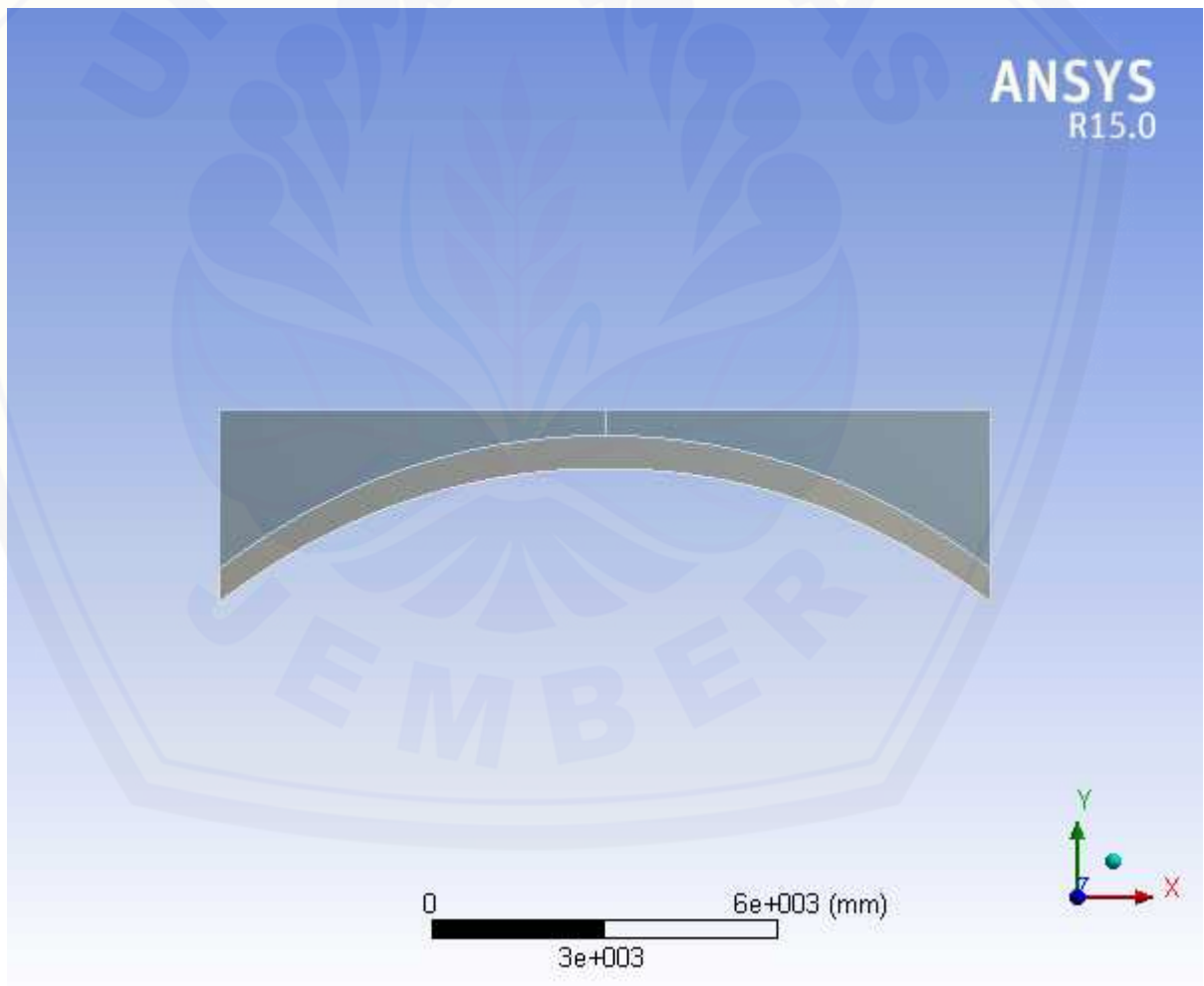
Note

This Allowable Axle Load is for an axle of a bogie - not single axle. 10-4-73

B. HASIL ANALISIS DEFORMASI MENGGUNAKAN ANSYS 15.0The ANSYS logo is displayed in white and yellow text on a black rectangular background.

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
Definition	
Source	E:\JEMB\SKRIPSI\ANSYS\Variasi h\variassi_files\dp0\SYS\DM\SYS.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters

Element Control	Program Controlled
2D Behavior	Plane Stress
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	13412 mm
Length Y	3343, mm
Properties	
Volume	2,3582e+010 mm ³
Mass	49,522 t
Surface Area(approx.)	2,3582e+007 mm ²
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	2
Active Bodies	2
Nodes	2281
Elements	655
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
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	
Graphics Properties		
Visible	Yes	

Transparency	1	
Definition		
Suppressed	No	
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Thickness	1000, mm	
Thickness Mode	Refresh on Update	
Material		
Assignment	Brick Masonry	Brick Masonry Spandrel and Fill
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		
Length X	13412 mm	
Length Y	2898, mm	2771, mm
Properties		
Volume	7,6717e+009 mm ³	1,591e+010 mm ³
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 ²	1,2616e+007 t·mm ²
Moment of Inertia Ip2	2,415e+008 t·mm ²	7,6047e+008 t·mm ²
Moment of Inertia Ip3	2,4944e+008 t·mm ²	7,7309e+008 t·mm ²
Surface Area(approx.)	7,6717e+006 mm ²	1,591e+007 mm ²
Statistics		
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
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
Origin	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
Directional Vectors	
X Axis Data	[1, 0,]

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

Connections

TABLE 5
Model (A4) > Connections

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

TABLE 6
Model (A4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
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
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	1 Edge
Target	2 Edges
Contact Bodies	Surface Body
Target Bodies	Surface Body
Shell Thickness Effect	No

Definition	
Type	Bonded
Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	34,556 mm
Suppressed	No
Advanced	
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
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None

Mesh

TABLE 8
Model (A4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
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
Inflation	
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
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
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
Defeaturing	
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)
Statistics	
Nodes	2281
Elements	655
Mesh Metric	None

TABLE 9
Model (A4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	<i>Face Sizing</i>
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	3 Faces
Definition	
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	<i>Static Structural (A5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

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

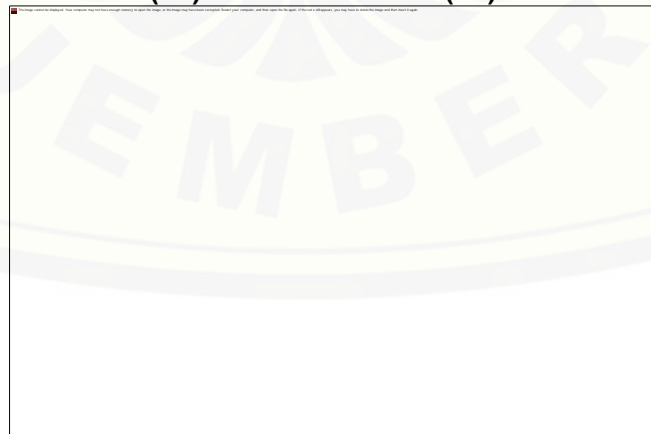
Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Nonlinear Controls	
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
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No

General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
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	mmm

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

Object Name	<i>Force</i>	<i>Fixed Support</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Vertex	2 Vertices
Definition		
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
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
Information	
Status	Done

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

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
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	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
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	
Results		
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	
Minimum Value Over Time		
Minimum	-6,2559 mm	6,4514e-004 MPa
Maximum	-6,2559 mm	6,4514e-004 MPa
Maximum Value Over Time		
Minimum	0,81479 mm	5,2911 MPa
Maximum	0,81479 mm	5,2911 MPa
Information		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	

Material Data

Brick Masonry

TABLE 16

Brick Masonry > Constants

Density	2,1e-009 tonne mm ⁻³
---------	---------------------------------

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 ⁻³
---------	---------------------------------

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