

„Saya akui bahawa telah membaca
karya ini dan pada pandangan saya karya ini
adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan
Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Struktur & Bahan)“

Tandatangan :

Nama Penyelia 1 : ENCIK AHMAD RIVAI

Tarikh : 18th MEI 2009

KAJIAN KEGAGALAN STATIK DAN LENGKOKAN KE ATAS MENARA
PENGHANTARAN ELEKTRIK DAN KAEDAH ANALISIS UNSUR TERHINGGA
MENGUNAKAN PERISIAN BERKOMPUTER MSC/NASTRAN-PATRAN

AZAIMMY BINTI MAKSID

Laporan ini dikemukakan sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat
penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Struktur & Bahan)

Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknikal Malaysia Melaka

MEI 2009

“Saya akui laporan ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan petikan yang tiap-tiap satunya telah jelaskan sumbernya”

Tandatangan :

Nama Penulis : AZAIMMY BINTI MAKSID

Tarikh : 18th MEI 2009

*Teristimewa buat ayahanda, bonda dan keluarga tersayang
Jutaan terima kasih kepada semua yang banyak
memberi dorongan, semangat dan galakan selama ini
Segala jasa dan budi akan dikenang
Sehingga ke akhir hayat*

PENGHARGAAN

Dengan nama ALLAH Yang Maha Pemurah Lagi Maha Mengasihani. Alhamdulillah, bersyukur ke hadrat Ilahi kerana dengan limpah kurnia dan rahmatNya dapat saya menyiapkan Laporan Projek Sarjana Muda ini dengan jayanya dalam tempoh yang ditetapkan.

Pada kesempatan ini, saya ingin merakamkan jutaan budi dan terima kasih kepada penyelia projek ini iaitu Encik Ahmad Rivai atas segala tunjuk ajar dan bimbingan beliau sepanjang proses laporan projek kajian ini dijalankan. Segala tunjuk ajar, nasihat dan budi yang diberikan oleh beliau tidak dapat dibalas dengan kata-kata, perbuatan mahupun wang.

Jutaan penghormatan dan penghargaan kepada ibu, ayah dan keluarga tersayang kerana memberi dorongan dan semangat dalam menyiapkan projek ini. Turut tidak ketinggalan, ucapan ribuan penghargaan dan terima kasih kepada teman-teman yang banyak memberi dorongan dan bantuan secara langsung atau tidak langsung dalam menyiapkan projek ini.

Akhir kata saya ingin merakamkan penghargaan kepada semua pihak yang terlibat dalam menjayakan Projek Sarjana Muda ini. Segala kerjasama yang diberikan akan dikenang sehingga ke akhir hayat. Semoga Projek Sarjana Muda ini dapat memberikan manfaat kepada semua walaupun sedikit.

ABSTRAK

Kajian ini memfokuskan mengenai analisis kegagalan terhadap menara penghantaran elektrik dengan menggunakan perisian MSC/NASTRAN – PATRAN. Kegagalan boleh dikaji dari segi kegagalan secara statik dan juga lengkukan. Kajian kegagalan pada struktur menara ini lebih tertumpu kepada struktur tapak menara dan juga pada bahagian lengan menara. Bahagian ini merupakan kawasan yang mempunyai risiko yang tinggi untuk berlakunya sebarang bentuk kegagalan. Dengan menggunakan perisian MSC/NASTRAN-PATRAN, struktur menara yang dikaji dimodelkan secara terus ke dalam analisis dengan berpandukan titik-titik koordinat yang ada. Bagi analisis secara statik linear, keputusan yang boleh diperolehi adalah nilai tegasan maksimum, tegasan minimum dan juga kadar pemanjangan maksimum. Bagi analisis lengkukan, nilai yang boleh diperolehi ialah faktor beban untuk mengetahui beban kritikal yang mampu ditahan oleh struktur menara. Untuk mendapatkan perbandingan dari segi keadaan struktur menara, analisis di modelkan dengan dua jenis struktur iaitu struktur asas dan struktur lengkap. Berdasarkan keputusan analisis yang diperolehi, struktur lengkap nilai tegasan maksimum, tegasan minimum, kadar pemanjangan lebih rendah berbanding struktur asas; manakala nilai bagi faktor beban untuk struktur lengkap adalah lebih tinggi berbanding struktur yang ringkas. Ini dapat disimpulkan bahawa struktur lengkap yang terdiri daripada banyak rangka sokongan berada dalam keadaan stabil dan selamat selagi beban yang disokong tidak melebihi daripada nilai tegasan maksimum dan juga beban kritikal yang dapat disokong oleh struktur menara tersebut.

ABSTRACT

This research is focused on the failure analysis of transmission tower by using MSC/NASTRAN – PATRAN. This analysis is based on the static and buckling failure that is more focus on the critical part of the tower which is on the base area and tower arm where the failure can occurs. By using MSC/NASTRAN-PATRAN, the tower structure modeling can be done directly by using the point of coordinate. From static analysis, the maximum stress, minimum stress and the maximum value of deformation can be obtained while, for buckling analysis the value of load factor can be obtained to determine the critical load that can be apply. The comparison is been made using two types of model using principal structure and complete structure. From the result obtained the value of maximum and minimum stress, deformation for the complete structure is lower than the principle structure; while the value of load factor for complete structure is higher compare to principal structure which is mean that complete structure has higher stability and more safety if the load applied is not more than the maximum stress and critical load value of the structure.

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	PENGAKUAN	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	<i>ABSTRACT</i>	vi
	KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	xi
	SENARAI RAJAH	xii
	SENARAI SIMBOL	xv
	SENARAI LAMPIRAN	xvi
BAB 1	Pengenalan	1
	1.1 Latar Belakang Projek	1
	1.2 Pernyataan Masalah	2
	1.3 Objektif	2
	1.4 Skop	2
BAB 2	Kajian Ilmiah	3
	2.1 Daya Statik	3
	2.2 Teori Kegagalan Statik	4

MUKA SURAT

2.2.1	Tegasan Normal Maksimum	4
2.2.2	Terikan Normal Maksimum	6
2.2.3	Terikan Ricih Maksimum	7
2.2.4	Kriteria Tegasan Ricih Maksimum	7
2.2.5	Tenaga Herotan Maksimum	8
2.2.6	Hubungan Diantara Tegasan Ricih Maksimum (Tresca) dan Tenaga Herotan Maksimum (Von Mises)	9
2.3	Lengkokan	9
2.4	Analisis Struktur	13
2.4.1	Kekuda Mudah	14
2.4.2	Kekuda Ruang	16
2.4.3	Analisis Kekuda Ruang: Kaedah Sendi	17
2.4.4	Analisis Kekuda Ruang: Kaedah Keratan	18
2.4.5	Kerangka	19
2.5	Kaedah Analisis Unsur Terhingga	21
2.5.1	Konsep Asas Kaedah Unsur Terhingga	21
2.5.2	Unsur dan Nod	23
2.5.3	Sistem Koordinat Setempat dan Koordinat Global	24
2.5.4	Darjah Kebebasan	25
2.5.5	Matrik Kekukuhan	25
2.6	Analisis Berkomputer Menggunakan Perisian MSC/NASTRAN-PATRAN	27
BAB 3	KAEDAH KAJIAN	28
3.1	Pengenalan	28
3.2	Carta Alir Kajian	29
3.3	Peringkat Pertama	30

MUKA SURAT

3.4	Peringkat Kedua	30
3.5	Peringkat Ketiga	30
3.5.1	Membentuk Pangkalan Data Baru	34
3.5.2	Membentuk Geometri (Titik Koordinat)	35
3.5.3	Membentuk Geometri (Garis Lengkung)	37
3.5.4	Membentuk Mesh Seeds	38
3.5.5	Membentuk Mesh	39
3.5.6	Membentuk Keadaan Kesamaan	40
3.5.7	Membentuk Ciri – Ciri Bahan	41
3.5.8	Membentuk Ciri – Ciri Fizikal	42
3.5.9	Membentuk Keadaan Sempadan	47
3.5.10	Menetapkan Beban	48
3.5.11	Menetapkan Kes Beban	50
3.5.12	Membuat Analisis	51
3.5.13	Mengeluarkan Data Analisis	52
3.5.14	Mendapatkan Keputusan Analisis	53
3.6	Peringkat Keempat	54
3.7	Peringkat Kelima	54
3.8	Peringkat Terakhir	54
BAB 4	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	55
4.1	Keputusan	55
4.1.1	Keputusan Analisis Secara statik linear Pada Tapak Menara	56
4.1.2	Keputusan Analisis Lengkokan Pada Tapak Menara	58
4.1.3	Keputusan Analisis Secara Statik Linear Pada Lengan Menara	61

MUKA SURAT

4.1.4	Keputusan Analisis Lengkokan Pada Lengan Menara	
4.2	Perbincangan	65
4.2.1	Analisis Secara Statik Linear Statik Pada Tapak Menara	65
4.2.2	Analisis Lengkokan Pada Tapak Menara	67
4.2.3	Analisis Secara Statik Linear Pada Struktur Lengan Menara	68
4.2.4	Analisis Lengkokan Pada Struktur Lengan Menara	69
4.2.5	Perbandingan Keputusan Secara Keseluruhan	71
BAB 5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	74
5.1	Kesimpulan	74
5.1	Cadangan	75
	RUJUKAN	76
	BIBLIOGRAFI	77
	LAMPIRAN	

SENARAI JADUAL

BIL	TAJUK	MUKA SURAT
3.1	Koordinat bagi tapak menara	35
3.2	Koordinat bagi lengan menara	36
4.1	Perbandingan keputusan analisis secara statik Linear	71
4.2	Perbandingan keputusan analisis lengkokan	71

SENARAI RAJAH

BIL.	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Tegasan maksimum daripada parameter bulatan	4
2.2	Perrubahan pada tegasan normal prinsipal	5
2.3	Kriteria tegasan ricih maksimum	7
2.4	Kriteria tenaga herotan maksimum	8
2.5	Lingkungan diantara tegasan ricih maksimum dan tenaga herotan maksimum	9
2.6	Bola berada dalam keseimbangan (a) stabil (b) tidak stabil (c) neutral	10
2.7	Keadaan tiang apabila mengalami mampatan	10
2.8	Beban-pesongan untuk tiang unggul, kenyal secara le lurus	12
2.9	Bentuk lengkokan bagi tiang unggul	13
2.10	Jenis-jenis kekuda mudah	14
2.11	Bentuk asas binaan kekuda mudah	15
2.12	Struktur kekuda ruang	16
2.13	Jenis-jenis kerangka	19
2.14	Analisis struktur kerangka	20
2.15	Gabungan bahagian unsur terhingga	22
2.16	Sistem Pernomboran unsur dan nod	23
2.17	Paksi koordinat global dan setempat	24
2.18	Kaedah penukaran matrik (a)	26
2.19	Kaedah penukaran matrik (b)	26

MUKA SURAT

3.1	Carta alir kajian	29
3.2	Reka bentuk tapak menara dalam 2 dimensi	31
3.3	Reka bentuk lengan menara dalam 2 dimensi	31
3.4	Keadaan sempadan bagi tapak menara	32
3.5	Keadaan sempadan bagi lengan menara	33
3.6	Langkah membentuk pangkalan data baru	34
3.7	Langkah membentuk geometri titik koordinat	35
3.8	Langkah membentuk garis lengkung	37
3.9	Langkah membentuk Mesh Seeds	38
3.10	Langkah membentuk Mesh	39
3.11	Langkah membentuk keadaan kesamaan	40
3.12	Langkah menentukan ciri – ciri bahan	41
3.13	Langkah menentukan ciri – ciri fizikal	42
3.14	Ruangan <i>Input Properties</i>	43
3.15	Ruangan <i>Beam Section</i>	43
3.16	Keratan rentas kekuda yang digunakan	45
3.17	Langkah menetapkan paparan kekuda dalam 3 Dimensi	46
3.18	Langkah menetapkan paparan kekuda dalam 1 Dimensi	46
3.19	Langkah menetapkan keadaan sempadan	47
3.20	Langkah menetapkan beban	48
3.21	Langkah menetapkan kes beban	50
3.22	Data dalam kes beban	51
3.23	Langkah membuat analisis	51
3.24	Langkah untuk mengeluarkan data analisis	52
3.25	Langkah untuk mengeluarkan keputusan analisis	53
4.1	Keputusan analisis secara linear pada struktur asas	56
4.2	Keputusan analisis secara statik linear pada struktur lengkap	57
4.3	Keputusan analisis lengkokan pada struktur asas	58
4.4	Keputusan analisis lengkokan pada struktur lengkap	59

MUKA SURAT

4.5	Keputusan analisis lengkokan dari sudut pandangan atas	60
4.6	Keputusan analisis secara statik linear pada struktur asas	61
4.7	Keputusan analisis secara statik linear pada struktur lengkap	62
4.8	Keputusan analisis lengkokan pada struktur asas	63
4.9	Keputusan analisis lengkokan pada struktur lengkap	64

SENARAI SIMBOL

σ_{ave}	=	Tegasan setara
σ_{maks}	=	Tegasan maksimum
σ_{min}	=	Tegasan minimum
σ_U	=	Tegasan muktamad
τ_{maks}	=	Tegasan ricih maksimum
ε_{maks}	=	Terikan ricih maksimum
ε_{min}	=	Terikan ricih minimum
γ_{maks}	=	Terikan ricih maksimum
P_{Cr}	=	Beban genting

SENARAI LAMPIRAN

BIL	TAJUK	MUKA SURAT
A	<i>Final Bill of Material</i>	79
B	<i>Manual sheet for Bridge Truss</i>	79
C	<i>Journal of Lesson from Premature Failure of Cross Arms in Transmission Line Towers during Prototype Testing</i>	89

BAB 1

PENGENALAN

Bab ini adalah sebagai pengenalan bagi kajian yang dibuat agar objektif kajian ini dibuat boleh difahami secara ringkas.

1.1 Latar Belakang Projek

Kekuda (*trusses*) merupakan satu bentuk atau susunan klasik yang telah digunakan bermula sejak kurun ke-19 sewaktu Revolusi Perindustrian. Disebabkan bentuk yang ringkas dan unik, kekuda digunakan secara meluas dalam bidang kejuruteraan terutamanya dalam reka bentuk jambatan, bangunan dan menara. Faktor utama yang menyebabkan penggunaan kekuda ialah kepraktisannya dan penjimatan kos. Menara penghantaran elektrik (*electric transmission tower*) merupakan salah satu contoh dimana reka bentuk kekuda digunakan untuk membina menara.

Walaupun bagaimanapun, tidak semua menara yang dibina mempunyai suatu kekuatan untuk bertahan lama. Pada tahun 2006, suatu kemalangan telah berlaku akibat daripada salah satu lengan penyokong menara penghantaran elektrik milik Tenaga Nasional Berhad (TNB) patah dan menyebabkan kehilangan nyawa. Kemalangan ini berlaku disebabkan oleh kegagalan pada struktur menara tersebut untuk menahan beban yang dikenakan pada lengan menara tersebut.

1.2 Pernyataan Masalah

Projek ini adalah untuk membuat satu kajian untuk menganalisis kegagalan statik dan lengkakan yang berlaku terhadap menara penghantaran elektik menggunakan kaedah analisis unsur terhingga (*Finite Element Analysis*). Daripada analisis ini, kita dapat menentukan bahagian-bahagian struktur menara yang kritikal apabila kesan daya statik dan lengkakan dikenakan keatas bahagian tersebut.

Dengan menggunakan kaedah analisis unsur terhingga, perisian MSC/NASTRAN-PATRAN akan digunakan untuk membuat simulasi struktur dan rangka kekuda menara penghantaran elektrik untuk mendapatkan satu analisis yang tepat untuk mencari bahagian yang kritikal dan paling mudah untuk berlakunya suatu kegagalan.

1.3 Objektif

Menganalisis kegagalan yang berlaku terhadap struktur menara penghantaran elektrik di sebabkan oleh kesan statik dan lengkakan dengan kaedah Analisis Unsur Terhingga (*Finite Element Analysis*) menggunakan analisis berkomputer perisian MSC/NASTRAN-PATRAN.

1.4 Skop

- Mengkaji serta memahami teori mengenai statik
- Memahami kesan lengkakan terhadap rangka kekuda menara, ciri-ciri dan sebab utama berlakunya kesan lengkakan.
- Membuat kajian dan analisis struktur yang berkaitan dengan ciri-ciri rangka kekuda struktur menara penghantaran elektrik.

- Memahami teori kaedah analisis unsur terhingga dan penggunaan perisian MSC/NASTRAN-PATRAN dalam analisis kegagalan struktur menara ini.
- Menganalisis bahagian kritikal yang boleh menyebabkan kegagalan pada struktur menara.

BAB 2

KAJIAN ILMIAH

Kajian ilmiah merangkumi teori berkaitan mengenai daya statik, kegagalan statik, daya lengkokan, analisis struktur, teori mengenai kaedah analisis unsur terhingga, kaedah analisis berkomputer menggunakan perisian MSC/NASTRAN-PATRAN serta analisis jurnal yang mempunyai kaitan terhadap kajian analisis daya statik dan daya lengkok ke atas menara penghantaran elektrik (*electrical transmission tower*) menggunakan kaedah analisis unsur terhingga.

2.1 Daya Statik

Statik adalah pengkajian tentang tindakan daya dan sistem-sistem daya pada jasad serta kesan yang timbul hasil daripada tindakan itu. Daya pula boleh ditakrifkan sebagai tindakan sesuatu jasad pada jasad yang lain. Daya yang dikenakan sama ada melalui sentuhan langsung ataupun tindakan jauh. Daya boleh dikenakan melalui tindakan jauh contohnya seperti daya graviti, elektrik dan magnet. [1]

Daya yang bertindak pada sesuatu jasad akan menghasilkan kesan-kesan yang boleh dibahagikan kepada dua jenis iaitu kesan luar dan kesan dalam. Sebagai contoh, apabila sesuatu struktur dikenakan daya luar (*external force*), tindak balas struktur tersebut akan menerbitkan daya-daya tindak balas (*reaction force*) pada permukaan sokong pada struktur untuk mengimbangi daya luar tersebut. Maka daya luar yang

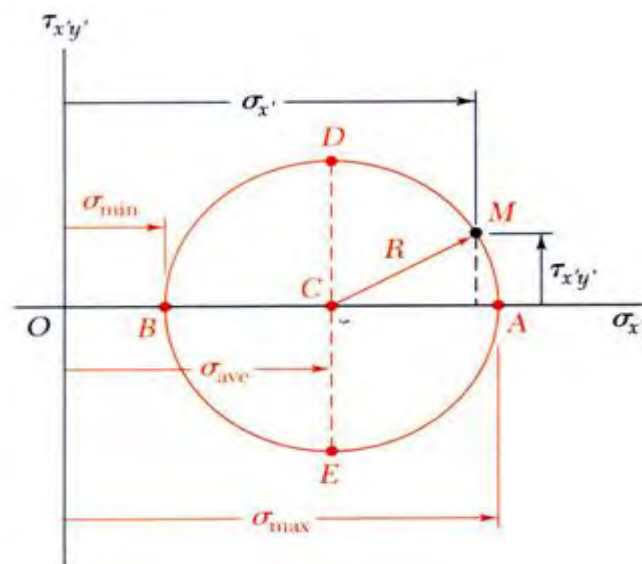
bertindak pada sesuatu jasad terbahagi kepada dua, iaitu daya tindakan (*action force*) dan daya tindak balas.

Selain menyebabkan daya tindak balas, daya tindakan juga menimbulkan kesan di dalam anggota-anggota struktur tersebut. Kesan tersebut adalah dalam bentuk tegasan (*stress*) dan terikan (*strain*) yang terjadi pada bahan binaan struktur berkenaan. Kesan-kesan in wujud untuk mengimbangi tindakan dan kesan luar pada berpadanan.

2.2 Teori Kegagalan Statik

Kegagalan secara statik berlaku disebabkan oleh tegasan normal maksimum, tegasan ricih maksimum, terikan normal maksimum, terikan ricih maksimum dan tenaga herotan. Apabila sesuatu daya yang dikenakan adalah melebihi nilai maksimum yang dihadkan kegagalan statik akan berlaku.

2.2.1 Tegasan Normal Maksimum



Rajah 2.1: Tegasan maksimum daripada parameter bulatan ^[2]

Berdasarkan Rajah 2.1, tegasan normal maksimum dan minimum dikenali sebagai tegasan utama boleh diterbitkan melalui persamaan:-

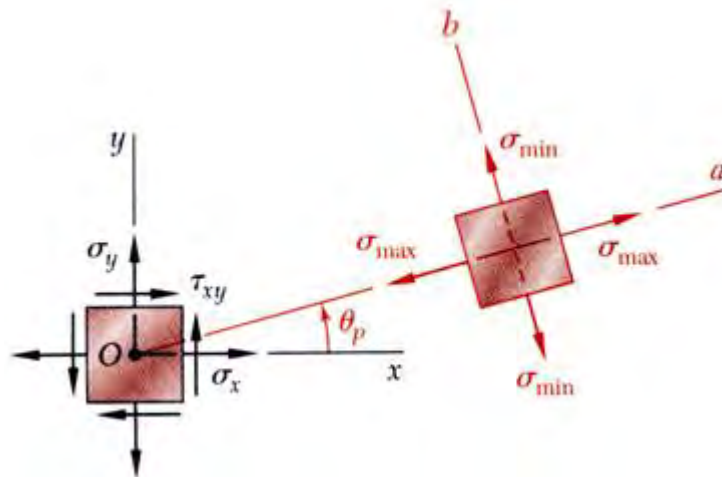
$$\left(\sigma_{x'} - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_{x'y'}^2 = \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2 \quad (2.1)$$

Dimana,

$$\sigma_{ave} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \quad (2.2)$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.3)$$

Nilai R adalah jejari tengah bulatan.



Rajah 2.2: Perubahan pada tegasan normal prinsipal ^[2]

Apabila perubahan tegasan berlaku pada sesuatu darjah, θ_p seperti dalam Rajah 2.2, tegasan normal prinsipal pada titik O akan berhubung kait dengan nilai σ_{mak} dan σ_{min} seperti dalam persamaan (2.4) dan (2.5),

$$\sigma_{mak} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.4)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.5)$$

Maka, tegasan utama boleh diterbitkan sebagai:-

$$\sigma_{\text{mak.min}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.6)$$

Kriteria bagi tegasan normal maksimum ialah struktur akan gagal apabila tegasan normal maksimum melebihi nilai tegasan muktamad, σ_U . Struktur akan selamat apabila nilai sebenar untuk tegasan utama σ_a dan σ_b kedua-duanya adalah kurang daripada σ_U : [2]

$$\sigma_{\text{mak}} < \sigma_U \quad (2.7)$$

2.2.2 Terikan Normal Maksimum

Terikan utama boleh dihitung menggunakan persamaan

$$\varepsilon_{\text{maks,min}} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_{xy}}{2}\right)^2} \quad (2.8)$$