

## UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

**BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS ◆**

**JUDUL :** ANALISIS STRUKTUR TERHADAP PELBAGAI BEBAN  
DENGAN MENGGUNAKAN KAEDAH KEKUKUHAN

**SESI PENGAJIAN :** 2006/2007-2

**Saya:** ABDULLAH KHANIF B MOHAMAD KAMALI  
(HURUF BESAR)

mengaku membenarkan tesis (PSM/~~Sarjana/Doktor Falsafah~~)\* ini disimpan di Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:

1. Tesis ini adalah hak milik Universiti Teknologi Malaysia.
2. Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
4. \*\*Sila tandakan (✓)

SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan Atau Kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972)

TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)

TIDAK TERHAD

(TANDATANGAN PENULIS)

(TANDATANGAN PENYELIA)

Alamat Tetap:  
54 IMPIAN JAYA 5,  
SAUJANA IMPIAN,  
43000 KAJANG,  
SELANGOR

PM IR DR MOHD HANIM BIN OSMAN  
Nama Penyelia

Tarikh: 23 APRIL 2007

Tarikh: 23 APRIL 2007

CATATAN: \* Potong yang tidak berkenaan.

\*\* Jika tesis ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh tesis ini perlu dikelaskan sebagai SULIT atau TERHAD

◆ Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana secara penyelidikan atau disertai bagi pengajian secara kerja kursus dan penyelidikan, atau Laporan Projek Sarjana Muda (PSM).

“Saya mengakui bahawa saya telah membaca laporan kajian ini dan pada pandangan saya laporan ini adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Awam

Tandatangan : \_\_\_\_\_  
Nama Penyelia : **PM IR DR HANIM OSMAN**  
Tarikh : **23 APRIL 2007**

**ANALISIS STRUKTUR TERHADAP  
PELBAGAI BEBAN MENGGUNAKAN  
KAEDAH KEKUKUHAN**

**ABDULLAH KHANIF BIN MOHAMAD KAMALI**

**Laporan ini dikemukakan sebagai memenuhi sebahagian  
daripada syarat penganugerahan ijazah  
Sarjana Muda Kejuruteraan Awam**

**FAKULTI KEJURUTERAAN AWAM  
UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA**

**APRIL, 2007**

**STRUCTURE ANALYSIS  
SUBJECTED TO VARIOUS KIND OF LOADING  
BY USING STIFFNESS METHOD**

**ABDULLAH KHANIF BIN MOHAMAD KAMALI**

**A report submitted in partial fulfillment of the  
requirements for the award of the degree of  
Bachelor of Civil Engineering**

**Faculty of Civil Engineering  
Universiti Teknologi Malaysia**

**APRIL, 2007**

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

Tandatangan : .....

Nama Penulis : **ABDULLAH KHANIF BIN  
MOHAMAD KAMALI**

Tarikh : **23 APRIL 2007**

*Teristimewa buat ayahanda, bonda dan kesemua ahli keluarga ku sekalian.*

*Jutaan terima kasih kepada semua yang banyak  
memberi dorongan, semangat dan galakan kepada ku selama ini.*

*Segala jasa dan budi akan dikenang  
sehingga ke akhir hayat ku.*

## PENGHARGAAN

Dengan nama ALLAH Yang Maha Pemurah Lagi Maha Mengasihani. Alhanmdulillah, 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 PM Ir Dr Hanim Osman 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 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

Sejak industri komunikasi dan teknologi maklumat berkembang dengan pesat secara global, hampir kesemua kerja telah dipermudahkan dengan kemunculan pelbagai perisian yang canggih. Kesemua perisian itu bukan sahaja membantu para jurutera dalam menganalisis struktur dengan lebih cepat malah, dapat menghasilkan keputusan yang tepat. Namun walaupun perisian-perisian ini mampu menghasilkan keputusan analisis dengan cepat dan tepat, adalah amat penting bagi para jurutera untuk mengetahui asas atau teori analisis dan bagaimana analisis itu dibuat. Perisian perisian seperti LUSAS dan STAD PRO mampu menganalisis sebarang analisa jika terdapat nilai-nilai parameter dan pembolehubah walaupun nilai-nilai tersebut salah. Oleh itu, satu kajian telah dijalankan untuk mengetahui dan mengkaji analisis struktur yang dikenakan pelbagai jenis beban dengan menggunakan salah satu kaedah asas untuk menganalisis struktur iaitu kaedah kekukuhan. Kaedah kekukuhan merupakan kaedah moden bagi menganalisis struktur dan ia merupakan asas kepada kaedah unsur terhingga. Kaedah unsur terhingga merupakan kaedah yang digunakan oleh kebanyakan perisian analisis struktur seperti LUSAS. Objektif kajian ini ialah untuk mengetahui dan mengkaji kaedah kekukuhan ini dan penggunaan ia terhadap struktur kerangka yang terdiri daripada kekuda, kerangka dan rasuk. Struktur-struktur ini dianalisa terhadap pelbagai beban yang merangkumi beban graviti dan beban yang dihasilkan akibat daripada kesan ralat pembinaan, enapan dan perubahan suhu. Bagi menyemak samada keputusan analisis yang dijalankan adalah benar, keputusan analisis dengan menggunakan perisian LUSAS digunakan bagi membuat perbandingan. Kesimpulannya, keputusan-keputusan daripada kedua-dua kaedah analisis menghasilkan keputusan yang sama.

## ABSTRACT

Since the industry of information and communication technology has grown rapidly and globally, almost all the works are being ease by the emergence of various software. All those software are not only assisting the engineers to analyse the structures quicker, but also can produce precise results. But although the software can produce precise and instant result, it is very important to acknowledge the basic of the applied operation and how the analysis is being analysed. Software is able to analyse about anything if there are inputs although they are wrong. Therefore, a study is conducted to acknowledge and research the structure analysis with various kind of loading by applying one of the famous methods to analyse structure which is stiffness method. Stiffness method is a modern method for analyzing structures and it is being used as the basic of finite element method. Finite element method is the method which is being applied by many structure analysis softwares such as LUSAS. The objective of this study is to acknowledge and researching the stiffness method and its application to the structures which are consist of frame, truss and beam. These structures are analyzed with various loadings which consist of gravity loading and loadings which generated by the effect of miss built of member, settlement and changes of temperatures. In validating the results, LUSAS analysis is being done to compare the results produced by stiffness method. As a result, it shows that both analysis methods produced the same results.

## KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
	<b>TAJUK</b>	
	<b>PENGESAHAN PENYELIA</b>	ii
	<b>PENGAKUAN</b>	iii
	<b>DEDIKASI</b>	iv
	<b>PENGHARGAAN</b>	v
	<b>ABSTRAK</b>	vi
	<b>ABSTRACT</b>	vii
	<b>KANDUNGAN</b>	viii
	<b>DAFTAR</b>	xi
	<b>SINGKATAN/SIMBOL/ISTILAH</b>	xii
	<b>SENARAI JADUAL</b>	xiii
	<b>SENARAI RAJAH</b>	xiv
<b>BAB 1</b>	<b>PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Penyataan masalah	2
	1.3 Objektif kajian	3
	1.4 Skop kajian	3
	1.5 Kepentingan kajian	4

<b>BAB 2</b>	<b>KAJIAN LITERATUR</b>	<b>5</b>
2.1	Pengenalan Kajian Literatur	5
2.2	Kaedah Analitikal Klasik	6
2.3	Pengenalan Kaedah Matrik Kekukuhan	6
2.4	Sejarah Perkembangan Kaedah Matrik Kekukuhan	7
2.5	Analisis Matrik Kekukuhan Bagi Kekuda Satah	8
2.5.1	Anggota dan Nod	9
2.5.2	Sistem Koordinat Setempat dan Global	10
2.5.3	Darjah Kebebasan	10
2.5.4	Matrik Kekukuhan	11
2.5.5	Matrik Kekukuhan Anggota Setempat	12
2.5.6	Matrik Transformasi Daya	13
2.5.7	Matrik Transformasi Anjakan	14
2.5.8	Matrik Kekukuhan Global	15
2.5.9	Matrik Kekukuhan Struktur	16
2.5.10	Penggunaan Kaedah Kekukuhan Terhadap Kekuda Satah	16
2.5.11	Kesan Perubahan Suhu	18
2.5.12	Kesan Ralat Pembinaan	19
2.5.13	Analisis Kekuda Satah Yang Mengalami Kesan Perubahan Suhu dan Ralat Pembinaan Anggota	20
2.5.14	Analisis Matrik Kekukuhan Bagi Anggota Kekuda Ruang	21
2.6	Analisis Matrik Kekukuhan Kerangka dan Rasuk	21
2.6.1	Identifikasi Anggota dan Nod	21
2.6.2	Koordinat Global dan Setempat Anggota	21
2.6.3	Darjah Kebebasan	21
2.6.4	Beban Pada Anggota	22
2.6.5	Matrik Anjakan	22
2.6.6	Matrik Daya	23
2.6.7	Matrik Kekukuhan Global Anggota Bagi Kerangka	24

2.6.8	Matrik kekukuhan global anggota bagi Rasuk	24
2.6.9	Penggunaan Kaedah Kekukuhan Dalam Analisis Kerangka dan Rasuk	25
<b>Bab 3</b>	<b>ANALISIS BERKOMPUTER MENGGUNAKAN LUSAS</b>	<b>27</b>
3.1	Analisis berkomputer	27
3.2	Konsep asas kaedah unsur terhingga	28
3.3	Jenis elemen	28
3.4	Perisian LUSAS	31
3.4.1	Permulaan	31
3.4.2	Pembinaan model	33
3.4.3	Penetapan <i>Attributes</i>	34
3.4.4	Penetapan elemen	35
3.4.5	Penetapan Geometri	36
3.4.6	Penetapan Bahan	37
3.4.7	Penetapan sokong	38
3.4.8	Penetapan beban	39
3.5	Analisa LUSAS	46
<b>Bab 4</b>	<b>ANALISIS KEKUDA SATAH</b>	<b>48</b>
4.1	Pengenalan	48
4.2	Analisis Manual	48
4.3	Analisis Kekuda Satah Menggunakan Kaedah Matrik Kekukuhan	49
4.3.1	Kesan Tindakan Beban Kenaan dan Enapan	52
4.3.2	Kesan Ralat Pembinaan Anggota	55

4.3.3	Kesan Perubahan Suhu Terhadap Anggota Struktur.	59
4.4	Analisis kekuda menggunakan perisian LUSAS	65
<b>Bab 5</b>	<b>ANALISIS KERANGKA SATAH</b>	<b>68</b>
5.1	Pengenalan	68
5.2	Analisis Kerangka Satah Menggunakan Kaedah Matrik Kekukuhan	68
5.2.1	Kesan Tindakan Enapan	68
5.2.2	Kesan Ralat Pembinaan	73
5.2.3	Kesan Perubahan Suhu	76
5.3	Hasil Analisis LUSAS	79
<b>Bab 6</b>	<b>ANALISIS RASUK</b>	<b>84</b>
6.1	Pengenalan	84
6.2	Analisis Rasuk Menggunakan Kaedah Matrik Kekukuhan	84
6.2.1	Kesan Tindakan Enapan Sokong	87
6.2.2	Kesan Ralat Pembinaan	89
6.2.3	Kesan Perubahan Suhu	94
6.3	Hasil Analisis LUSAS	97
<b>Bab 7</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	<b>101</b>
7.1	Pengenalan	101
7.2	Perbandingan Keputusan Analisis	101
7.3	Perbandingan Keputusan Analisis Kekuda Satah	102
7.3.1	Kesan Beban Kenaan dan Enapan Sokong Kekuda	102

7.3.2	Kesan Ralat Pembinaan Anggota Kekuda	103
7.3.3	Kesan Perubahan Suhu Anggota Kekuda	103
7.4	Hasil Keputusan Analisis Kerangka Satah	104
7.4.1	Kesan Enapan Sokong	105
7.4.2	Kesan Ralat Pembinaan	105
7.4.3	Kesan Perubahan Suhu	106
7.5	Hasil Keputusan Analisis Kerangka Satah	106
7.5.1	Kesan Gabungan Beban Kenaan dan Enapan Sokong	107
7.5.2	Kesan Ralat Pembinaan Anggota Rasuk	107
7.5.3	Kesan Perubahan Anggota Rasuk	108
7.6	Perbincangan	108
<b>Bab 8</b>	<b>KESIMPULAN</b>	<b>110</b>
8.1	Hasil Kajian Analisis	110
8.2	Cadangan Kajian Seterusnya	111
	<b>RUJUKAN</b>	<b>112</b>

## SENARAI RAJAH

RAJAH NO	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Sistem penomboran anggota dan nod	8
2.2	Hujung mula dan hujung akhir dan paksi koordinat setempat	9
2.3	Anggota kekuda	12
3.1	Jenis-jenis unsur terhingga	30
3.2	Kotak dialog membina fail baru	32
3.3	Kotak dialog <i>Properties</i>	33
3.4	Kotak dialog penyemakan unit	33
3.5	Arahan menu <i>Points</i>	34
3.6	Kotak dialog <i>Mesh</i>	35
3.7	Kotak dialog penetapan geometri	36
3.8	Kotak dialog <i>Materials</i>	37
3.9	Penetapan sokong pin	38
3.10	Penetapan sokong rola	39
3.11	Penetapan beban tumpu	40
3.12	Beban akibat ralat pembinaan anggota	41
3.13	Penetapan akibat kesan enapan	42
3.14	Penetapan akibat kesan perubahan suhu	43
3.15	Model kekuda satah yang dibebani beban tumpu pada nod 2	44
3.16	Model kekuda satah yang dibebani beban tumpu dan kesan ralat pembinaan anggota	44
3.17	Model kekuda satah yang dibebani beban tumpu dan kesan enapan pada nod 25	45

3.18	Model kekuda satah yang dibebani beban tumpu dan kesan perubahan suhu pada anggota	45
3.19	Kotak dialog <i>Print Result Wizard</i>	46
3.20	Jadual anjakan pada nod	47
3.21	Gambarajah daya ricih	47
4.1	Kekuda satah	49
4.2	Jadual anjakan pada nod bagi kes enapan sokong	65
4.3	Daya ricih akibat kesan enapan	65
4.4	Anjakan pada nod akibat ralat pembinaan	66
4.5	Anjakan pada nod akibat kesan perubahan suhu	66
4.6	Daya tindak balas pada nod akibat kesan perubahan suhu	67
5.1	Kerangka satah	69
5.2	Sistem penomboran dan darjah kebebasan kerangka satah	69
5.3	Anjakan pada nod nod akibat kesan enapan	79
5.4	Daya tindak balas pada sokong akibat kesan enapan	80
5.5	Anjakan pada nod akibat ralat pembinaan	80
5.6	Anjakan pada nod akibat kesan perubahan suhu	81
5.7	Daya tindak balas pada nod akibat kesan perubahan suhu	82
5.8	Model kerangka satah yang berlaku kesan enapan	82
5.9	Model kerangka satah yang berlaku kesan ralat pembinaan	82
5.10	Model kerangka satah yang berlaku kesan perubahan suhu	83
6.1	Rasuk	84
6.2	Darjah kebebasan bagi rasuk	85
6.3	Rasuk kes-2	89
6.4	Darjah kebebasan bagi rasuk kes 2	90
6.5	Daya paksi dan momen hujung terikat	90
6.6	Anjakan pada nod akibat kesan enapan	97
6.7	Daya pada nod akibat kesan enapan	97
6.8	Anjakan pada nod akibat kesan ralat pembinaan	98
6.9	Anjakan pada nod akibat kesan perubahan suhu	98
6.10	Model rasuk akibat kesan enapan pada nod	99
6.11	Model rasuk akibat kesan ralat pembinaan anggota	99
6.12	Model rasuk akibat kesan perubahan suhu anggota	100

**SENARAI JADUAL**

<b>JADUAL NO</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
3.1	Pengelasan elemen	29
7.1	Perbandingan anjakan pada nod kekuda kesan enapan dan beban kenaan	102
7.2	Perbandingan daya tindak balas kekuda kesan beban kenaan dan enapan	103
7.3	Perbandingan anjakan pada nod kekuda akibat kesan ralat pembinaan	103
7.4	Perbandingan anjakan pada nod kekuda akibat kesan perubahan suhu	104
7.5	Perbandingan daya tindak balas kekuda akibat kesan perubahan suhu	104
7.6	Perbandingan anjakan pada nod kerangka satah akibat kesan enapan	105
7.7	Perbandingan daya tindak balas kerangka satah akibat kesan enapan	105
7.8	Perbandingan anjakan pada nod kerangka satah akibat kesan ralat pembinaan	106
7.9	Perbandingan anjakan pada nod kerangka satah kesan perubahan suhu	106
7.10	Perbandingan daya tindak balas kerangka satah kesan perubahan suhu	106
7.11	Perbandingan anjakan pada nod rasuk akibat kesan beban kenaan dan enapan	107

7.12	Perbandingan daya tindak balas rasuk akibat kesan beban kenaan dan enapan	107
7.13	Perbandingan anjakan pada nod rasuk akibat kesan ralat pembinaan	108
7.14	Perbandingan anjakan pada nod rasuk akibat kesan perubahan suhu	108

**SENARAI SIMBOL**

$f$	-	daya
$\delta$	-	pemendekan atau pemanjangan
$L$	-	panjang anggota
$A$	-	luas keratan rentas
$E$	-	nilai modulus Young
$k$	-	matrik kekukuhan anggota
$K$	-	matrik kekukuhan struktur
$\Delta$	-	anjakan
$T$	-	matrik transformasi anjakan
$\alpha$	-	pekali pengembangan suhu.
$\Delta T$	-	anjakan akibat perubahan suhu
$\Delta L$	-	anjakan akibat perubahan panjang
$q$	-	daya dalaman anggota
$d$	-	anjakan anggota
$D$	-	anjakan global struktur
$Q$	-	daya dalam sistem global struktur
$\Delta_u$	-	anjakan yang tidak diketahui
$\Delta_k$	-	anjakan yang diketahui

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Pengenalan**

Pada masa kini, segala kerja telah dipermudahkan dengan perisian-perisian yang canggih. Perisian-perisian ini bukan sahaja membantu jurutera dalam menganalisis dengan cepat malah dapat menghasilkan keputusan dan hasil dengan tepat. Namun begitu, adalah lebih bagus sekiranya mengetahui dan memahami bagaimana perisian-perisian tersebut dijalankan dan dipraktikkan.

Bagi pihak jurutera, tugas dan kerja mereka bukan sahaja sekadar menjalankan analisis dengan memasukkan nilai-nilai tertentu sahaja. Malah, adalah sangat berguna sekiranya jurutera mengetahui bagaimana operasi analisis itu dilakukan agar dapat menggunakan perisian tersebut dengan lebih cekap dan berkesan.

Oleh itu, projek ini cuba menjalankan kajian tentang proses analisis struktur dengan menggunakan kaedah kekukuhan. Kajian ini cuba mengungkap apakah terdapat perbezaan diantara analisis dengan menggunakan kaedah kekukuhan, kaedah klasik dan analisis menggunakan perisian. Perisian yang akan digunakan ialah perisian LUSAS. Perisian ini dibina berdasarkan analisis kaedah elemen terhingga dimana asasnya adalah berdasarkan analisis kaedah kekukuhan.

Pada ketika ini, analisis struktur banyak membuat kajian yang melibatkan struktur ditindaki beban keaanan dan beban graviti contohnya beban tumpu, beban

teragih dan momen. Namun, pada kali ini, projek ini akan membincangkan dan membuat analisis terhadap kesan perubahan suhu, kesan terhadap ralat pembinaan anggota dan kesan enapan pada sokong dengan menggunakan kaedah matrik kekukuhan.

## **1.2    Penyataan masalah**

Dalam mana-mana projek-projek pembinaan, analisis struktur diperlukan bagi membantu para jurutera merekabentuk sesebuah struktur sehinggalah keseluruhan bangunan atau projek. Bagi membantu dan memudahkan jurutera menjalankan kerja rekabentuk dan analisis, perisian-perisian yang tertentu diperkenalkan dan dipraktikkan selaras dengan kemajuan teknologi yang makin pesat membangun. Salah satu perisian yang sering digunakan ialah perisian LUSAS.

Oleh itu, melalui kajian ini, kita akan dapat memberi justifikasi dan bukti bagaimana sesuatu perisian itu menjalankan analisis struktur agar jurutera akan lebih yakin mempraktikkan perisian. Malah, dapat menghargai ilmu yang telah dipelajari terutama tentang analisis struktur.

Selain itu, melalui kajian ini juutera akan dapat memantapkan lagi pemahaman tentang analisis struktur menggunakan kaedah matrik kekukuhan. Hal ini demikian, analisis kaedah matrik kekukuhan ini merupakan asas kepada analisis yang dijalankan oleh perisian ini.

## **1.3    Objektif kajian.**

Ia sangat penting untuk mengetahui secara mendalam analisis kaedah kekekuan terhadap struktur. Oleh itu, melalui kajian projek ini akan tercapailah objektif sebenar projek ini iaitu :

- a) Mengkaji dengan mendalam analisis struktur dengan menggunakan kaedah kekukuhan.

- b) Mengkaji penggunaan kaedah matriks kekukuhan dalam menganalisis
- Struktur-struktur yang berbeza.
  - Struktur di bawah tindakan pelbagai daya dan berbeza daya.
  - Struktur dengan kombinasi daya-daya yang berbeza.
- c) Membandingkan analisis berdasarkan kaedah kekukuhan dengan analisis daripada perisian LUSAS.

#### **1.4 Skop kajian.**

Dalam kajian ini, jenis-jenis struktur yang akan dikaji ialah kerangka satah, rasuk selanjur, kekuda satah. Analisis yang dijalankan ditunjukkan melalui nilai-nilai anjakan, daya ricih, daya paksi, momen hujung dan daya tindak balas pada sokong.

Kajian ini akan cuba mengungkap kesan tindakan beban akibat daripada perubahan suhu, enapan pada sokong dan kesan ralat pembinaan anggota. Seterusnya, akan cuba menganalisis berdasarkan kombinasi daya-daya yang berbeza itu.

Analisis yang dijalankan akan menggunakan kaedah kekukuhan dan dibandingkan dengan kaedah analisis perisian. Perisian yang akan digunakan ialah perisian LUSAS.

LUSAS merupakan perisian yang selalu dipraktikkan oleh jurutera untuk menganalisis struktur. Ia menganalisis berdasarkan kaedah elemen terhingga yang pada dasarnya dan asasnya adalah kaedah kekukuhan.

#### **1.5 Kepentingan kajian.**

Kajian terhadap analisis struktur ini adalah sangat penting dan perlu dilaksanakan kerana melalui analisis ini kita dapat mengenalpasti dan memberi kita panduan untuk merekabentuk sesuatu stuktur. Melalui kaedah-kaedah analisis struktur seperti kaedah matrik kekukuhan, kaedah unsur terhingga mahupun kaedah

klasik seperti kaedah momen dan beban unit, kita dapat membuktikan kesan tindakan akibat pelbagai beban seperti beban kenaan, kesan perubahan suhu, kesan ralat pembinaan anggota dan enapan pada sokong dan sebagainya.

Selain itu, hasil daripada kajian ini dapat membuktikan analisis yang dijalankan oleh perisian-perisian melalui kaedah kekukuhan. Kini, pelbagai perisian telah dikeluarkan bagi memudahkan jurutera menjalankan kerja-kerja mereka seperti kerja merekabentuk, kerja menganalisis struktur, kerja merancang projek dan sebagainya. antara perisian-perisian yang dipraktikkan oleh jurutera ialah LUSAS, Esteem, Staad Pro, Microsoft Project, Primavera dan sebagainya. Namun begitu, dengan kajian ini kita dapat mengkaji bagaimana sesuatu perisian analisis seperti LUSAS menjalankan analisis terhadap struktur.

Malah, melalui kajian ini dapat membuktikan dan mengetahui kesan tindakan pelbagai beban selain daripada beban kenaan terutama beban graviti. Antaranya ialah kesan tindakan beban akibat ralat pembinaan, kesan perubahan suhu dan kesan enapan pada sokong. Sebelum ini, analisis banyak tertumpu terhadap kesan akibat beban kenaan graviti. Namun, kesan beban akibat daripada suhu, ralat pembinaan dan enapan pada sokong boleh mempengaruhi kestabilan struktur. Melalui kajian ini, kita dapat menghargai dan menyedari betapa pentingnya pengaruh suhu, ralat pembinaan dan enapan pada sokong terhadap kestabilan struktur.

## **BAB II**

### **KAJIAN LITERATUR**

#### **2.1 Pengenalan kajian literatur**

Pada masa dahulu, struktur-struktur dianalisis dan direkabentuk berdasarkan pengalaman perekabentuk. Malah, sebelum wujudnya kaedah analisis struktur yang khusus kesesuaian rekabentuk dinilai berdasarkan perlakuan struktur setelah struktur itu siap dibina dan digunakan. Dan sekiranya tedapat atau berlaku kecacatan, kerosakan atau kekurangan, kerja-kerja pengubahsuaian dijalankan terhadap struktur yang terlibat. Berdasarkan pengalaman empirikal ini, bermulalah satu titik permulaan bagi analisis struktur berkembang.

Dengan merujuk kepada pengalaman-pengalaman yang didapati, ahli-ahli matematik dan perekabentuk telah berusaha untuk meningkatkan lagi kaedah analisis struktur. Malah, permintaan terhadap kaedah analisis yang lebih berkesan telah meningkat dengan pesat sehingga timbul minat ahli-ahli matematik dan perekabentuk untuk mencipta dan menerbitkan kaedah analisis struktur yang lebih berkesan dan lebih khusus bagi menyelesaikan masalah-masalah mengenai struktur.

Seterusnya, terbitlah dan timbullah beberapa penemuan dan pembaharuan mengenai analisis struktur. Kaedah analisis yang digunakan lebih khusus dan lebih berkesan. Para ahli matematik telah berjaya menimbulkan beberapa kaedah analitikal seperti kaedah beban unit, kaedah pengagihan momen, kaedah kebolehlenturan dan sebagainya.

Saban tahun para ahli matematik dan perekabentuk mengkaji kaedah yang lebih khusus dan berkesan dan akhirnya timbullah kaedah kekukuhan dan kaedah unsur terhingga. Kaedah ini juga dipermudahkan dengan menggunakan dan mempraktikkan pendekatan numerikal melalui kaedah matriks. Malah, dengan berkembangnya teknologi yang canggih, keupayaan pengiraan analisis struktur yang rumit dapat diselesaikan dengan mudah dengan menggunakan penemuan teknologi komputer. Kaedah-kaedah moden ini bukan sahaja membantu para jurutera menyelesaikan masalah struktur yang rumit, malah membantu para jurutera menyelesaikannya dengan masa yang singkat.

## **2.2 Kaedah Analitikal Klasik**

Kaedah analitikal klasik tidak seharusnya diabaikan dan ditinggalkan begitu sahaja memandangkan penggunaan pelbagai perisian komputer sudah menjadi kelaziman dan kebiasaan. Kaedah analitikal klasik masih boleh memberi sumbangan dan peranan yang penting kepada para jurutera terutama sebagai satu cara bagi menyemak penyelesaian yang telah dijalankan melalui perisian mahupun kaedah kekukuhan dan kaedah unsur terhingga. Kaedah klasik yang dimaksudkan ialah kaedah beban unit dan kaedah agihan momen.

## **2.3 Pengenalan Kaedah Matrik Kekukuhan**

Bagi menganalisis struktur berdasarkan kaedah matrik, terdapat dua kaedah utama iaitu kaedah kebolehlenturan dan kaedah kekukuhan. Namun begitu, pendekatan analisis struktur menggunakan kaedah matrik kekukuhan lebih meluas. Malah, kebanyakan perisian di pasaran dan yang digunakan adalah berdasarkan kaedah matrik kekukuhan. Perbezaan utama diantara kedua-dua kaedah analisis ini ialah bagi kaedah kekukuhan, ialah anjakan nod yang tidak diketahui akan dicari dahulu kemudian daya-daya yang berkaitan seperti tindak balas, ricih, momen dan daya paksi diselesaikan dan dianalisis menggunakan nilai anjakan nod itu. Berlainan dengan kaedah kebolehlenturan, kaedah ini mencari daya-daya yang tidak diketahui

dahulu kemudian dengan menggunakan daya-daya itu, anjakan pada sambungan dan nod dapat diketahui.

#### **2.4 Sejarah perkembangan kaedah matriks kekukuhan.**

Analisis kaedah kekukuhan ini telah digunakan dan diperkenalkan sejak awal 1940-an. Ia bermula dan diperkembangkan dari teknik kemahiran analisis rangka kepala terbang. Kemudian, dengan kajian yang berterusan kaedah kekukuhan ini telah digunakan dan dipraktikkan untuk dan sebagai teknik penyelesaian masalah dalam berbagai-bagai bidang kejuruteraan.

Perkembangan ini disebabkan oleh sifat-sifat kekukuhan itu sendiri sebagai suatu kaedah analisis berangka yang sangat berkesan bagi menyelesaikan pelbagai masalah dalam bidang kejuruteraan terutama dalam kejuruteraan awam.

Kaedah kekukuhan ini telah bermula pada tahun 1941 dimana A. Heinikoff telah membuat anggapan dan kesimpulan iaitu yang struktur selanjur boleh dibahagikan kepada unsur-unsur terhingga. Setiap unsur-unsur ini bersambung pada nod unsur atau titik unsur. Kesimpulan ini merupakan titik permulaan bagi perkembangan kaedah kekukuhan.

Kemudian pada tahun 1954, Agris dan rakan-rakannya mengemukakan satu siri kertas kerja yang membincangkan analisis struktur secara lurus menggunakan kaedah unsure terhingga. Mereka juga mndakwa bahawa teknik ini sesuai ditulis dalam bahasa komputer sebagai analisa berkomputer secara automatik.

Dua tahun kemudian, Turne, Clough, Martin dan Jopp membuat kesimpulan bahawa penyelesaian sebenar masalah tegasan satah dengan unsur segitiga dengan ciri-ciri bahan boleh ditentukan daripada persamaan teori keanjalan lurus bahan tersebut.

Pada tahun 1963, Baseling, Melosh, Freijs de Veubike dan Jones telah membuktikan bahawa kaedah unsur terhingga merupakan satu bentuk dari kaedah

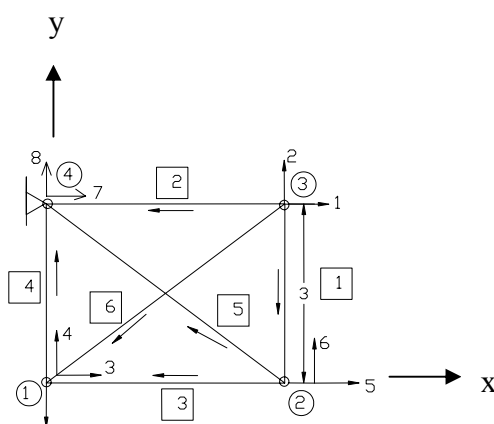
Ritz dan mengesahkan kaedah kekukuhan adalah satu teknik analisis berangka umum untuk selesaikan masalah keanjalan selanjar.

Detik bermulanya penyampaian meluas ialah pada tahun 1965 apabila Zienkiewicz dan Cheung melaporkan bahawa kaedah kekukuhan boleh digunakan dalam masalah untuk semua bidang yang boleh ditukarkan dalam bentuk pembezaan.

Sejak peristiwa bersejarah itu berlaku, penggunaan kaedah kekukuhan bertambah meluas. Buktinya ialah pada tahun 1969, Szabo dan Lee telah menunjukkan bahawa hubungan persamaan unsur dengan kaji daya struktur, pemindahan haba dan kaji daya bendalir boleh dihasilkan dengan menggunakan kaedah Glerkin.

Penggunaan kaedah ini semakin popular dan dianggap berkesan setelah munculnya komputer digital berkelajuan tinggi. Selepas itu, analisis kaedah kekukuhan dipraktikkan dengan bantuan komputer. Dengan cara ini, penyelesaian analisis dapat dilakukan dengan ketetapan yang tinggi dan menjimatkan masa analisis jika melibatkan struktur yang rumit, besar dan kompleks.

## 2.5 Analisis matrik kekukuhan bagi kekuda.



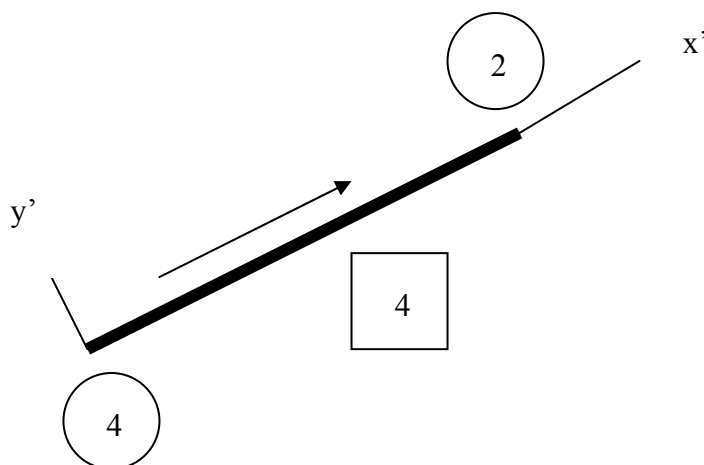
**Rajah 2.1: Sistem penomboran anggota dan nod.**

**: Sistem paksi koordinat sejagat**

### 2.5.1 Anggota dan Nod

Berdasarkan kaedah matrik kekakuan, anggota-anggota pada suatu struktur sama ada kekuda, kerangka, rasuk dan sebagainya dimodelkan sebagai suatu unsur-unsur garis yang bersambung pada suatu titik yang dipanggil nod. Setelah itu, anggota dan nod ini akan diberi suatu sistem penomboran bagi memudahkan rujukan dibuat dalam analisis. Nod-nod bagi unsur-unsur tersebut diletakkan pada pertemuan penyokong dan anggota dan sambungan antara anggota. Biasanya, di nod-nod inilah tempat dan titik dimana daya dikenakan, anjakan linear dan anjakan putaran hendak diketahui.

Jika dilihat pada rajah 1 di atas, menunjukkan satu contoh bagaimana suatu sistem penomboran anggota dan nod dibuat. Di dalam rajah ini, nombor yang dibulatkan merupakan nombor nod manakala nombor yang berada di dalam kotak segiempat merupakan nombor anggota. Pada setiap anggota, hujung mula dan hujung akhir ditentukan dengan menggunakan anak panah pada anggota tersebut. Arah ini adalah sangat penting kerana ia sangat penting dalam membuat analisis nanti.



**Rajah 2.2 : Hujung mula dan hujung akhir dan paksi koordinat setempat**

### 2.5.2 Sistem koordinat tempatan dan global.

Beban dan anjakan adalah kuantiti vektor. Oleh sebab itu, arah beban dan anjakan perlu dikenalpasti dan ditentukan berdasarkan standard panduan paksi. Terdapat dua sistem koordinat digunakan iaitu sistem koordinat tempatan dan sistem koordinat sejagat. atau global

Sistem koordinat sejagat digunakan bagi menentukan arah daya-daya luaran iaitu beban yang dikenakan dan daya tindak balas pada penyokong dan anjakan luaran pada nod-nod. Sistem koordinat sejagat ini boleh dilihat pada Rajah 2.1. Setiap struktur perlu mempunyai satu sistem paksi sejagat saja bagi memudahkan nod dirujuk. Biasanya, paksi-x sejagat, pada arah mendatar dan paksi-y sejagat pada arah menegak. Oleh itu, jika menggunakan hukum tangan kanan, paksi-z sejagat adalah pada arah keluar pada satah atau bersudut tepat pada satah xy.

Sistem paksi setempat pula bertujuan untuk menentukan arah daya dalaman sama ada ricih atau momen dan anjakan dalaman pada nod-nod. Setiap anggota pada struktur akan mempunyai paksi setempat atau paksi  $x'$  dan  $y'$  sendiri. Sistem koordinat atau paksi  $x'$  dan  $y'$  ini boleh dirujuk pada Rajah 2.2.

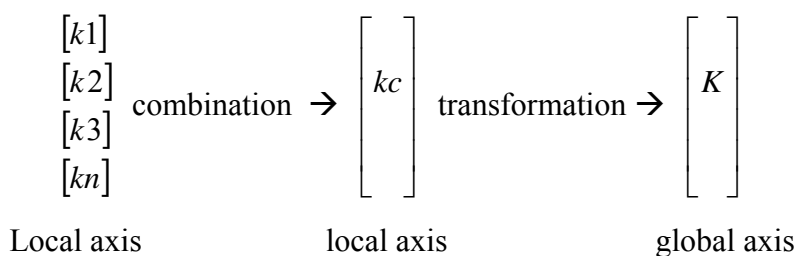
### 2.5.3 Darjah kebebasan

Darjah kebebasan bagi kekuda adalah anjakan yang tidak diketahui. Secara umumnya, terdapat dua komponen anjakan pada setiap nod bagi kekuda. Di dalam analisis, anjakan yang tidak diketahui merupakan suatu perkara yang berubah-ubah yang perlu ditentukan. Darjah kebebasan perlu mempunyai sistem penomboran yang betul. Sistem penomboran darjah ini perlu bermula dengan darjah kebebasan yang tidak diketahui dan kemudian disusuli dengan darjah kebebasan yang diketahui. Umumnya, darjah kebebasan yang diketahui berlaku pada sokong dimana ia berada dalam keadaan sekatan. Merujuk kepada Rajah 2.1, nombor 1 hingga 6 merupakan darjah kebebasan yang tidak diketahui dan manakala nombor 7 dan 8 adalah darjah kebebasan yang diketahui dimana niainya adalah sifar.

### 2.5.4 Matriks kekukuhan

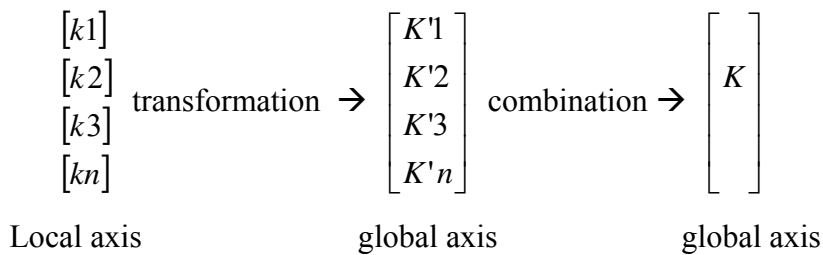
Kekukuhan anggota-anggota kekuda berfungsi berdasarkan panjang anggota, luas keratan rentas dan modulus elastik. Setelah nod, anggota dan sistem penomboran darjah kebebasan telah ditentukan, matrik kekukuhan bagi anggota boleh ditentukan. Kekukuhan anggota merupakan pekali hubungan di antara beban dan anjakan yang berpandukan kepada sistem paksi setempat. Oleh kerana setiap anggota mempunyai arah yang bebez, daya dalaman dan anjakan yang berpandukan kepada sistem paksi setempat perlu ditukar kepada paksi global atau sejagat. Keadaan ini boleh dilakukan dengan menggunakan matrik transformasi daya dan anjakan. Setelah itu, matrik kekukuhan anggota boleh ditukar dan ditransformasi dari paksi setempat ke paksi global dan kemudian dutransformasi kepada matrik kekukuhan struktur.

Terdapat dua kaedah bagi menjalankan kerja pertukaran matrik tersebut. Kaedah yang pertama ialah dengan membentuk matrik kekukuhan anggota,  $k$  berdasarkan sistem paksi setempat. Kemudian, gabung segala matrik-matrik untuk segala anggota,  $kc$ . Gabungan matrik ini masih dalam keadan sistem paksi setempat. Setelah itu, matrik  $kc$  itu ditransformasi kepada matrik kekukuhan yang berpandukan pada sistem paksi global,  $K$ . Namun begitu, kaedah pertama ini tidak sesuai bagi komputer untuk menganalisis kerana terdapat kesukaran dalam proses pertukaran matrik,  $K$  untuk semua anggota kekuda. Secara ringkasnya, diagram di bawah menerangkan kaedah pertama ini.



Kaedah kedua pula berlainan dimana setiap kekukuhan anggota,  $k$  yang berpandukan kepada paksi setempat ditukar kepada paksi global,  $K'$ . Seterusnya kekukuhan anggota digabung kepada satu matrik yang dipanggil matrik kekukuhan

struktur,  $K$ . Secara ringkasnya, diagram di bawah menunjukkan segala proses bagi kaedah kedua ini.



### 2.5.5 Matrik kekakuan anggota kekuda setempat

Pada nod A, anggota akan mengalami pemendekan sebanyak  $\delta_A$ , akibat daripada daya paksi  $f'_A$ .  $f'_B$  merupakan daya tindak balas pada B. Sekiranya,  $A$ ,  $E$  dan  $L$  adalah luas keratan rentas, modulus elastik dan panjang anggota, maka hubungan diantara daya paksi dan anjakan boleh dirumuskan sebagai :

$$f'_A = \frac{AE}{L} \delta_A \quad \text{dan} \quad f'_B = -\frac{AE}{L} \delta_A$$

Nilai  $f'_B$  adalah negatif kerana ia berarah negatif paksi-x.

Seterusnya, anggota yang sama dipertimbangkan tetapi dipin pada nod A seperti ditunjukkan pada rajah 3(b). Akibat daripada daya paksi  $f''_B$  pada nod B, anggota akan mengalami pemanjangan sebanyak  $\delta_B$ . Oleh itu, hubungan diantara daya paksi dan anjakan boleh dirumuskan sebagai :

$$f''_A = -\frac{AE}{L} \delta_B \quad \text{dan} \quad f''_B = \frac{AE}{L} \delta_B$$

Daya sebenar pada A dan B diperoleh dengan superposisi:

$$f_A = f'_A + f''_A$$

$$f_A = \frac{AE}{L} \delta_A - \frac{AE}{L} \delta_B$$

dan

$$f_B = f'_B + f''_B$$

$$f_B = \frac{AE}{L} \delta_B - \frac{AE}{L} \delta_{AC}$$

Kedua-dua persamaan itu boleh ditulis dalam bentuk matrik:

$$\begin{bmatrix} f_A \\ f_B \end{bmatrix} = \frac{AE}{L} \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} \begin{bmatrix} \delta_A \\ \delta_B \end{bmatrix}$$

Atau,

$$f = k\delta$$

$$k = \frac{AE}{L} \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} \text{ or } k = \begin{vmatrix} AE/L & -AE/L \\ -AE/L & AE/L \end{vmatrix} \text{ atau } k = \begin{vmatrix} k_{11} & -k_{12} \\ -k_{21} & k_{22} \end{vmatrix}$$

Matrik k, dipanggil sebagai matrik kekukuhan anggota. Simbol  $k_{ij}$  bermaksud daya pada nod  $i$  yang disebabkan oleh anjakan  $\delta_A = 1$  ditentukan dengan  $i = j = 1$ , maka

$$f_A = k_{11} = \frac{AE}{L}$$

### 2.5.6 Matrik transformasi daya

Oleh kerana, daya dalaman dan anjakan adalah berpandukan kepada paksi setempat, maka adalah perlu untuk menukar sistem itu kepada sistem paksi global. Pengiraan kos bagi sudut-sudut itu boleh ditentukan dengan mudah dan dinyatakan sebagai  $\lambda_x$  dan  $\lambda_y$ , maka

$$\lambda_x = \cos \theta_x = \frac{X_B - X_A}{L_{AB}} = \frac{X_B - X_A}{\sqrt{[(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2]}}$$

$$\lambda_y = \frac{(X - \text{koordinat})_{\text{nod akhir}} - (X - \text{koordinat})_{\text{nod mula}}}{\text{panjang anggota}}$$

$$\lambda_y = \cos \theta_y = \frac{Y_B - Y_A}{L_{AB}} = \frac{Y_B - Y_A}{\sqrt{[(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2]}}$$

$$\lambda_y = \frac{(Y - \text{koordinat})_{\text{nod akhir}} - (Y - \text{koordinat})_{\text{nod mula}}}{\text{panjang anggota}}$$

### 2.5.7 Matrik transformasi anjakan

Sekiranya anggota AB dimana dipin pada B dipertimbangkan, nod A mengalami anjakan pada arah x dan y (dua darjah kebebasan dalam sistem paksi global), contohnya  $\Delta_{Ax}$  dan  $\Delta_{Ay}$ . Anjakan dalam paksi-x boleh ditentukan dengan menambah komponen anjakan  $\Delta_{Ax}$  dan  $\Delta_{Ay}$  pada paksi-x.

$$\delta_A = \Delta_{Ax} \cos \theta_x + \Delta_{Ay} \cos \theta_y$$

Sekiranya, nod pula dipin, nod B pula akan mengalami anjakan pada arah x dan y iaitu  $\Delta_{Bx}$  dan  $\Delta_{By}$ . Maka,

$$\delta_B = \Delta_{Bx} \cos \theta_x + \Delta_{By} \cos \theta_y$$

Dengan  $\lambda_x = \cos \theta_x$  dan  $\lambda_y = \cos \theta_y$

$$\delta_A = \Delta_{Ax} \lambda_x + \Delta_{Ay} \lambda_y$$

$$\delta_B = \Delta_{Bx} \lambda_x + \Delta_{By} \lambda_y$$

Dan sekiranya ditulis dalam bentuk matrik

$$\begin{bmatrix} \delta_a \\ \delta_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_x & \lambda_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_x & \lambda_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta ax \\ \Delta ay \\ \Delta bx \\ \Delta by \end{bmatrix}$$

Atau

$$\delta = T\Delta$$

dimana

$$T = \begin{vmatrix} \lambda_x & \lambda_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_x & \lambda_y \end{vmatrix}$$

T merupakan matrik yang berfungsi menukarkan empat anjakan,  $\Delta$  kepada dua anjakan setempat,  $\delta$ . Oleh itu, T dipanggil sebagai matrik transformasi anjakan.

### 2.5.8 Matrik kekukuhan global anggota bagi kekuda

Matrik kekukuhan global anggota kekuda ditentukan daripada hubungan antara matrik daya luaran F dan matrik daya dalaman  $\Delta$ . Dengan memasukkan formula  $\delta = kT$  kepada formula  $f = k\delta$ , maka

$$F = kT\Delta$$

Dan dengan memasukkan rumus in ke dalam rumus  $F = T^T f$ , maka

$$F = T^T kT\Delta$$

$$\text{Atau } F = K'\Delta$$

Dimana

$$K' = T^T kT$$

$$K' = \begin{vmatrix} \lambda_x & 0 \\ \lambda_y & 0 \\ 0 & \lambda_x \\ 0 & \lambda_y \end{vmatrix} \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{vmatrix} \lambda_x & \lambda_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_x & \lambda_y \end{vmatrix}$$

$$= \frac{AE}{L} \begin{vmatrix} \lambda_x^2 & \lambda_x \lambda_y & -\lambda_x^2 & -\lambda_x \lambda_y \\ \lambda_x \lambda_y & \lambda_y^2 & -\lambda_x \lambda_y & -\lambda_y^2 \\ -\lambda_x^2 & -\lambda_x \lambda_y & \lambda_x^2 & \lambda_x \lambda_y \\ -\lambda_x \lambda_y & -\lambda_y^2 & \lambda_x \lambda_y & \lambda_y^2 \end{vmatrix}$$

### 2.5.9 Matrik kekukuhan struktur kekuda

Setelah matrik kekukuhan anggota dalam sistem paksi global,  $K'$  ditentukan, langkah seterusnya ialah menentukan matrik kekukuhan struktur bagi kekuda,  $K$  iaitu dengan menggabungkan matrik  $K'$  setiap sanggota ke dalam satu matrik. Semasa membentuk matrik  $K$ , setiap unsur di dalam matrik  $K'$  akan diletak pada lajur dan baris yang sama dengan matrik  $K$ . Oleh itu, akan terdapat beberapa unsur-unsur yang bertindih darjah kebebasannya di dalam matrik  $K$ . Namun begitu unsur-unsur ini boleh dijumlahkan secara algebra.

### 2.5.10 Penggunaan kaedah kekukuhan terhadap analisis kekuda satah

Matrik kekukuhan yang telah diterbitkan akan digunakan bagi menentukan anjakan pada nod, daya tindak balas sokong dan daya paksi. Pertama sekali, matrik anjakan dibahagikan kepada dua bahagian iaitu yang di atas sekali ialah untuk anjakan yang tidak diketahui,  $\Delta u$  dan yang di bawah ialah untuk anjakan yang diketahui,  $\Delta k$  (biasanya bernilai sifar). Kemudian beban yang dikenakan dipisahkan diantara kuantiti yang diketahui,  $F_k$  dan daya tidak balas,  $F_u$ .

$$\begin{bmatrix} F_k \\ F_u \end{bmatrix} = \begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{vmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u \\ \Delta k \end{bmatrix}$$

Dimana

$F_k$  dan  $\Delta k$  : daya dan anjakan luaran yang diketahui.

$F_u$  dan  $\Delta u$  : daya dan anjakan luaran yang tidak diketahui.

$K$  : matrik kekukuhan struktur

Persamaan ini boleh dileraikan menjadi

$$F_k = K_{11} \Delta u + K_{12} \Delta k$$

$$F_u = K_{21} \Delta u + K_{22} \Delta k$$

Jika sokong tidak mengalami anjakan maka nilai  $\Delta k = 0$ . seterusnya persamaan ini menjadi

$$F_k = K_{11} \Delta u$$

Atau

$$\Delta u = \left[ K_{11} \right]^{-1} F_k$$

Persamaan di atas memberikan penyelesaian untuk semua anjakan-anjakan yang tidak diketahui pada semua nod. Dengan memasukkan persamaan in kepada persamaan

$$F_u = K_{21} \Delta u + K_{22} \Delta k$$

Maka

$$F_u = K_{21} \Delta u = K_{21} \left[ K_{11} \right]^{-1} F_k$$

Persaman ini berfungsi untuk menentukan daya tidak balas sokong. Daya di dalam anggota ditentukan daripada persamaan

$$F = k T \Delta$$

Iaitu

$$\begin{bmatrix} F_k \\ F_u \end{bmatrix} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_x & \lambda_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_x & \lambda_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta ax \\ \Delta ay \\ \Delta bx \\ \Delta by \end{bmatrix}$$

Jika ingin menentukan daya  $f_B$ , diketahui persamaan keseimbangan  $f_A = -f_B$ , maka

$$f_B = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} \lambda_x & \lambda_y & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta ax \\ \Delta ay \\ \Delta bx \\ \Delta by \end{bmatrix}$$

Sekiranya nilai  $f_B$  yang diperoleh adalah bernilai positif, maka anggota itu mengalami tegangan dan juga sebaliknya.

### 2.5.11 Kesan perubahan suhu dalam analisis kekuda

Jika berlaku penambahan atau pengurangan suhu,  $\Delta T$  akan berlaku pemanjangan atau penguncupan pemanjangan anggota sepanjang  $\Delta L$  dengan  $\alpha$  iaitu pekali pengembangan suhu.

$$\Delta L = \alpha (\Delta T) L$$

Oleh itu, untuk mengatasi dan mengurangkan pemanjangan tersebut, suatu daya mampatan  $f_o$  dikenakan kepada anggota. Daya mampatan ini akan mengurangkan panjang anggota sebanyak

$$\Delta L' = f_o L / AE.$$

Maka akan diperoleh nilai daya mampatan  $f_o$

$$f_o = AE \alpha \Delta T$$

Daya mampatan ini akan bertindak sebagai daya hujung terikat yang memberikan halangan kepada kedua-dua nod anggota tersebut seperti yang ditunjukkan dalam rajah, maka akan diperoleh

$$(f_A)_o = AE \alpha (\Delta T)$$

$$(f_B)_o = -AE \alpha (\Delta T)$$

Sekiranya berlaku penurunan suhu, ( $\Delta T$ ) akan bernilai negatif maka arah daya-daya akan bertukar untuk mengekalkan keseimbangan anggota.

$$\begin{bmatrix} f_N \\ f_F \end{bmatrix} = AE \alpha (\Delta T) \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

Seterusnya, dengan menggunakan persamaan daya global

$$F = T^t f$$

Daya-daya mampatan ini diubah kepada sistem koordinat global yang mana akan menghasilkan

$$\begin{pmatrix} F_{NX} \\ F_{NY} \\ F_{FX} \\ F_{FY} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_x & 0 \\ \lambda_y & 0 \\ 0 & \lambda_x \\ 0 & \lambda_y \end{pmatrix} AE \alpha (\Delta T) \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$= AE \alpha (\Delta T) \begin{pmatrix} \lambda_x \\ \lambda_y \\ -\lambda_x \\ -\lambda_y \end{pmatrix}$$

### 2.5.12 Kesan ralat pembinaan dalam analisis kekuda

Sekiranya suatu anggota kekuda dibina dengan terlebih panjang sebanyak  $\Delta L$  walaupun anggota tersebut belum dipasangkan bersama dengan anggota-anggota yang lain, maka akan berlaku daya mampatan, fo iaitu

$$f_o = AE (\Delta L) / L$$

$$f_{AO} = AE (\Delta L) / L$$

$$f_{BO} = AE (\Delta L) / L$$

bagi mengurangkan pemanjangan tersebut. Dan sekiranya anggota dibina lebih pendek daripada yang direkabentuk, maka pemanjangan,  $\Delta L$  akan bernilai negatif dan seterusnya mengakibatkan arah kedua-dua daya akan bertukar arah bagi mengekalkan keseimbangan anggota.

Oleh yang demikian, daya global boleh diterbitkan dan diperoleh iaitu

$$F = T^t f$$

$$\begin{pmatrix} (F_{AX})_o \\ (F_{AY})_o \\ (F_{BX})_o \\ (F_{BY})_o \end{pmatrix} = AE (\Delta L) / L \begin{pmatrix} \lambda_x \\ \lambda_y \\ -\lambda_x \\ -\lambda_y \end{pmatrix}$$

### 2.5.13 Analisis matrik kekuda yang mengalami perubahan suhu dan ralat pembinaan

Bagi kekuda yang mengalami perubahan suhu dan ralat pembinaan, hubungan daya dan anjakan ialah

$$F = K\Delta + F_o$$

$F_o$  adalah matrik lajur bagi daya-daya hujung terkat akibat perubahan suhu dan ralat pembinaan anggota bagi keseluruhan kekuda. Unsur-unsur dalam persamaan ini diasingkan dalam bentuk matrik iaitu

$$\begin{bmatrix} F_k \\ F_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u \\ \Delta k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (F_k)_o \\ (F_u)_o \end{bmatrix}$$

Dengan mengembangkan matrik di atas melalui pendaraban matrik, diperoleh

$$F_k = K_{11} \Delta u + K_{12} \Delta k + (F_k)_o$$

$$F_u = K_{21} \Delta u + K_{22} \Delta k + (F_u)_o$$

Anjakan yang tidak diketahui  $\Delta u$  boleh ditentukan dari persamaan di atas dengan menolak  $(F_k)_o$  di kedua-dua belah persamaan dan seterusnya menyelesaikan persamaan yang terhasil bagi memperolehi  $\Delta u$ . in menghasilkan

$$\Delta u = K_{11}^{-1} (F_k - K_{12} \Delta k - (F_k)_o)$$

Seterusnya, daya-daya dalam anggota ditentukan melalui proses superposisi

$$f = kT\Delta + q_o$$

Bagi menentukan daya hujung,  $f_B$  pada sesuatu anggota

$$f_B = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} \lambda_x & \lambda_y & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta ax \\ \Delta ay \\ \Delta bx \\ \Delta by \end{bmatrix} - (f_B)_o$$

$(f_B)_o$  mewakili daya hujung terikat akibat dari perubahan suhu atau ralat pembinaan.

Sekiranya  $f_B$  yang dihitung bernilai negatif maka anggota mengalami daya mampatan dan begitu juga sebaliknya

## **2.6 Analisis matrik kekakuan bagi anggota kerangka dan rasuk**

### **2.6.1 Identifikasi anggota dan nod**

Nod terletak pada sokong, hujung anggota, sambungan, daya tumpu luaran dan dititik di mana anjakan linear atau putaran ditentukan. Bagi memudahkan analisis, nod dinomborkan di dalam bulatan manakala anggota dinomborkan di dalam petak segiempat. Selain itu, adalah penting untuk mengidentifikasi hujung mula dan akhir untuk setiap anggota. Oleh itu, hujung mula dan akhir ditentukan dengan menggunakan arah panah yang diletakkan bersama-sama pada setiap anggota.

### **2.6.2 Koordinat global dan setempat anggota**

Sistem koordinat paksi global struktur dikenalpasti dengan menggunakan paksi  $x, y, z$ . Manakala system koordinat setempat ditentukan dengan menggunakan paksi  $x', y', z'$  dan ia mempunyai titi permulaan pada hujung mula setiap anggota. Kedua-dua system koordinat ini menggunakan hukum tangan kanan.

### **2.6.3 Darjah kebebasan**

Dengan mempertimbangkan kesan daya paksi dan momen lentur, setiap nod anggota kerangka mempunyai tiga darjah kebebasan iaitu dua anjakan linear dan satu anjakan putaran. Anjakan ini dikenalpasti melalui sistem penomboran tersendiri. Nilai nombor yang terendah digunakan untuk mengenalpasti anjakan yang tidak diketahui dan nombor yang tertinggi digunakan untuk menunjukkan anjakan yang diketahui.

Bagi rasuk, kesan paksi dan daya ricih pada rasuk diabaikan. Oleh itu, setiap nod rasuk akan mempunyai satu darjah kebebasan iaitu anjakan putaran.

### 2.6.4 Beban pada anggota

Berdasarkan hukum superposisi, daya atau beban teragih seragam boleh ditunjukkan melalui daya pada nod anggota dan daya tindak balas sokong yang diikat tegar akibat daripada beban anggota.

Dengan menggunakan superposisi, hubungan beban atau daya – anjakan adalah

$$\begin{bmatrix} qNx' \\ qNy' \\ qNz' \\ qFx' \\ qFy' \\ qFz' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} AE/L & 0 & 0 & -AE/L & 0 & 0 \\ 0 & 12EI/L^3 & 6EI/L^2 & 0 & -12EI/L^3 & 6EI/L^2 \\ 0 & 6EI/L^2 & 4EI/L & 0 & -6EI/L^2 & 2EI/L \\ -AE/L & 0 & 0 & AE/L & 0 & 0 \\ 0 & -12EI/L^3 & -6EI/L^2 & 0 & 12EI/L^3 & -6EI/L^2 \\ 0 & 6EI/L^2 & 2EI/L & 0 & -6EI/L^2 & 4EI/L \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} qNx' \\ qNy' \\ qNz' \\ qFx' \\ qFy' \\ qFz' \end{bmatrix}$$

Atau

$$q = k' d$$

dengan  $q$  = daya dalaman anggota

$k'$  = matrik kekukuhan anggota

$d$  = anjakan anggota

### 2.6.5 Matrik anjakan

Bagi menukar anjakan global,  $D$  kepada anjakan setempat, kaedah kekukuhan menggunakan matrik transformasi anjakan iaitu

$$\begin{bmatrix} dNx' \\ dNy' \\ dNz' \\ dFx' \\ dFy' \\ dFz' \end{bmatrix} = \begin{vmatrix} \lambda_x & \lambda_y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\lambda_y & \lambda_x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_x & \lambda_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda_y & \lambda_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{bmatrix} DNx \\ DNy \\ DNz \\ DFx \\ DFy \\ DFz \end{bmatrix}$$

Atau

$$d = T D$$

D = anjakan dalam system global

T = anjakan dalam matrik transformasi

d = anjakan anggota dalam sistem setempat

### 2.6.6 Matrik daya

Bagi menukar daya dalaman anggota daripada sistem setempat  $x', y', z$  kepada system koordinat  $x, y, z$ .

$$Q = T^T q$$

Q = daya dalam sistem global

$T^T$  = matrik transformasi daya

q = daya anggota dalam sistem setempat

$$\begin{bmatrix} QNx' \\ QNy' \\ QNz' \\ QFx' \\ QFy' \\ QFz' \end{bmatrix} = \begin{vmatrix} \lambda_x & -\lambda_y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_x & \lambda_x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_x & -\lambda_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_x & \lambda_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{bmatrix} qNx' \\ qNy' \\ qNz' \\ qFx' \\ qFy' \\ qFz' \end{bmatrix}$$

### 2.6.7 Matrik kekakuan global anggota bagi kerangka

Dengan mengambil kira , hubungan beban atau daya – anjakan, matrik anjakan dan matrik daya iaitu

$$q = k' d$$

$$d = T D$$

$$Q = T^T q$$

Akan menghasilkan

$$Q = k' T D$$

Dan dengan menolak rumus di atas dengan rumus matrik daya, maka

$$Q = T^T k' T D$$

$$Q = k D$$

Dimana

$$k = T^T k' T$$

= matrik kekakuan global untuk anggota

### 2.6.8 Matrik kekakuan global anggota bagi rasuk

Sekiranya rasuk tidak mengalami enapan dan rasuk tidak mempunyai anggota yang tergantung, maka setiap rasuk mempunyai satu darjah kebebasan iaitu anjakan putaran. Oleh kerana daya paksi dan anjakan paksi tidak dipertimbangkan maka matrik kekakuan global untuk anggota rasuk ialah

$$k = \begin{bmatrix} 4EI/L & 2EI/L \\ 2EI/L & 4EI/L \end{bmatrix}$$

Dan oleh kerana putaran tidak ditukar atau ditransformasikan, maka

$$k = k' T$$

### 2.6.9 Penggunaan kaedah kekukuhan dalam analisis kerangka dan rasuk

Sebagai panduan, struktur perlu diperkenalkan dengan nod dan garis bagi mewakili bentuk struktur sebenar. Oleh itu, nod perlu diperkenalkan pada sokong, hujung anggota, sambungan, daya tumpu dan titik di mana anjakan atau enapan ditentukan.

Selain itu, adalah sangat penting untuk memberi nombor kepada nod-nod tersebut seperti yang dilakukan pada kekuda. Titik permulaan paksi global perlu ditentukan dahulu di mana. Malah, semua koordinat untuk setiap nod perlu merujuk pada titik permulaan paksi global. Adalah sangat mustahak juga arah anggota ditentukan bagi menunjukkan arah positif paksi setempat.

Seterusnya, sistem penomboran kepada darjah kebebasan dibuat iaitu bermula dengan darjah yang tidak dikehui dan diikuti dengan darjah kebebasan yang diketahui.

Daya-daya pada nod boleh dihubungkan dengan menggunakan persamaan kekukuhan struktur

$$F = K\Delta$$

Dimana diperoleh dengan mensingkan matrik kekukuhan, K kepada daya serta anjakan yang diketahui dan yang tidak diketahui

$$\begin{bmatrix} F_k \\ F_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta_u \\ \Delta_k \end{bmatrix}$$

Dan jika dikembangkan akan menghasilkan dua persamaan

$$F_k = K_{11} \Delta_u + K_{12} \Delta_k$$

$$F_u = K_{21} \Delta_u + K_{22} \Delta_k$$

Anjakan yang tidak diketahui  $\Delta_u$  ditentukan daripada persamaan pertama. Dengan menggunakan nilai anjakan yang diperolehi, daya tindak balas sokong  $F_u$  dikira menggunakan persamaan kedua.

Bagi kerangka daya-daya pada hujung anggota ditentukan menggunakan hubungan

$$f = kT\Delta \quad (\text{untuk struktur kerangka})$$

$$f = K'\Delta \quad (\text{untuk struktur rasuk})$$

Bagi menentukan daya dalaman anggota,  $q$

$$q = k' T D$$

## **BAB III**

### **ANALISIS BERKOMPUTER MENGGUNAKAN LUSAS**

#### **3.1 Analisis berkomputer**

Pada masa kini, analisis-analisis yang dijalankan kebanyakannya dilakukan dan dijalankan dengan mengaplikasikan penggunaan komputer. Hal ini adalah memandangkan kepesatan teknologi yang sangat cepat berlaku terutama dalam bidang teknologi maklumat. Analisis-analisis itu tidak kira samada dalam bidang kejuruteraan, perubatan, alam sekitar, ekonomi dan sebagainya dijalankan dengan berpandukan dan berbantuan perisian komputer.

Perisian-perisian yang telah dibina dan dimajukan dapat dan mampu memberi kemudahan kepada jurutera dalam menganalisis struktur dengan mudah dan cepat selain menjalankan eksperimen atau kajian di makmal. Perisian-perisian untuk analisis struktur yang telah berada di pasaran adalah seperti LUSAS, StadPro, COSMOS-M, NASTRAN, ABAQUS, ANSYS. Hasil-hasil analisis daripada perisian-perisian ini boleh membantu jurutera menjangka kesan-kesan yang akan berlaku apabila kajian makmal dijalankan.

Dalam kajian ini, perisian yang digunakan adalah perisian yang mengaplikasikan kaedah unsur terhingga iaitu perisian LUSAS. Kaedah unsur terhingga merupakan kaedah yang digunakan bagi menganalisis struktur yang kompleks seperti struktur kerangka pesawat udara, struktur yang tidak seragam, struktur yang mempunyai banyak anggota dan sebagainya.

### 3.2 Konsep asas kaedah unsur terhingga

Kaedah ini diasaskan daripada idea pembinaan blok tanah liat oleh orang-orang Babylon. Idea ini diaplikasikan oleh ahli matematik dengan menggunakan kaedah anggapan geometri untuk mendapatkan panjang ukur lilit satu bulatan dengan mencantumkan beberapa garis lurus di sepanjang ukur lilit bulatan dan menjumlahkannya. Hasil daripada konsep itu, nilai  $\pi$  ditentukan. (Zainudin Taib, Analisis Struktur 2003).

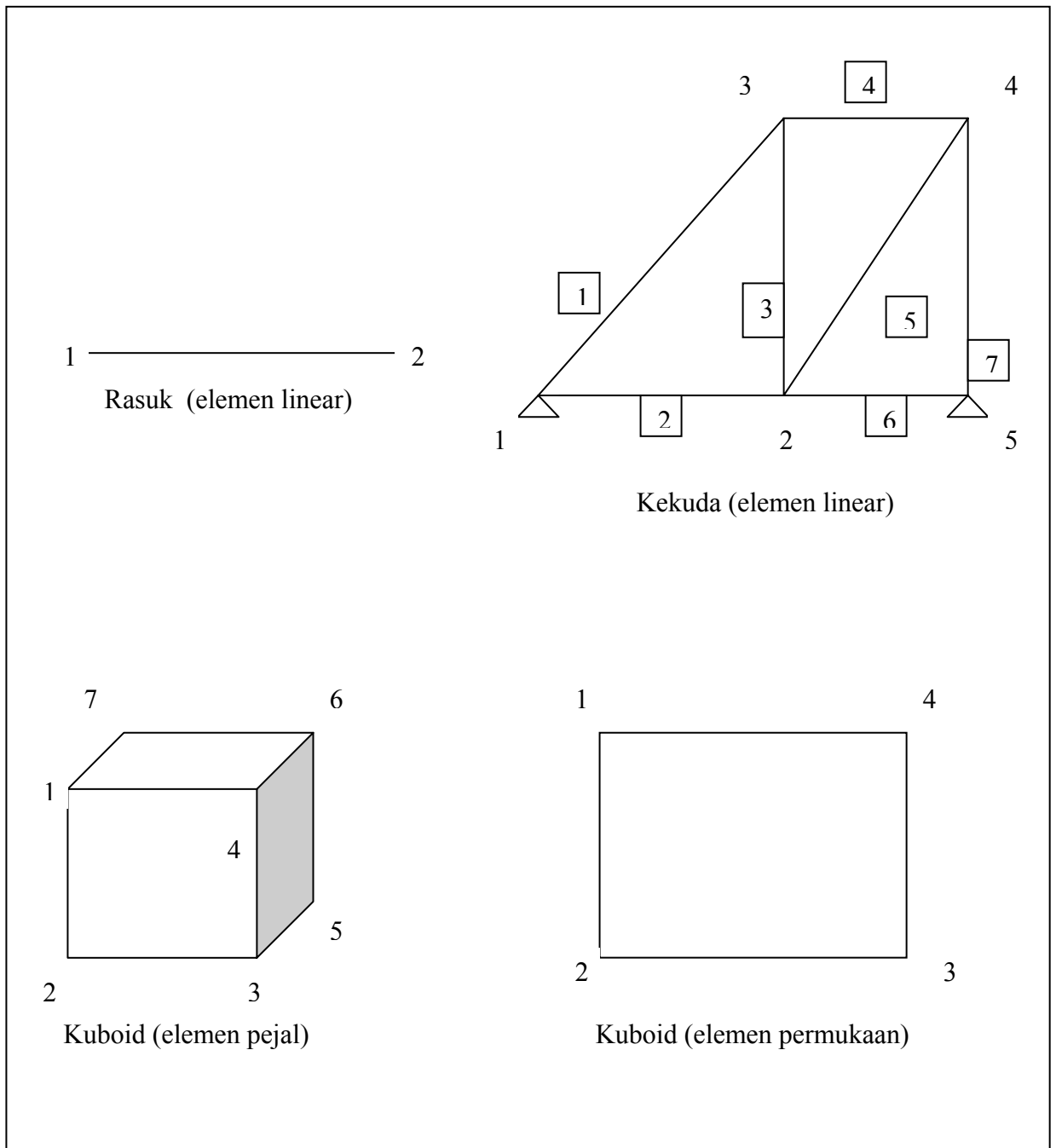
Konsep asasnya ialah menyelesaikan masalah struktur yang kompleks dengan memecahkannya kepada beberapa masalah yang lebih kecil. Oleh itu, sesuatu struktur itu dibahagikan kepada beberapa bentuk bahagian atau dipanggil elemen yang lebih kecil dan analisis setiap bahagian atau elemen yang telah dibahagikan itu. Justeru itu, kaedah ini sesuai digunakan untuk struktur yang kompleks.

### 3.3 Jenis elemen

Kebiasaannya, elemen dikelaskan berdasarkan kepada dimensi elemen, darjah kebebasan, darjah polinomial, bentuk dan keselajaran antara unsur. Darjah polinomial ditentukan oleh polinomial lengkap yang tertinggi dan bukannya darjah sebutan tertinggi. Jadual 3.1 menunjukkan pengelasan unsur yang boleh dilakukan manakala rajah menunjukkan jenis-jenis elemen. Rajah 3.1 pula menunjukkan contoh jenis-jenis elemen unsur terhingga.

<b>Dimensi</b>	<b>Darjah kebebasan</b>	<b>Darjah polinomial</b>	<b>Bentuk</b>	<b>Keselajaran antara unsur</b>
Garis	Satu	Linear	Lelurus	Fungsi
Permukaan	Dua	Kuadratik	Segitiga	Kebezaan pertama
Pejal	Tiga	Kubik	Segiempat	Kebezaan kedua

**Jadual 3.1 Pengelasan elemen**



**Rajah 3.1** Jenis-jenis unsur terhingga

### 3.4 Perisian LUSAS

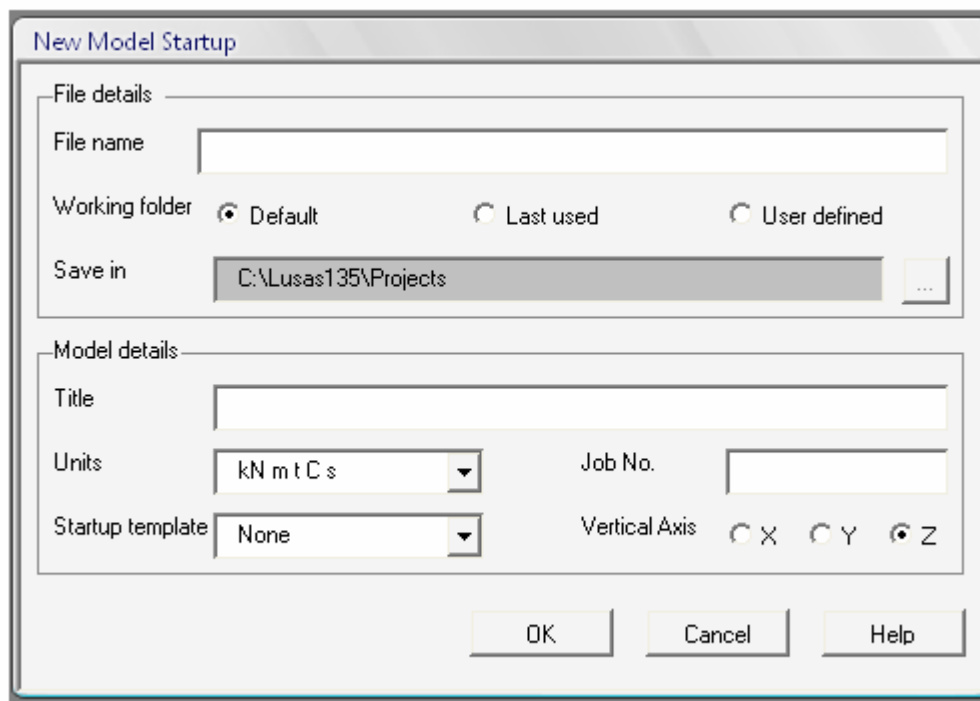
Perisian LUSAS adalah singkatan bagi London University Structural Analysis System. Ia berkemampuan untuk menganalisis pelbagai jenis struktur dengan geometri yang kompleks. Kelebihan perisian ini ialah ia berupaya untuk menganalisis struktur yang dikenakan beban dinamik dan fabrik, struktur pra-tegangan, struktur tidak linear, struktur kabel, truktur jambatan dan lain-lain.

LUSAS adalah perisian dimana boleh membentuk model dan mendefinisikan geometri, bahan, sokong, dan bebannya. Ketepatan sesuatu keputusan dan hasil analisis bergantung pada bilangan unsur atau elemen yang dibahagikan. Hal ini demikian, ia mempraktikkan kaedah unsur terhingga.

#### 3.4.1 Permulaan

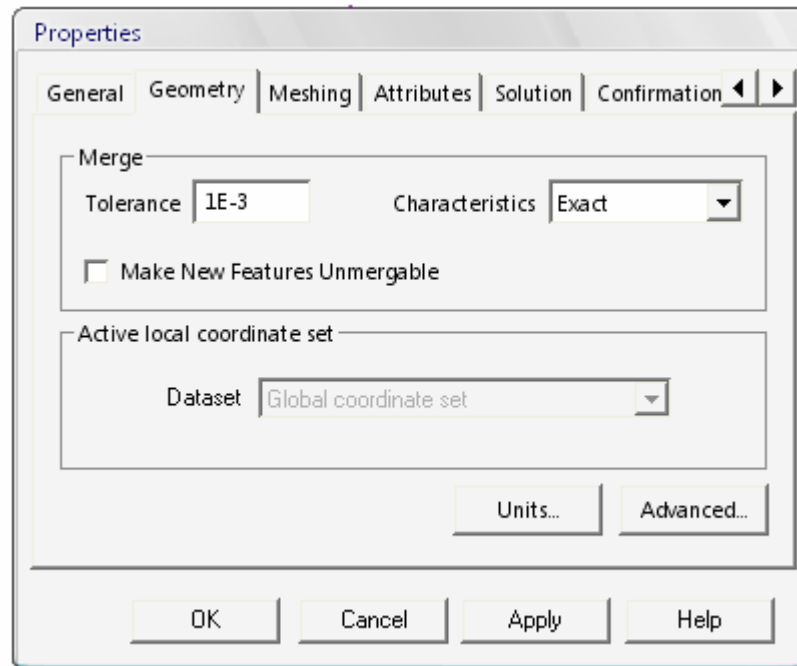
Sebagai permulaan bagi menganalisis sesuatu struktur menggunakan perisian LUSAS, penyediaan fail baru perlu dilakukan terlebih dahulu. Fail baru dibina dengan menggunakan arahan menu *File > New*. Satu kotak dialog akan terpapar pada skrin seperti yang ditunjukkan pada Rajah 3.2 Fail baru ini diberi nama PSM2007 dan nama model dinamakan sebagai model kekuda satah. Kemudian, penetapan unit semasa analisis perlu dilakukan di sini.

Dalam pembinaan model ini, unit yang dipraktikkan adalah  $kN\ m\ t\ C\ s$ . Untuk bahagian *Vertical axis*, digunakan bagi menetapkan paksi yang menegak. Oleh itu, paksi-y ditetapkan sebagai paksi menegak. Setelah selesai membuat semua penetapan, tekan *OK*.

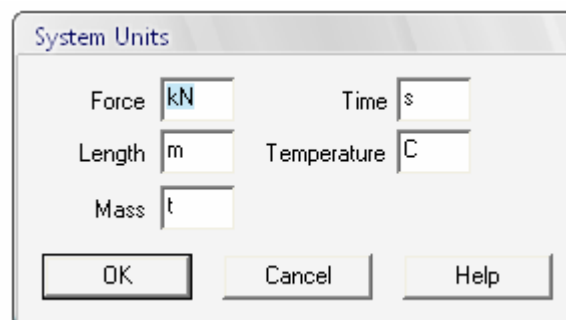


**Rajah 3.2** Kotak dialog bagi membina fail baru

Penyemakan unit yang telah ditetapkan perlu dibuat agar dapat memastikan analisis yang dijalankan menggunakan unit yang dikehendaki. Oleh itu, bagi menyemak unit yang telah ditetapkan, guna arahan *File>Model Properties*. Kotak dialog Properties akan terapar dan pilih menu *Geometry* seperti yang ditunjukkan pada Rajah 3.3. dan 3.4 Paparan baru akan wujud dimana menunjukkan kotak dialog Geometry. Penukaran dan penyemakan unit boleh dilakukan disini. Setelah itu, fail baru yang telah dibina disimpan dengan menggunakan arahan menu *Save* atau *Save as*.



**Rajah 3.3 Kotak dialog Properties**



**Rajah 3.4 Kotak dialog bagi penyemakan unit**

### 3.4.2 Pembinaan model

Bagi memudahkan penerangan cara penggunaan LUSAS dalam menganalisis struktur, kekuda satah digunakan sebagai rujukan. Langkah permulaan dalam pembinaan model ialah menetapkan koordinat-koordinat bagi nod-nod atau sokong-sokong struktur kekuda ini. Penetapan koordinat-koordinat ini dilakukan dengan menggunakan arahan menu *Points*. Paparan kotak dialog akan wujud seperti ditunjukkan pada Rajah 3.5 dan di sinilah koordinat-koordinat sokong ditetapkan.

Bagi menambah koordinat pada kotak dialog ini, tekan *Tab*. Setelah selesai menetapkan koordinat, tekan *Ok*.

	X	Y	Z
1	0	3	0
2	4	6	0
3	4	3	0
4	0	0	0

**Rajah 3.5** Arahkan menu *Points*

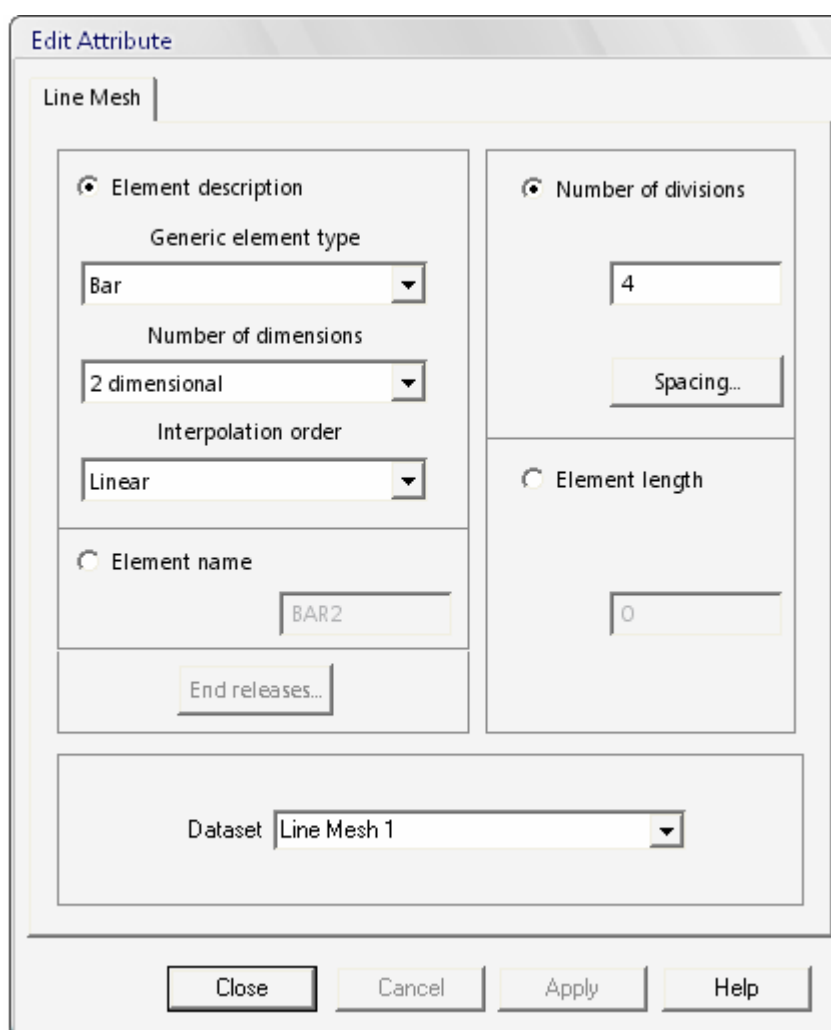
Bagi menyambung koordinat-koordinat yang telah ditetapkan itu, arahan menu *Line* digunakan. Sebelum menggunakan menu *Line*, titik-titik atau koordinat-koordinat yang hendak disambung dipilih dahulu. Kemudian, tekan menu *Line*.

### 3.4.3 Penetapan *Attributes*

Model yang telah selesai dibina, perlu disetkan dan dimasukkan nilai-nilai geometri, beban dan bahan struktur. Selain itu, sokong struktur dan bilangan pecahan elemen perlu ditetapkan dalam menganalisis struktur kekuda satah ini.

### 3.4.4 Penetapan elemen

Perkara pertama yang amat mustahak yang perlu ditetapkan adalah penetapan bilangan pecahan elemen dan jenis elemen. Penetapan ini amat penting kerana perisian LUSAS mempraktikkan konsep kaedah unsur terhingga dimana anggota struktur dipecahkan kepada beberapa elemen atau unsur bagi memudahkan kerja analisis dijalankan. Justeru itu, arahan menu *Attributes > Mesh > Line* digunakan. Rajah 3.6 menunjukkan paparan kotak dialog *Mesh*.



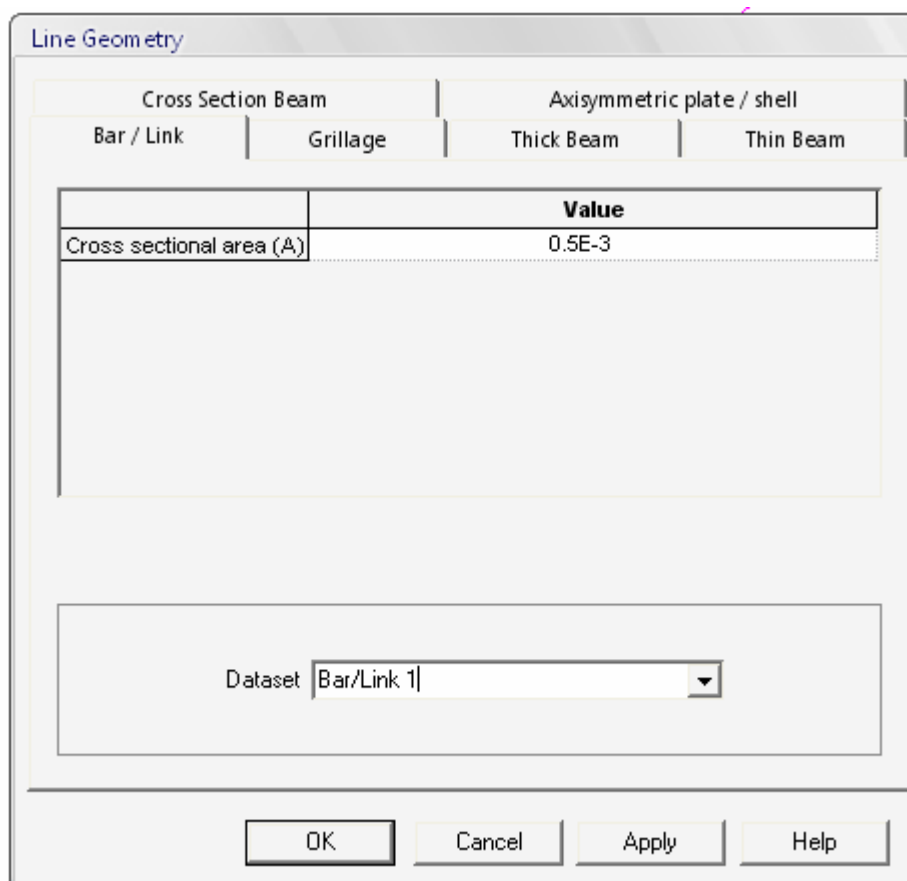
**Rajah 3.6 Kotak dialog Mesh**

Untuk anggota struktur kekuda satah, elemen bar dipilih. Jika hendak menganalisis rasuk, elemen *Thick Beam* dipilih. Kemudian, tetapkan bilangan elemen yang perlu dibahagikan ada anggota struktur kekuda satah ini. Di sini,

anggota kekuda satah ini dipecahkan kepada 4 elemen. Semakin banyak elemen dibuat, semakin tepat dan jitu keputusan analisis yang akan diperolehi.

### 3.4.5 Penetapan Geometri

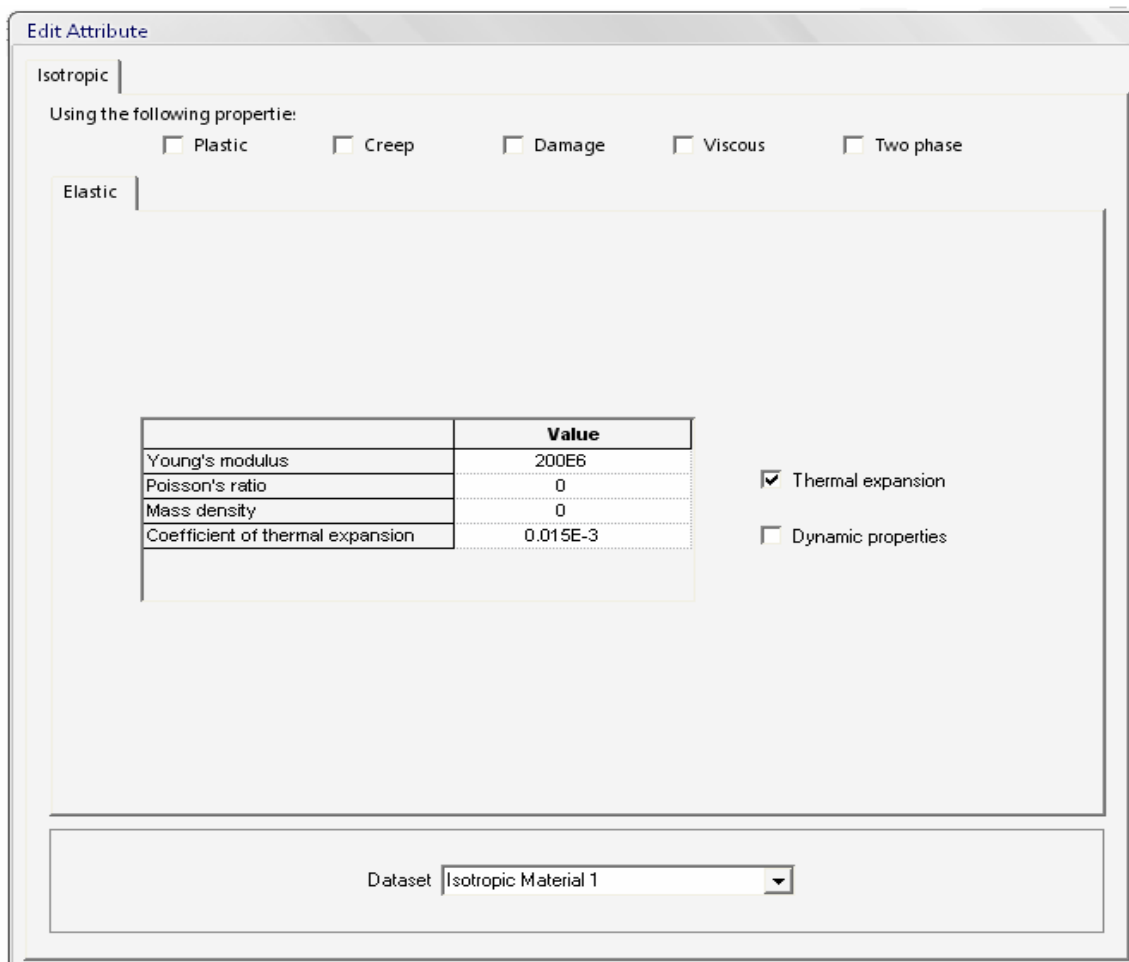
Penetapan geometri dilakukan bagi memberi nilai-nilai yang berkaitan tentang geometri struktur seperti keratan rentas luas struktur, momen inersia dan sebagainya. Penetapan dilakukan dengan menggunakan arahan menu *Attributes > Geometry > Line*. Memandangkan telah menetapkan elemen bar sebagai elemen bagi kekuda satah ini, pilih bahagian *Bar/Link*. Oleh itu, setkan keratan rentas luas anggota struktur dengan nilai  $0.5 \times 10^{-3}$  m. Kemudian, namakan penetapan ini. Ini boleh merujuk pada Rajah 3.7



**Rajah 3.7** Kotak dialog penetapan geometri

### 3.4.6 Penetapan Bahan

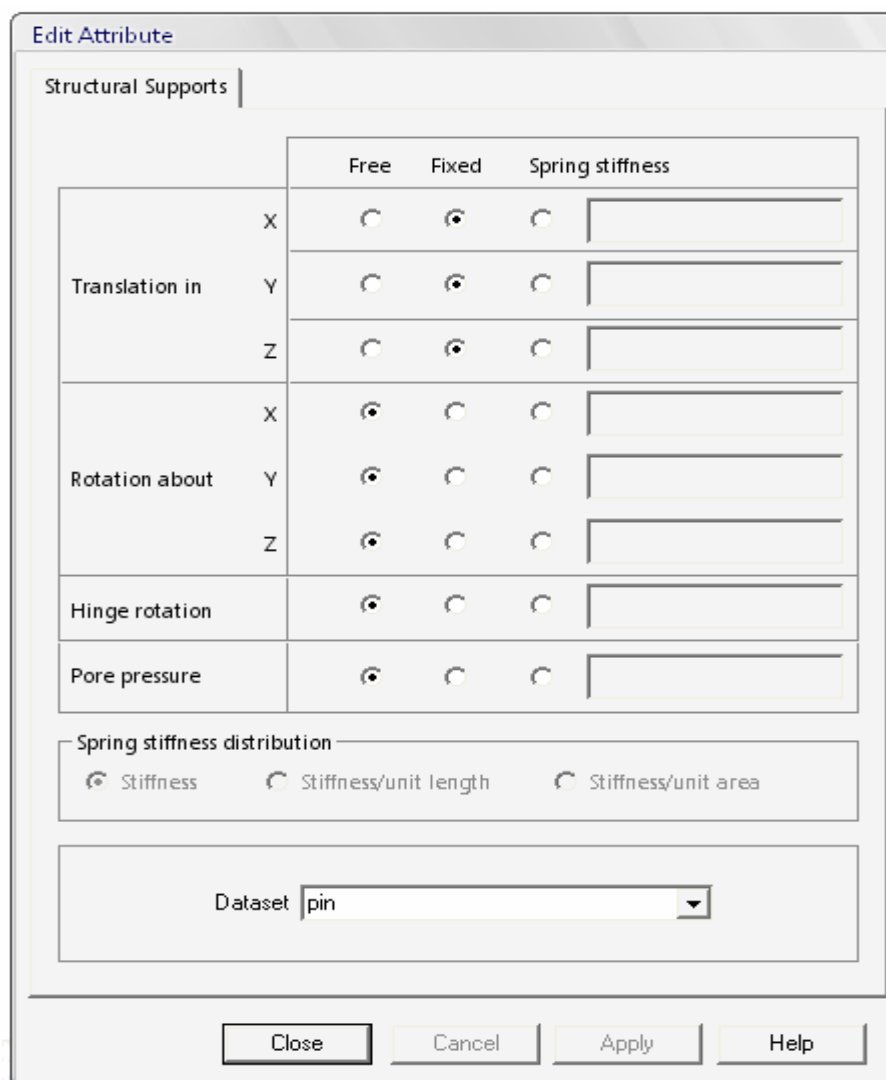
Penetapan bahan adalah bermaksud menetapkan nilai-nilai bahan yang membina struktur kekuda satah itu. Dalam keadaan ini, isotropik dipilih. Nilai nisbah Poisson, Modulus Keanjalan dan ketumpatan jisim ditetapkan. Bagi kekuda ini, nilai Modulus keanjalan ialah  $200 \times 10^6 \text{ m}^4$ . Oleh itu, arahan menu *Attributes > Materials > Isotropik* digunakan. Jika kekuda satah dianalisis terhadap kesan perubahan suhu, ikon *thermal expansion* dipilih bagi menetapkan kadar pengembangan suhu. Kadar pengembangan suhu bagi kekuda ini ialah  $1.5 \times 10^{-5}$ . Rajah.3.8 menunjukkan kotak dialog menu *Materials*



**Rajah 3.8 Kotak dialog Materials**

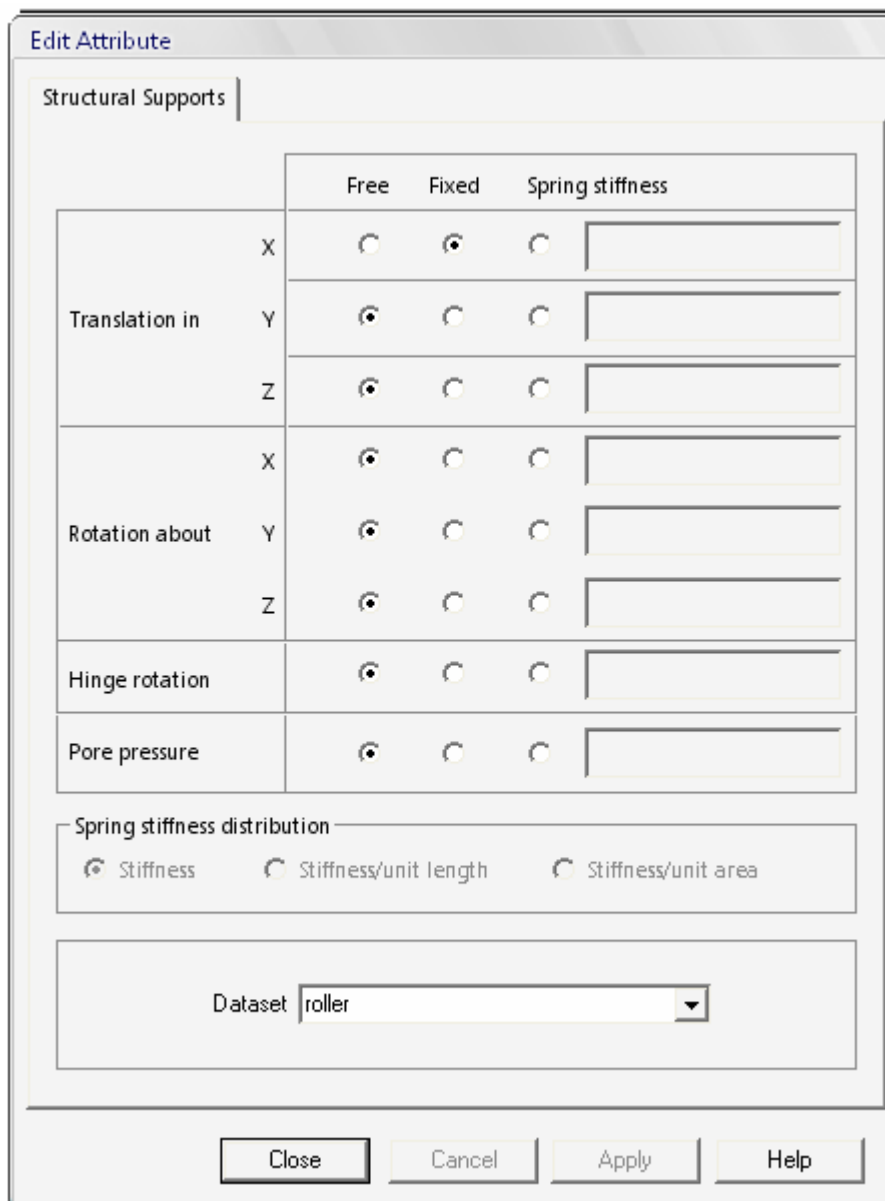
### 3.4.7 Penetapan sokong

Penyokong anggota struktur ditetapkan dengan menggunakan arahan menu *Attributes > Support > Structural*. Bagi menetapkan sokong pin, anjakan pada semua arah disetkan agar tidak berlaku dan tetap. Kemudian, sokong ini diberi nama pin seperti mana yang ditunjukkan pada Rajah.3.9



**Rajah 3.9 Penetapan sokong pin**

Bagi sokong rola, anjakan pada arah normal disetkan sebagai tetap dan tidak berlaku. Manakala, bagi sokong diikat tegar, semua anjakan disetkan tetap dan putaran juga disetkan tetap. Rajah 3.10 menunjukkan sokong rola disetkan.



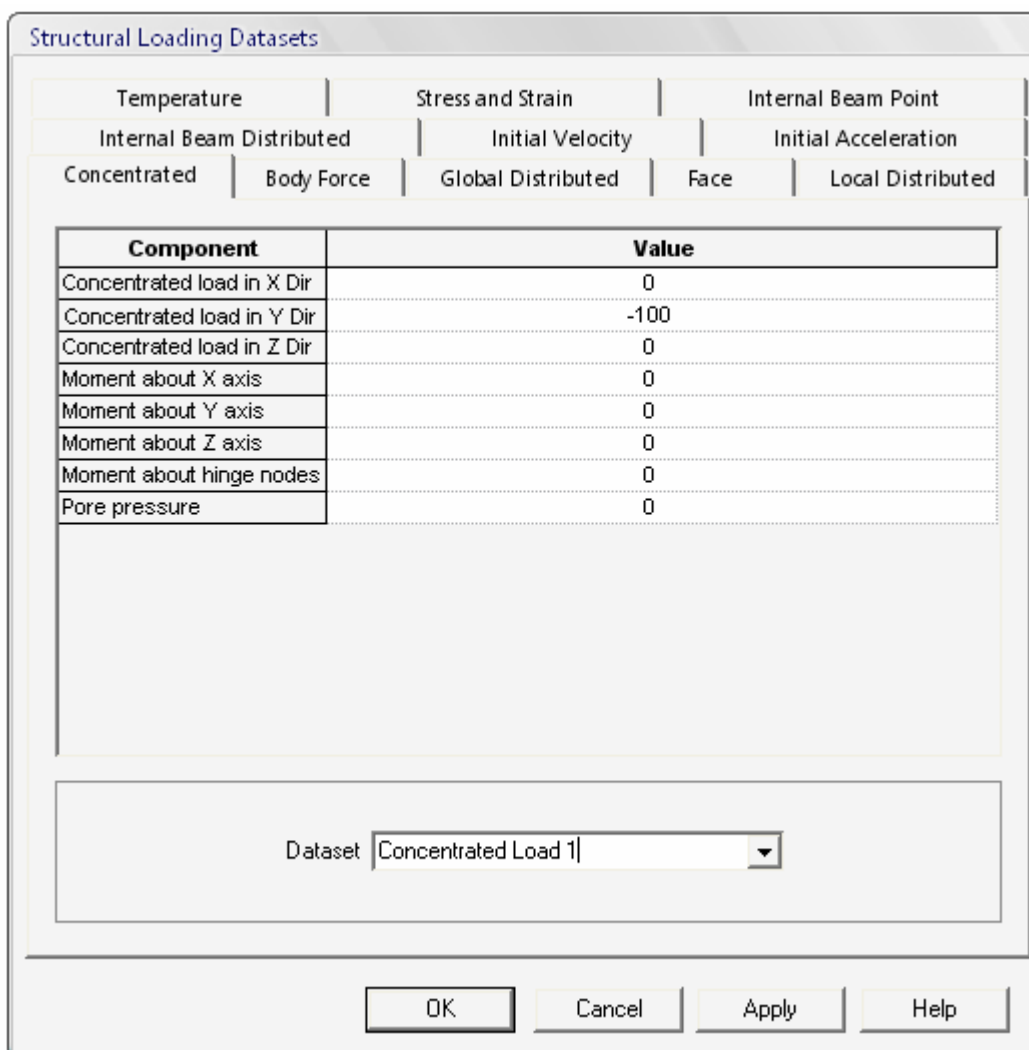
**Rajah 3.10** Penetapan sokong rola

### 3.4.8 Penetapan beban

Beban disetkan dengan menggunakan arahan menu *Attributes > Loading*. Bagi menetapkan beban tumpu, beban teragih seragam atau perubahan suhu, menu *Structural* dipilih. Untuk menetapkan beban tumpu, menu *concentrated* dipilih. Nilai beban sebanyak -100kN disetkan pada paksi-y. Tanda negatif (-) disetkan

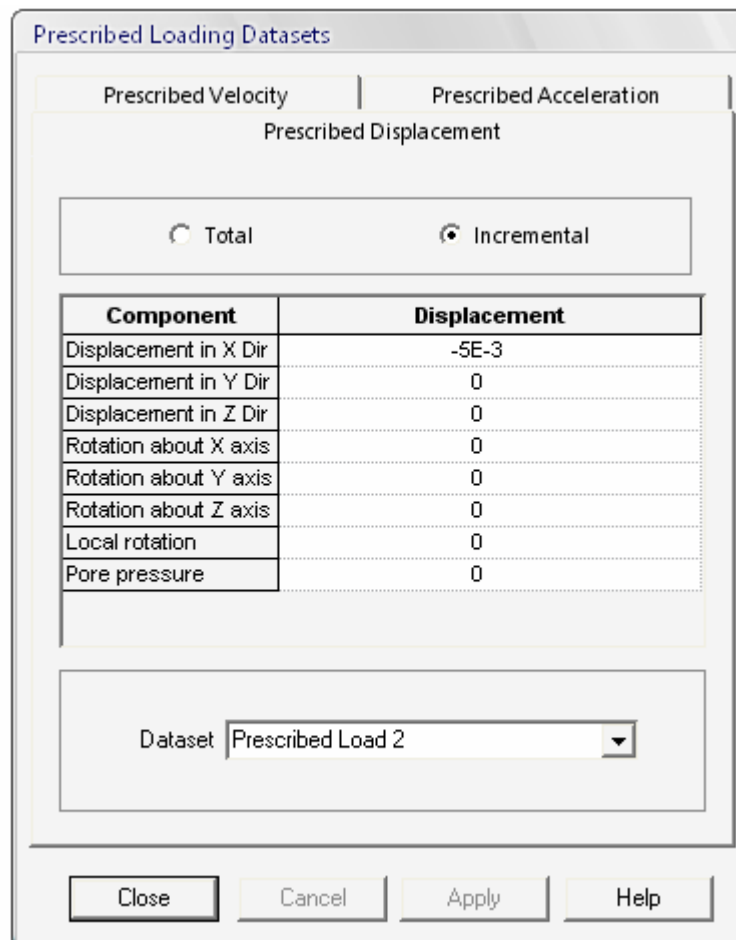
menandakan arah beban tumpu menuju ke arah bawah pada paksi-y.

Rajah.3.11 menunjukkan beban tumpu disetkan pada kotak dialog beban struktur.



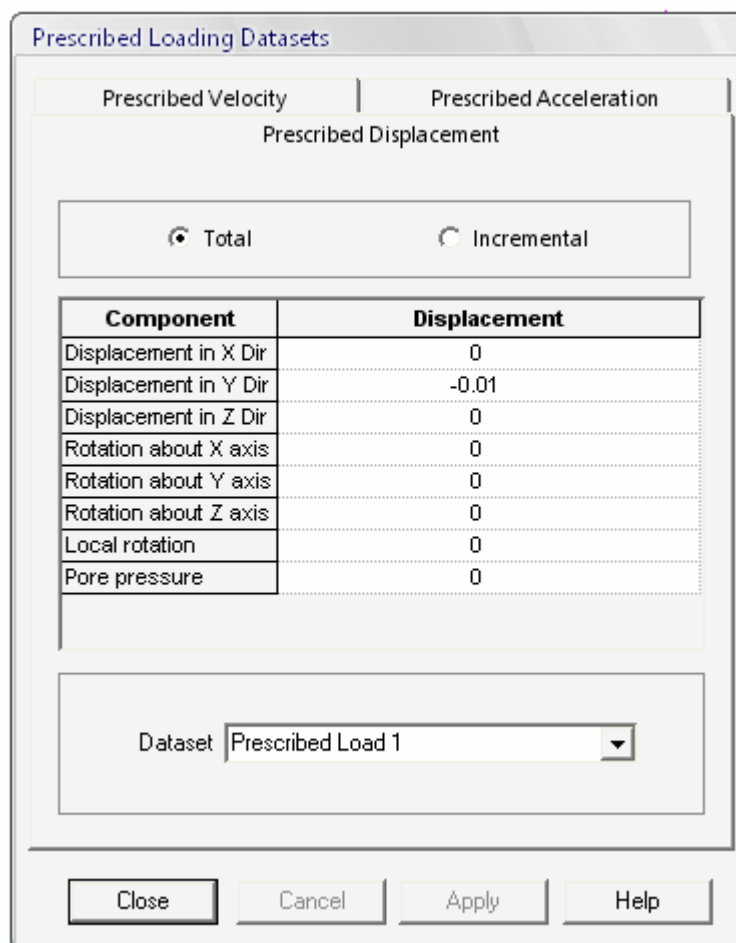
**Rajah 3.11 Penetapan beban tumpu**

Beban teragih seragam disetkan dengan menggunakan menu *Global Distributed*. Beban akibat ralat pembinaan anggota struktur disetkan dengan menggunakan arahan menu *Attributes > Loading > Prescribed*. Penetapan dibuat dengan memasukkan nilai jarak sisihan ralat pada arah anggota yang mengalami ralat pembinaan anggota tersebut. Rajah 3.12 menunjukkan penetapan beban akibat kesan ralat pembinaan anggota.



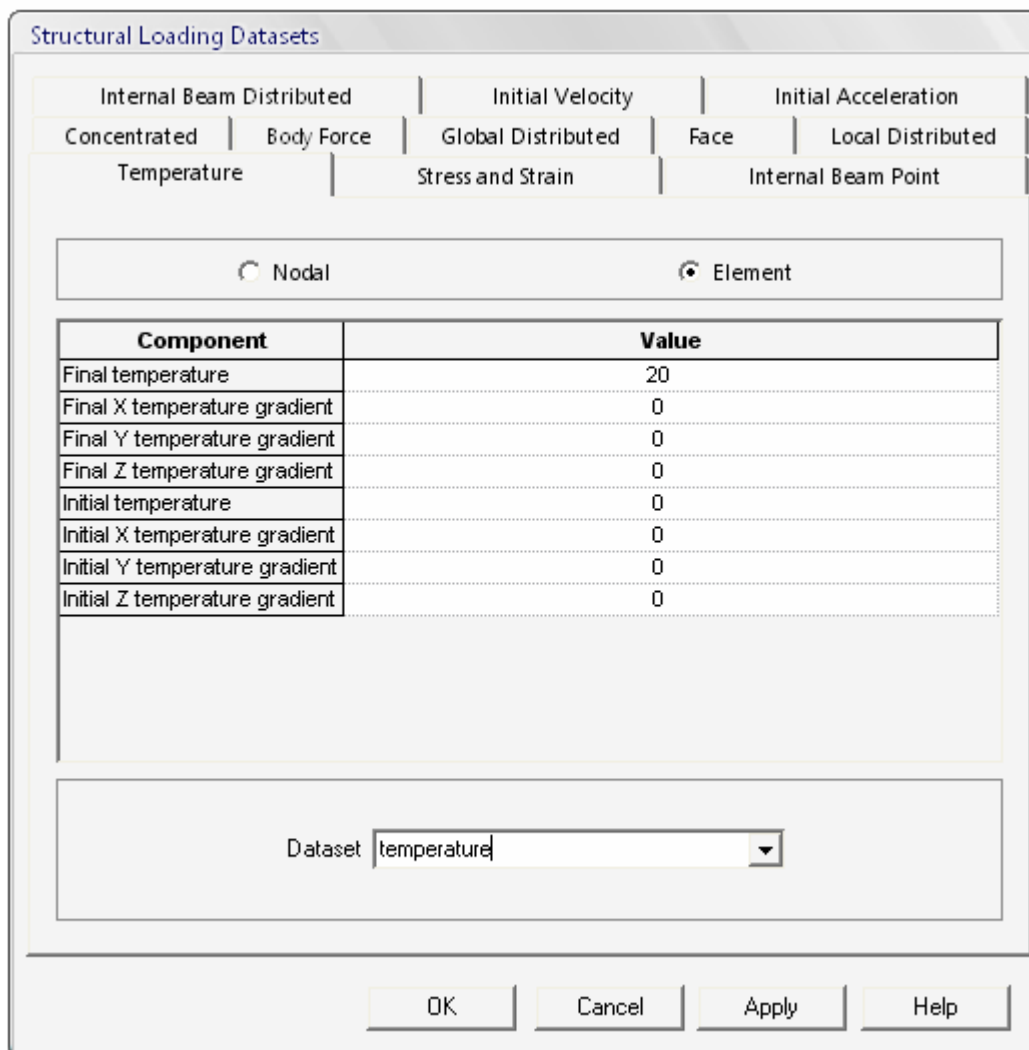
**Rajah 3.12**    **Beban akibat ralat pembinaan anggota**

Beban akibat enapan sokong juga menggunakan menu yang sama iaitu *Prescribed*. Nilai enapan disetkan pada arah paksi-y dengan bertanda negatif (-) yang menandakan berlaku ke arah bawah seperti mana yang dipaparkan pada Rajah.3.13



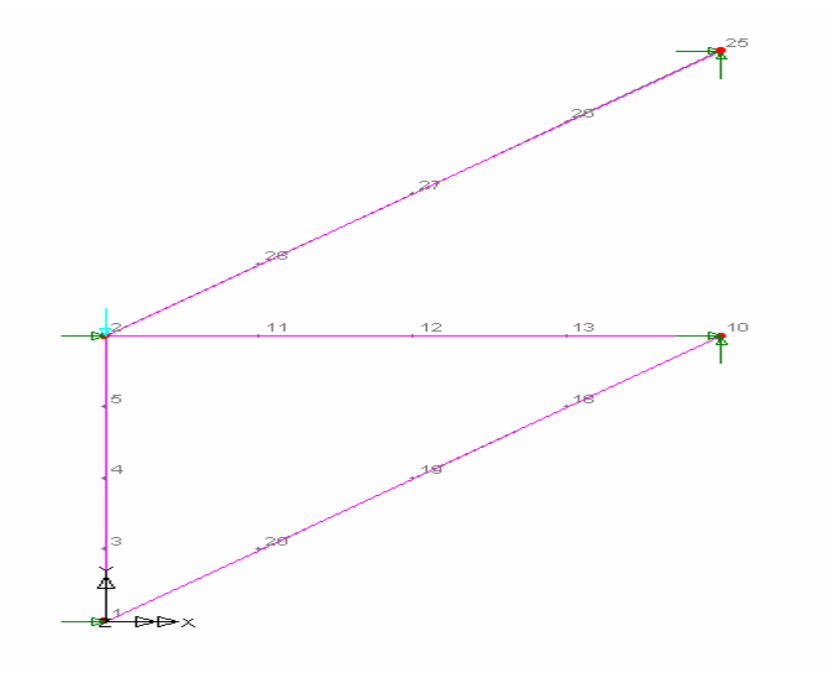
**Rajah 3.13 Penetapan beban akibat kesan enapan**

Beban akibat perubahan suhu disetkan dengan menggunakan menu *Structural* > *Temperature*. Suhu pada akhir dan mula kajian disetkan sepertimana ditunjukkan pada Rajah.3.14

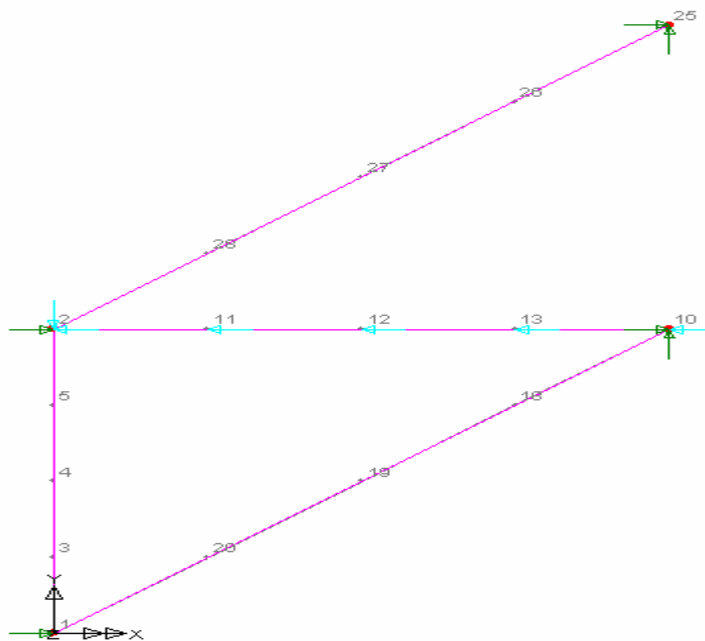


**Rajah 3.14 Penetapan beban akibat perubahan suhu**

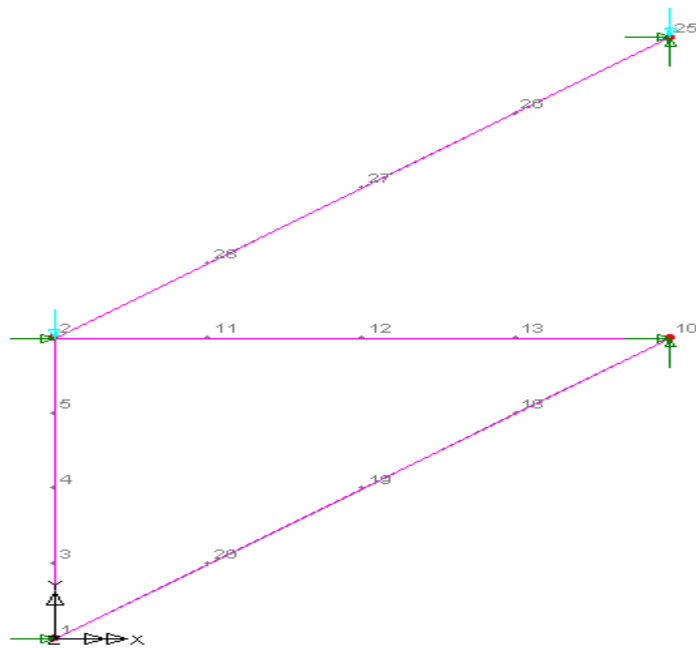
Setelah segala beban telah disetkan, adalah perlu untuk menugaskan beban yang telah disetkan pada anggota-anggota yang terlibat. Pertama sekali, pilih anggota yang dikehendaki dan kemudian bawa ikon beban yang telah disetkan pada anggota yang dipilih. Model-model yang telah dimodelkan ditunjukkan pada Rajah 3.15, 3.16, 3.17 dan 3.18.



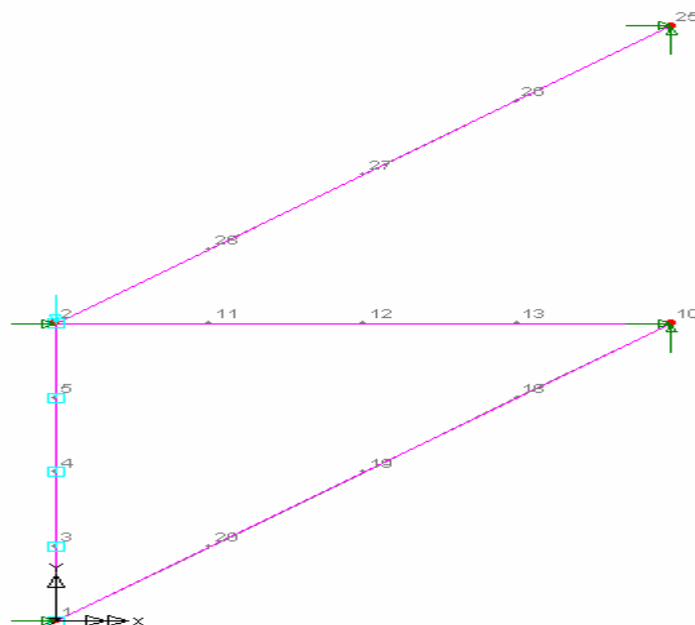
**Rajah 3.15 Model kekuda satah yang dibebani beban tumpu pada nod 2**



**Rajah 3.16 Model kekuda satah dibebani beban tumpu dan kesan ralat pembinaan anggota**



**Rajah 3.17 Model kekuda satah yang dibebani beban tumpu dan kesan enapan pada nod 25**

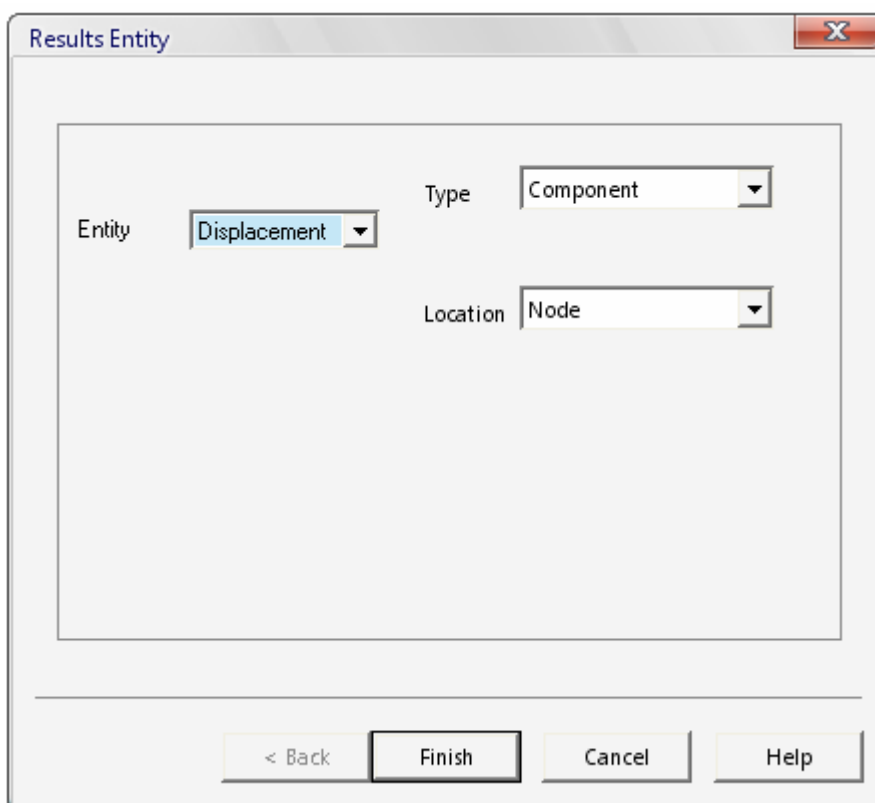


**Rajah 3.18 Model kekuda satah yang dibebani beban tumpu dan kesan perubahan suhu pada anggota**

### 3.5 Analisa LUSAS

Setelah segala penetapan telah dibuat, langkah terakhir sekali proses menganalisa struktur. Analisis dijalankan dengan menggunakan arahan menu *RUN*. Sebelum LUSAS menjalankan analisis, model tersebut perlu disimpan terlebih dahulu. Model tersebut akan disimpan di dalam satu *folder* yang bernama *Projects*.

Bagi memperoleh keputusan atau hasil analisis, arahan menu *Print Result Wizard* digunakan. Menerusi arahan menu ini, hasil analisis seperti anjakan pada nod, daya tindak balas, putaran dan daya paksi dapat dipaparkan dalam jadual di dalam bentuk kotak dialog. Rajah 3.19 menunjukkan kotak dialog bagi *Print Result Wizard*. Rajah 3.20 pula menunjukkan jadual anjakan yang berlaku pada kekuda.

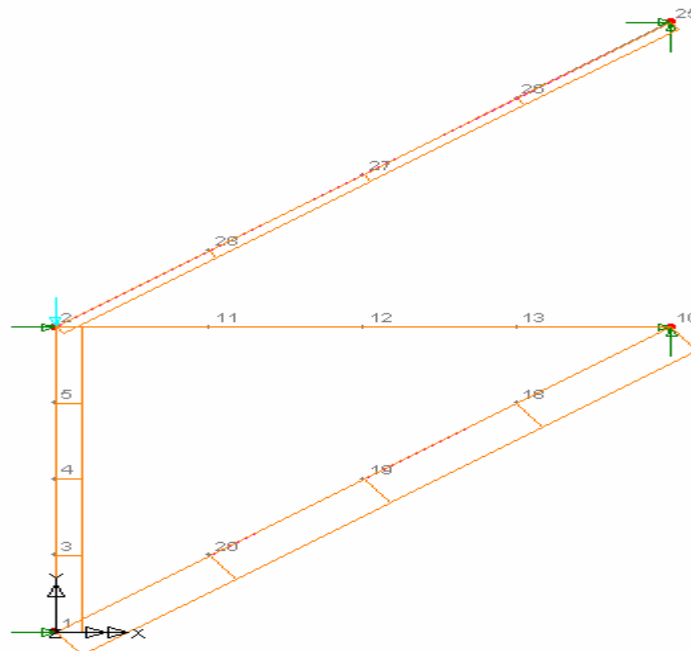


**Rajah 3.19** Kotak dialog Print Result Wizard

LUSAS View: Displacement Components In Global Axes Load ID = 1 Results File...				
	A	B	C	D
1	Node	DX	DY	RSLT
2	1	0	-0,0108	0,0108
3	2	0	-0,0131	0,0131
4	3	0	-0,0114	0,0114
5	4	0	-0,0119	0,0119
6	5	0	-0,0125	0,0125
7	10	0	0	0
8	11	0	0	0
9	12	0	0	0
10	13	0	0	0
11	18	-0,000253	-0,00236	0,00237
12	19	-0,00202	-0,0027	0,00337
13	20	-0,00152	-0,00606	0,00625
14	25	0	-0,01	0,01
15	26	-0,00145	-0,00884	0,00896
16	27	-0,00504	-0,00484	0,00698
17	28	-0,00343	-0,00776	0,00849
18				

**Rajah 3.20** Jadual anjakan pada nod

Selain itu, LUSAS boleh memaparkan gambarajah tekanan atau daya ricih pada kekuda satah ini dengan menggunakan arahan menu *View > Layer > Diagram*. Dengan cara ini, penganalisis akan mengetahui apakah yang berlaku terhadap kekuda satah ini dengan lebih jelas seperti yang ditunjukkan pada Rajah 3.21.



**Rajah 3.21** Gambarajah daya ricih

## **BAB IV**

### **ANALISIS KEKUDA SATAH**

#### **4.1 Pengenalan**

Dalam kajian ini, analisis struktur yang dijalankan dibahagikan kepada dua bahagian. Bahagian pertama adalah fasa dimana analisis dijalankan secara manual berpandukan dan berbantuan perisian Microsoft Excel. Bahagian kedua pula, adalah fasa berkomputer dimana analisis dijalankan dengan menggunakan perisian analisis yang meluas dipraktikkan oleh para jurutera iaitu LUSAS.

#### **4.2 Analisis manual**

Analisis yang dijalankan melibatkan penggunaan kaedah matrik kekukuhan dalam menganalisis struktur terhadap beban kenaan graviti seperti beban kenaan tumpu dan beban teragih seragam dan beban fabrik. Beban fabrik yang dimaksudkan adalah beban akibat daripada kesan perubahan suhu, kesan ralat pembinaan anggota dan kesan enapan sokong. Struktur ini dianalisis bagi mengetahui dan mendapatkan nilai anjakan dan daya tindak balas anggota.

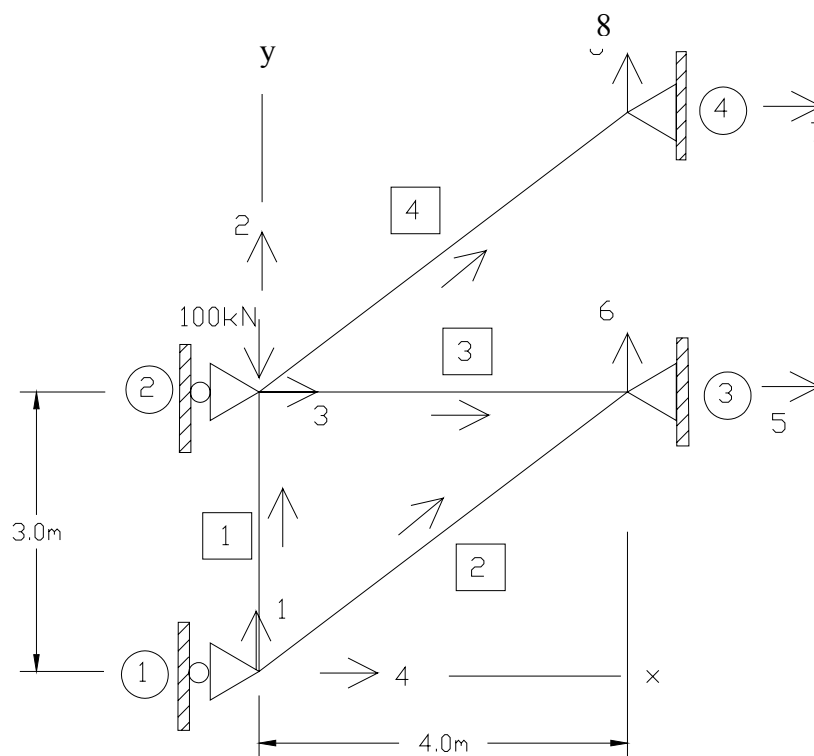
### 4.3 Analisis kekuda satah menggunakan kaedah matrik kekukuhan

Kekuda ini disokong rola di sambungan 1 dan 2 dan disokong pin di sambungan 3 dan 4. Kekuda tersebut ditindaki oleh beban titik 100 kN disambungan 2. Modulus keanjalan,  $E$  dan luas keratan rentas,  $A$  untuk semua anggota masing-masing ialah  $200 \text{ kN/mm}^2$  dan  $500 \text{ mm}^2$ . Analisis kekuda ini dengan menggunakan kaedah matrik kekukuhan mengikut kes-kes yang dinyatakan di bawah:

Kes 1 : kesan beban kenaan dan kesan enapan sokong sebanyak 10 mm ke bawah.

Kes 2 : kesan ralat pembinaan anggota pada anggota

Kes 3 : kesan perubahan suhu terhaap anggota.



**Rajah 4.1 Kekuda satah**

Penyelesaian:

Anjakan yang tidak diketahui:

$$D_u = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix}$$

Daya yang diketahui:

$$Q_k = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -60 \end{bmatrix}$$

Anjakan yang diketahui:

$$D_k = \begin{bmatrix} D_3 \\ D_4 \\ D_5 \\ D_6 \\ D_7 \\ D_8 \end{bmatrix}$$

Daya yang tidak diketahui

$$Q_u = \begin{bmatrix} Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \\ Q_7 \\ Q_8 \end{bmatrix}$$

Matrik kekakuan sejagat setiap anggota:

Anggota 1

$$\lambda_x = (0-0)/3 = 0 \quad \lambda_y = (3-0)/3 = 1$$

$$\lambda_x^2 / L = 0 \quad \lambda_x \lambda_y / L = 0 \quad \lambda_y^2 / L = 0.333$$

$$k_1 = \frac{AE}{L} \begin{vmatrix} \lambda^2 x & \lambda x \lambda y & -\lambda x^2 & -\lambda x \lambda y \\ \lambda x \lambda y & \lambda^2 x & -\lambda x \lambda y & -\lambda y^2 \\ -\lambda x^2 & -\lambda x \lambda y & \lambda x^2 & \lambda x \lambda y \\ -\lambda x \lambda y & -\lambda y^2 & \lambda x \lambda y & \lambda y^2 \end{vmatrix}$$

$$k_1 = AE \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.333 & 0 & -0.333 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.333 & 0 & 0.333 \end{vmatrix}$$

Anggota 2

$$\lambda_x = (4-0)/5 = 0.8 \quad \lambda_y = (3-0)/5 = 0.6$$

$$\lambda_x^2 / L = 0.8^2 / 5 = 0.128 \quad \lambda_x \lambda_y / L = 0.8 \times 0.6 / 5 = 0.096 \quad \lambda_y^2 / L = 0.6^2 / 5 = 0.072$$

$$k_2 = \text{AE} \begin{vmatrix} 0.128 & 0.096 & -0.128 & -0.096 \\ 0.096 & 0.072 & -0.096 & -0.072 \\ -0.128 & -0.096 & 0.128 & 0.096 \\ -0.096 & -0.072 & 0.096 & 0.072 \end{vmatrix}$$

Anggota 3

$$\lambda_x = (4-0)/4 = 1 \quad \lambda_y = (3-3)/4 = 0$$

$$\lambda_x^2 / L = 1.0^2 / 5 = 0.25 \quad \lambda_x \lambda_y / L = 0 \quad \lambda_y^2 / L = 0$$

$$k_3 = \text{AE} \begin{vmatrix} 0.25 & 0 & -0.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.25 & 0 & 0.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Anggota 4

$$\lambda_x = (4-0)/5 = 0.8 \quad \lambda_y = (6-3)/5 = 0.6$$

$$\lambda_x^2 / L = 0.8^2 / 5 = 0.128 \quad \lambda_x \lambda_y / L = 0.8 \times 0.6 / 5 = 0.096 \quad \lambda_y^2 / L = 0.6^2 / 5 = 0.072$$

$$k_4 = \text{AE} \begin{vmatrix} 0.128 & 0.096 & -0.128 & -0.096 \\ 0.096 & 0.072 & -0.096 & -0.072 \\ -0.128 & -0.096 & 0.128 & 0.096 \\ -0.096 & -0.072 & 0.096 & 0.072 \end{vmatrix}$$

Dengan menggabungkan matrik kekakuan untuk setiap anggota, matriks kekakuan struktur, K

$$K = AE \begin{bmatrix} 0.405 & -0.333 & 0 & 0.096 & -0.096 & -0.072 & 0 & 0 \\ -0.333 & 0.405 & 0.096 & 0 & 0 & 0 & -0.096 & -0.072 \\ 0 & 0 & 0 & 0.378 & 0 & -0.25 & 0 & -0.128 \\ -0.096 & 0.096 & 0 & 0 & 0.128 & -0.128 & -0.096 & 0 \\ 0.096 & 0 & 0 & 0.128 & -0.128 & -0.096 & 0 & 0 \\ -0.096 & 0 & -0.25 & -0.128 & 0.378 & 0.096 & 0 & 0 \\ -0.072 & 0 & 0 & -0.096 & 0.096 & 0.072 & 0 & 0 \\ 0 & -0.096 & 0.128 & 0 & 0 & 0 & 0.128 & 0.096 \end{bmatrix}$$

#### 4.3.1 Kesan tindakan beban kenaan dan enapan

Terdapat enapan pada sokong nod 4 sebanyak 10mm ke bawah; maka analisis kekuda dengan menentukan daya tindak balas sokong dan daya dalaman anggota.

Penyelesaian:

Nilai anjakan ke bawah yang berlaku akibat enapan:

$$D_8 = -0.01\text{m}$$

$$K_{11} = AE \begin{bmatrix} 0.405 & -0.333 \\ -0.333 & 0.405 \end{bmatrix}$$

$$K_{11}^{-1} = \frac{1}{0.053AE} \begin{bmatrix} 0.405 & -0.333 \\ -0.333 & 0.405 \end{bmatrix}$$

Anjakan yang tidak diketahui:

$$Du = K_{11}^{-1} Q_k$$

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{0.053AE} \begin{bmatrix} 0.405 & -0.333 \\ -0.333 & 0.405 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -100 \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{AE} \begin{bmatrix} -628.30 \\ 764.15 \end{bmatrix}$$

$$D_1 = \frac{-628.30}{500 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^6} = -6.283 \times 10^{-3}$$

$$D_2 = \frac{764.15}{500 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^6} = 7.642 \times 10^{-3}$$

Jika di nod 4 berlaku enapan atau anjakan ke bawah sebanyak 10mm

Anjakan yang tidak diketahui:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ -100 \end{bmatrix} = AE \begin{bmatrix} 0.405 & -0.333 \\ -0.333 & 0.405 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix} + AE \begin{bmatrix} 0 \\ -0.072 \end{bmatrix} [-0.01]$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ -100 \end{bmatrix} = AE \begin{bmatrix} 0.405 & -0.333 \\ -0.333 & 0.405 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix}$$

$$+ (500 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^6) \begin{bmatrix} 0.00 \\ -0.072 \end{bmatrix} [-0.01]$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ -100 \end{bmatrix} = AE \begin{bmatrix} 0.405 & -0.333 \\ -0.333 & 0.405 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 72 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{0.053AE} \begin{bmatrix} 0.405 & 0.333 \\ 0.333 & 0.405 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.00 \\ -172 \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{AE} \begin{bmatrix} -1080.679 \\ -1314.339 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0.011 \\ -0.013 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$Q_u = k_{21} D_u + k_{22} D_k$$

$$\begin{bmatrix} Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \\ Q_7 \\ Q_8 \end{bmatrix} = AE \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0.096 & 0 \\ -0.096 & 0 \\ -0.072 & 0 \\ 0 & -0.096 \\ 0 & -0.072 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.011 \\ -0.013 \end{bmatrix}$$

$$+ AE \begin{bmatrix} 0.378 & 0 & -0.25 & 0 & -0.128 & -0.096 \\ 0 & 0.128 & -0.128 & -0.096 & 0 & 0 \\ -0.25 & -0.128 & 0.378 & 0.096 & 0 & 0 \\ 0 & -0.096 & 0.096 & 0.072 & 0 & 0 \\ 0.128 & 0 & 0 & 0 & 0.128 & 0.096 \\ -0.096 & 0 & 0 & 0 & 0.096 & 0.072 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0.01 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 30 \\ -106 \\ 106 \\ 79.2 \\ 28.8 \\ 21.6 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Daya dalam anggota, q:

$$q_4 = \frac{AE}{5} \begin{bmatrix} -0.8 & -0.6 & 0.8 & 0.6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.000 \\ -1314.339/AE \\ 0.000 \\ -0.01 \end{bmatrix}$$

$$= 157.719 \text{ kN}$$

### 4.3.2 Kesan ralat pembinaan anggota pada struktur .

Anggota 3 telah dibina terpendek sebanyak 5mm sebelum kekuda itu disambungkan kepada kekuda tersebut. Analisis kekuda tersebut samada ralat pembinaan itu, memberi kesan kepada seluruh struktur dengan membuktikan melalui daya dalaman, daya tindak balas dan anjakan kekuda.

Penyelesaian:

Dengan menggunakan persamaan:

$$f_o = AE (\Delta L) / L$$

$$\begin{bmatrix} (F_{NX})_o \\ (F_{NY})_o \\ (F_{FX})_o \\ (F_{FY})_o \end{bmatrix} = AE (\Delta L) / L \begin{bmatrix} \lambda_x \\ \lambda_y \\ -\lambda_x \\ -\lambda_y \end{bmatrix}$$

$$\lambda_x = (4-0)/4 = 1$$

$$\lambda_y = (3-3)/4 = 0$$

Maka,

$$\begin{bmatrix} (F_3)_o \\ (F_2)_o \\ (F_5)_o \\ (F_6)_o \end{bmatrix} = AE (-0.05) / 4 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= AE \begin{bmatrix} -0.00125 \\ 0.000 \\ 0.00125 \\ 0.000 \end{bmatrix}$$

Dengan menggunakan hubungan  $F = K\Delta + F_0$  akan menghasilkan ungkapan:

$$\begin{bmatrix} F_1 = 0 \\ F_2 = -100 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \\ F_7 \\ F_8 \end{bmatrix} = \text{AE}$$

$$\begin{bmatrix} 0.405 & -0.333 & 0 & 0.096 & -0.096 & -0.072 & 0 & 0 \\ -0.333 & 0.405 & 0.096 & 0 & 0 & 0 & -0.096 & -0.072 \\ 0 & 0 & 0 & 0.378 & 0 & -0.25 & 0 & -0.128 \\ -0.096 & 0 & 0 & 0.128 & -0.128 & -0.096 & 0 & 0 \\ 0.096 & 0 & 0 & -0.128 & 0.378 & 0.096 & 0 & 0 \\ -0.096 & 0 & -0.25 & -0.128 & 0.096 & 0.072 & 0 & 0 \\ -0.072 & 0 & 0 & -0.096 & 0.096 & 0.072 & 0 & 0 \\ 0 & -0.096 & 0.128 & 0 & 0 & 0 & 0.128 & 0.096 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \\ D_5 \\ D_6 \\ D_7 \\ D_8 \end{bmatrix}$$

$$+ \text{AE} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -0.00125 \\ 0 \\ 0.00125 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Q_k = K_{11} Du + K_{12} Dk + \text{AE} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ -100 \end{bmatrix} = \text{AE} \begin{bmatrix} 0.405 & -0.333 \\ -0.333 & 0.405 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix} + 0$$

Anjakan yang tidak diketahui:

$$Du = K_{11}^{-1} Q_k$$

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{0.053AE} \begin{bmatrix} 0.405 & -0.333 \\ -0.333 & 0.405 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -100 \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{AE} \begin{bmatrix} -628.30 \\ 764.15 \end{bmatrix}$$

$$D_1 = \frac{-628.30}{500 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^6} = -6.283 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$D_2 = \frac{764.15}{500 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^6} = 7.642 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Daya tindak balas yang tidak diketahui ditentukan melalui persamaan

$$Q_u = K_{21} Du + K_{22} Dk + AE \begin{bmatrix} -0.0125 \\ 0 \\ 0.0125 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \\ F_7 \\ F_8 \end{bmatrix} = AE \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0.096 & 0 \\ -0.096 & 0 \\ -0.072 & 0 \\ 0 & -0.096 \\ 0 & -0.072 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -6.283 \times 10^{-3} \\ 7.642 \times 10^{-3} \end{bmatrix} + 0 + AE \begin{bmatrix} -0.0125 \\ 0 \\ -0.0125 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= AE \begin{bmatrix} -0.0125 \\ -0.0006 \\ -6.47 \times 10^{-4} \\ 0.000452 \\ -0.00073 \\ -0.00055 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -125 \\ -60 \\ -64.7 \\ 45.2 \\ -73 \\ -55 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Daya dalaman anggota ditentukan dengan menggunakan persamaan

$$q = \frac{AE}{L} \begin{vmatrix} -\lambda_x & -\lambda_y & \lambda_x & \lambda_y \end{vmatrix} \begin{bmatrix} D_{NX} \\ D_{NY} \\ D_{FX} \\ D_{FY} \end{bmatrix} + AE \Delta L/L$$

Anggota 1: Tiada ralat pembinaan

$$\lambda_x = 0 \qquad \lambda_y = 1 \qquad AE = 200 \text{ kN/mm}^2 \times 500 \text{ mm}^2 = 1 \times 10^5$$

$$q_1 = \frac{10^5}{3} \begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{bmatrix} D_4 = 0 \\ D_1 = -6.283 \times 10^{-3} \\ D_3 = 0 \\ D_2 = 7.642 \times 10^{-3} \end{bmatrix} - 0$$

$$= 464.167 \text{ kN}$$

Anggota 2: Tiada ralat pembinaan.

$$\lambda_x = 0.8 \qquad \lambda_y = 0.6 \qquad AE = 200 \text{ kN/mm}^2 \times 500 \text{ mm}^2 = 1 \times 10^5$$

$$q_2 = \frac{10^5}{5} \begin{vmatrix} 0.8 & -0.6 & 0.8 & 0.6 \end{vmatrix} \begin{bmatrix} D_4 = 0 \\ D_1 = -6.283 \times 10^{-3} \\ D_5 = 0 \\ D_6 = 0 \end{bmatrix} - 0$$

$$= 125.66 \text{ kN}$$

Anggota 3: Pada anggota 3 berlaku ralat pembinaan.

$$\lambda_x = 1 \qquad \lambda_y = 0 \qquad AE = 200 \text{ kN/mm}^2 \times 500\text{mm}^2 = 1 \times 10^5$$

$$q_3 = \frac{10^5}{5} \quad \left| \begin{array}{cccc} -1 & 0 & 1 & 0 \end{array} \right| \quad \left[ \begin{array}{l} D_3 = 0 \\ D_2 = 7.642 \times 10^{-3} \\ D_5 = 0 \\ D_6 = 0 \end{array} \right] - (10^5 \times 0.005 / 4)$$

$$= -125 \text{ kN}$$

Anggota 4: Tiada ralat pembinaan belaku.

$$\lambda_x = 0.8 \qquad \lambda_y = 0.6 \qquad AE = 200 \text{ kN/mm}^2 \times 500\text{mm}^2 = 1 \times 10^5$$

$$q_4 = \frac{10^5}{5} \quad \left| \begin{array}{cccc} -0.8 & 0.6 & 0.8 & 0.6 \end{array} \right| \quad \left[ \begin{array}{l} D_3 = 0 \\ D_2 = 7.642 \times 10^{-3} \\ D_7 = 0 \\ D_8 = 0 \end{array} \right] - 0$$

$$= -91.70 \text{ kN}$$

### 4.3.3 Kesan perubahan suhu terhadap anggota struktur.

Anggota 1 mengalami pertambahan suhu sebanyak 20°C dengan kadar suhu iaitu  $1.5 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}$ . Nilai AE ialah  $1 \times 10^5$

Penyelesaian:

Dengan menggunakan persamaan:

$$f_o = AE \alpha (\Delta T)$$

$$\begin{pmatrix} (F_{NX})_0 \\ (F_{NY})_0 \\ (F_{FX})_0 \\ (F_{FY})_0 \end{pmatrix} = AE \alpha (\Delta T) \begin{pmatrix} \lambda x \\ \lambda y \\ -\lambda x \\ -\lambda y \end{pmatrix}$$

Maka,

$$\begin{pmatrix} (F_4)_0 \\ (F_1)_0 \\ (F_3)_0 \\ (F_2)_0 \end{pmatrix} = AE (1.5 \times 10^{-5}) (20) \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$= AE \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \times 10^{-4} \\ 0 \\ -3 \times 10^{-4} \end{bmatrix}$$

Dengan menggunakan hubungan  $F = K\Delta + F_0$  akan menghasilkan ungkapan:

$$\begin{bmatrix} F_1 = 0 \\ F_2 = -100 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \\ F_7 \\ F_8 \end{bmatrix} = \text{AE}$$

$$\begin{bmatrix} 0.405 & -0.333 & 0 & 0.096 & -0.096 & -0.072 & 0 & 0 \\ -0.333 & 0.405 & 0.096 & 0 & 0 & 0 & -0.096 & -0.072 \\ 0 & 0 & 0 & 0.378 & 0 & -0.25 & 0 & -0.128 \\ -0.096 & 0 & 0 & 0.128 & -0.128 & -0.096 & 0 & 0 \\ 0.096 & 0 & 0 & -0.128 & 0.378 & 0.096 & 0 & 0 \\ -0.096 & 0 & -0.25 & -0.128 & 0.378 & 0.096 & 0 & 0 \\ -0.072 & 0 & 0 & -0.096 & 0.096 & 0.072 & 0 & 0 \\ 0 & -0.096 & 0.128 & 0 & 0 & 0 & 0.128 & 0.096 \end{bmatrix}$$

$$\times \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \\ D_5 \\ D_6 \\ D_7 \\ D_8 \end{bmatrix} + \text{AE} \begin{bmatrix} 3 \times 10^{-4} \\ -3 \times 10^{-4} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Q_k = K_{11} Du + K_{12} Dk + \text{AE} \begin{bmatrix} 3 \times 10^{-4} \\ -3 \times 10^{-4} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ -100 \end{bmatrix} = \text{AE} \begin{bmatrix} 0.405 & -0.333 \\ -0.333 & 0.405 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix} + 0 + \text{AE} \begin{bmatrix} 3 \times 10^{-4} \\ -3 \times 10^{-4} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -30 \\ -70 \end{bmatrix} = \text{AE} \begin{bmatrix} 0.405 & -0.333 \\ -0.333 & 0.405 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix}$$

Anjakan yang tidak diketahui:

$$D_u = K_{11}^{-1} Q_k$$

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{0.053AE} \begin{bmatrix} 0.405 & -0.333 \\ -0.333 & 0.405 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -30 \\ -70 \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{AE} \begin{bmatrix} -669.057 \\ -723.396 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -6.69 \times 10^{-3} \\ -7.23 \times 10^{-3} \end{bmatrix} \text{ m}$$

Daya tindak balas yang tidak diketahui ditentukan melalui persamaan

$$Q_u = K_{21} D_u + K_{22} D_k + AE \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \\ F_7 \\ F_8 \end{bmatrix} = AE \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0.096 & 0 \\ -0.096 & 0 \\ -0.072 & 0 \\ 0 & -0.096 \\ 0 & -0.072 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -6.69 \times 10^{-3} \\ -7.23 \times 10^{-3} \end{bmatrix} + 0 + 0$$

$$= AE \begin{bmatrix} 0 \\ -6.42 \times 10^{-5} \\ 6.42 \times 10^{-5} \\ 4.82 \times 10^{-5} \\ 6.94 \times 10^{-5} \\ 5.21 \times 10^{-5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -64.2 \\ 64.2 \\ 48.22 \\ 69.4 \\ 52.1 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Daya dalaman anggota ditentukan dengan menggunakan persamaan

$$q = \frac{AE}{L} \begin{vmatrix} -\lambda_x & -\lambda_y & \lambda_x & \lambda_y \end{vmatrix} \begin{bmatrix} D_{NX} \\ D_{NY} \\ D_{FX} \\ D_{FY} \end{bmatrix} + AE \alpha (\Delta T)$$

Anggota 1: Berlaku perubahan suhu pada anggota 1 sebanyak 20°C

$$\lambda_x = 0 \qquad \lambda_y = 1 \qquad AE = 200 \text{ kN/mm}^2 \times 500 \text{ mm}^2 = 1 \times 10^5$$

$$q_1 = \frac{10^5}{3} \begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{bmatrix} D_4 = 0 \\ D_1 = -6.69 \times 10^{-4} \\ D_3 = 0 \\ D_2 = -7.23 \times 10^{-4} \end{bmatrix} - 10^5 \times (1.5 \times 10^{-5})$$

(20)

$$= -31.8 \text{ kN}$$

Anggota 2: Tiada perubahan suhu berlaku pada anggota 2.

$$\lambda_x = 0.8 \qquad \lambda_y = 0.6 \qquad AE = 200 \text{ kN /mm}^2 \times 500\text{mm}^2 = 1 \times 10^5$$

$$q_2 = \frac{10^5}{5} \left| \begin{array}{cccc} -0.8 & -0.6 & 0.8 & 0.6 \end{array} \right| \begin{bmatrix} D_4 = 0 \\ D_1 = -6.69 \times 10^{-4} \\ D_5 = 0 \\ D_6 = 0 \end{bmatrix} - 0$$

$$= 8.028 \text{ kN}$$

Anggota 3: Tiada perubahan suhu berlaku.

$$\lambda_x = 1 \qquad \lambda_y = 0 \qquad AE = 200 \text{ kN /mm}^2 \times 500\text{mm}^2 = 1 \times 10^5$$

$$q_3 = \frac{10^5}{5} \left| \begin{array}{cccc} -1 & 0 & 1 & 0 \end{array} \right| \begin{bmatrix} D_3 = 0 \\ D_2 = -7.23 \times 10^{-4} \\ D_5 = 0 \\ D_6 = 0 \end{bmatrix} - 0$$

$$= 0 \text{ kN}$$

Anggota 4: Tiada berlaku perubahan suhu

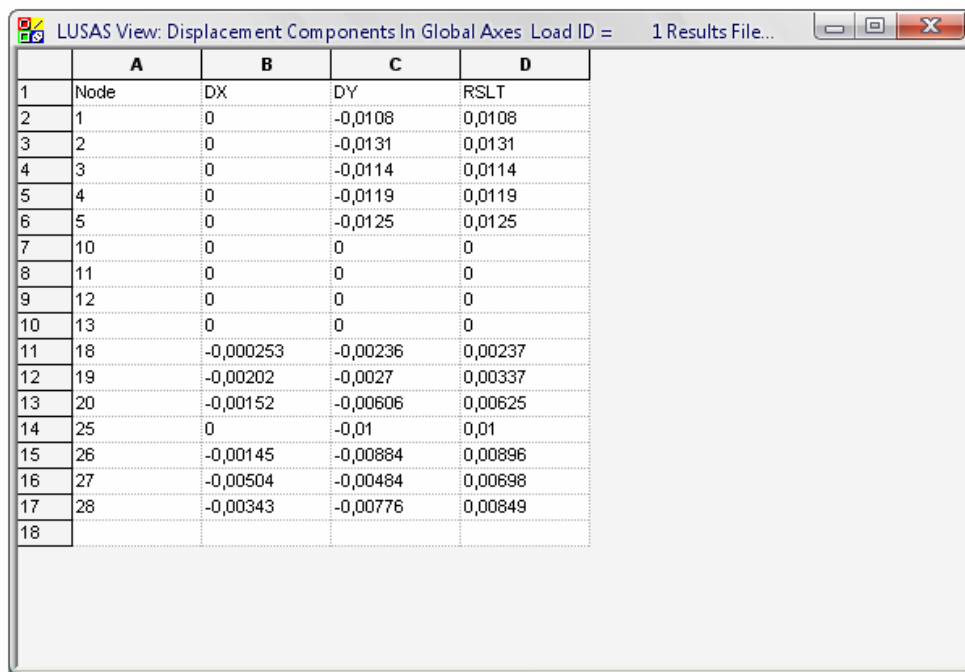
$$\lambda_x = 0.8 \qquad \lambda_y = 0.6 \qquad AE = 200 \text{ kN /mm}^2 \times 500\text{mm}^2 = 1 \times 10^5$$

$$q_4 = \frac{10^5}{5} \left| \begin{array}{cccc} -0.8 & 0.6 & 0.8 & 0.6 \end{array} \right| \begin{bmatrix} D_3 = 0 \\ D_2 = -7.23 \times 10^{-3} \\ D_7 = 0 \\ D_8 = 0 \end{bmatrix} - 0$$

$$= -8.676 \text{ kN}$$

#### 4.4 Analisis kekuda menggunakan perisian LUSAS

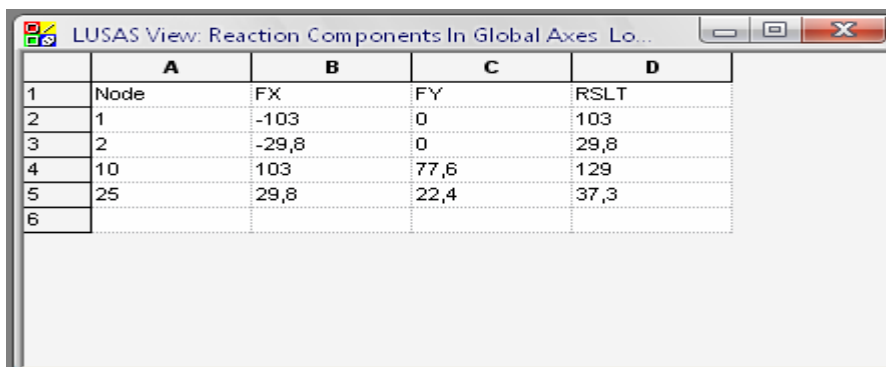
Berdasarkan analisis yang dijalankan melalui kaedah perisian LUSAS, didapati nilai anjakan yang diperolehi adalah sama seperti yang dikira melalui kaedah matrik kekakuan. Rajah 4.2 menunjukkan jadual yang dihasilkan oleh LUSAS yang menyimpulkan segala anjakan yang berlaku pada setiap nod pada kekuda satah ini akibat kesan enapan.



	A	B	C	D
1	Node	DX	DY	RSLT
2	1	0	-0,0108	0,0108
3	2	0	-0,0131	0,0131
4	3	0	-0,0114	0,0114
5	4	0	-0,0119	0,0119
6	5	0	-0,0125	0,0125
7	10	0	0	0
8	11	0	0	0
9	12	0	0	0
10	13	0	0	0
11	18	-0,000253	-0,00236	0,00237
12	19	-0,00202	-0,0027	0,00337
13	20	-0,00152	-0,00606	0,00625
14	25	0	-0,01	0,01
15	26	-0,00145	-0,00884	0,00896
16	27	-0,00504	-0,00484	0,00698
17	28	-0,00343	-0,00776	0,00849
18				

Rajah 4.2 Anjakan pada nod bagi kes enapan sokong

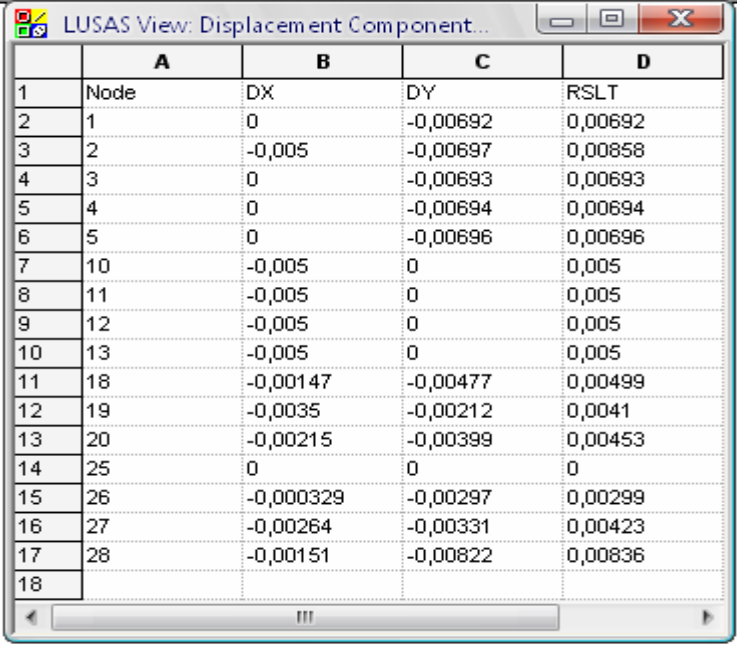
Daya ricih bagi kekuda satah yang dihasilkan oleh LUSAS boleh dirujuk pada Rajah 4.3 .



	A	B	C	D
1	Node	FX	FY	RSLT
2	1	-103	0	103
3	2	-29,8	0	29,8
4	10	103	77,6	129
5	25	29,8	22,4	37,3
6				

Rajah 4.3 Daya ricih akibat kesan enapan

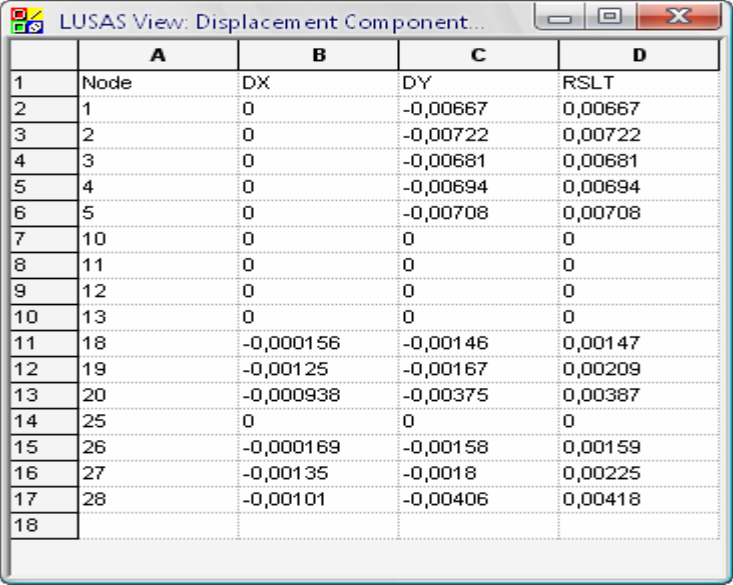
Rajah 4.4 menunjukkan anjakan yang berlaku pada nod akibat kesan ralat pembinaan pada anggota 3 kekuda satah ini.



	A	B	C	D
1	Node	DX	DY	RSLT
2	1	0	-0,00692	0,00692
3	2	-0,005	-0,00697	0,00858
4	3	0	-0,00693	0,00693
5	4	0	-0,00694	0,00694
6	5	0	-0,00696	0,00696
7	10	-0,005	0	0,005
8	11	-0,005	0	0,005
9	12	-0,005	0	0,005
10	13	-0,005	0	0,005
11	18	-0,00147	-0,00477	0,00499
12	19	-0,0035	-0,00212	0,0041
13	20	-0,00215	-0,00399	0,00453
14	25	0	0	0
15	26	-0,000329	-0,00297	0,00299
16	27	-0,00264	-0,00331	0,00423
17	28	-0,00151	-0,00822	0,00836
18				

**Rajah 4.4** Anjakan pada nod akibat ralat pembinaan

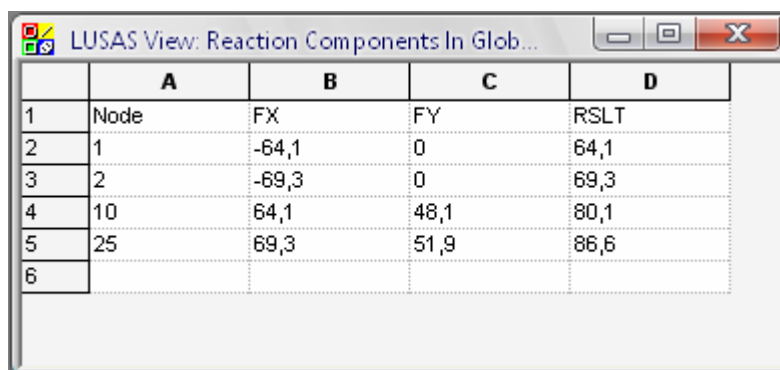
Rajah 4.5 menunjukkan anjakan yang berlaku pada nod akibat kesan perubahan suhu pada kekuda satah.



	A	B	C	D
1	Node	DX	DY	RSLT
2	1	0	-0,00667	0,00667
3	2	0	-0,00722	0,00722
4	3	0	-0,00681	0,00681
5	4	0	-0,00694	0,00694
6	5	0	-0,00708	0,00708
7	10	0	0	0
8	11	0	0	0
9	12	0	0	0
10	13	0	0	0
11	18	-0,000156	-0,00146	0,00147
12	19	-0,00125	-0,00167	0,00209
13	20	-0,000938	-0,00375	0,00387
14	25	0	0	0
15	26	-0,000169	-0,00158	0,00159
16	27	-0,00135	-0,0018	0,00225
17	28	-0,00101	-0,00406	0,00418
18				

**Rajah 4.5** Anjakan pada nod akibat kesan perubahan suhu

Rajah 4.6 menunjukkan daya tindak balas yang berlaku pada nod akibat kesan perubahan suhu pada kekuda satah.



	A	B	C	D
1	Node	FX	FY	RSLT
2	1	-64,1	0	64,1
3	2	-69,3	0	69,3
4	10	64,1	48,1	80,1
5	25	69,3	51,9	86,6
6				

**Rajah 4.6 Daya tindak balas pada nod akibat kesan perubahan suhu**

Model-model kekuda satah yang telah dibuat di dalam LUSAS telah ditunjukkan dan boleh dirujuk pada Rajah 3.15, Rajah 3.16 dan Rajah 3.17.

## **BAB V**

### **ANALISIS KERANGKA SATAH**

#### **5.1 Pengenalan**

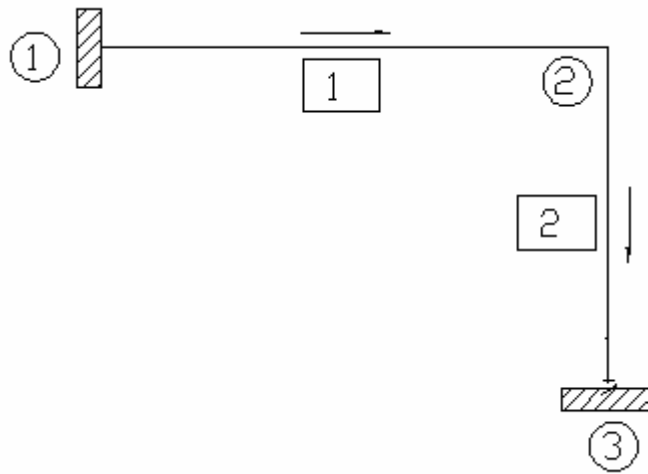
Dalam kajian ini, analisis struktur yang dijalankan dibahagikan kepada dua bahagian. Bahagian pertama adalah fasa dimana analisis dijalankan dengan menggunakan kaedah matrik kekukuhan berpandukan dan berbantuan perisian Microsoft Excel. Bahagian kedua pula, adalah fasa berkomputer dimana analisis dijalankan dengan menggunakan perisian analisis yang meluas dipraktikkan oleh para jurutera iaitu LUSAS.

#### **5.2 Analisis kerangka satah menggunakan kaedah matrik kekukuhan**

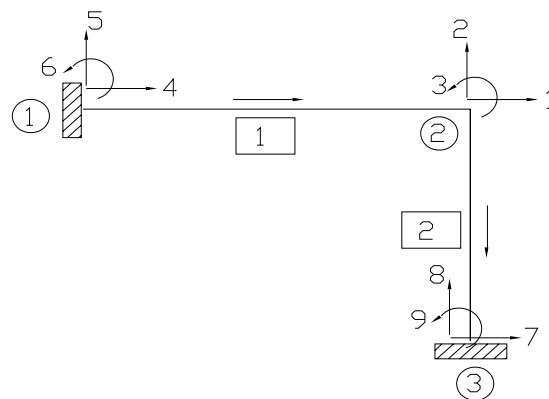
##### **5.2.1 Kesan Tindakan Enapan**

Kerangka satah seperti mana yang ditunjukkan pada Rajah 5.1 terdiri daripada 2 anggota. Diberi nilai luas keratan rentas anggota,  $A$  ialah  $4 \times 10^{-3} \text{ m}^2$  manakala nilai modulus keanjalan,  $E$  dan nilai momen sifat tekunnya,  $I$  ialah  $200 \times 10^6 \text{ Kn/m}^2$  dan  $100 \times 10^{-6} \text{ m}^4$ . Struktur ini mengalami enapan pada sokong 2

sebanyak 40mm. Analisis kerangka satah ini dengan menggunakan kaedah kekakuan dan dibuktikan dengan penyelesaian peisian LUSAS.



**Rajah 5.1 Kerangka satah**



**Rajah 5.2 Sistem penomboran dan darjah kebebasan kerangka**

Penyelesaian:

Daya yang diketahui:

$$Q_k = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$



- $4EI/L = 20 \times 10^3 \text{ kNm}$
- $2EI/L = 10 \times 10^3 \text{ kNm}$

Matrik kekakuan anggota 2,  $k_2$ :

$$K_1 = \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 3 & 7 & 8 & 9 \end{array} \\ \left| \begin{array}{cccccc} 3.75 & 0 & 7.5 & -3.75 & 0 & 7.5 \\ 0 & 200 & 0 & 0 & -200 & 0 \\ 7.5 & 0 & 20 & -7.5 & 0 & 10 \\ -3.75 & 0 & -7.5 & 3.75 & 0 & -7.5 \\ 0 & -200 & 0 & 0 & 200 & 0 \\ 7.5 & 0 & 10 & -7.5 & 0 & 20 \end{array} \right| \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \end{array} \end{array}$$

Matrik kekakuan struktur diperoleh dengan menggabungkan kedua-dua matrik kekakuan sejangat setiap anggota ke dalam satu matrik kekakuan global,  $K$  dan seterusnya dengan menggunakan hubungan daya dan anjakan iaitu  $F = K D$ , maka terbentuklah persamaan matrik:

$$\begin{array}{c} \left[ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \\ F_7 \\ F_8 \end{array} \right] = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cccccc} 137.08 & 0 & 7.5 & -133.33 & 0 & 0 & -3.75 & 0 & 7.5 \\ 0 & 201.1 & -3.33 & 0 & -1.111 & -3.33 & 0 & -200 & 0 \\ 7.5 & 3.33 & 33.33 & 0 & 3.33 & 6.67 & -7.5 & 0 & 10 \\ -133.33 & 0 & 0 & 133.33 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.111 & 3.33 & 0 & 1.11 & 3.33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -3.33 & 6.67 & 0 & 3.33 & 13.33 & 0 & 0 & 0 \\ -3.75 & 0 & -7.5 & 0 & 0 & 0 & 3.75 & 0 & -7.5 \\ 0 & -200 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 200 & 0 \\ 7.5 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & -7.5 & 0 & 20 \end{array} \right| \end{array} \end{array}$$

$$\times 10^3 \times \begin{array}{c} \left[ \begin{array}{c} D1 \\ D2 \\ D3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0.04 \\ 0 \end{array} \right] \end{array}$$

Anjakan yang terhasil:

$$\begin{bmatrix} Fk \\ Fu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K11 & K12 \\ K21 & K22 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u \\ \Delta k \end{bmatrix}$$

$$Fk = K_{11} \Delta u + K_{12} \Delta k$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 137.08 & 0 & 7.5 \\ 0 & 201.1 & -3.33 \\ 7.5 & 3.33 & 33.33 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D1 \\ D2 \\ D3 \end{bmatrix}$$

$$+ EI \begin{bmatrix} -133.33 & 0 & 0 & -3.75 & 0 & 7.5 \\ 0 & -1.111 & -3.33 & 0 & -200 & 0 \\ 0 & 3.33 & 6.67 & -7.5 & 0 & 10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0.04 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} D1 \\ D2 \\ D3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2.2 \times 10^{-4} \\ 3.98 \times 10^{-2} \\ 0.004 \end{bmatrix} \text{ rad}$$

Daya tindak balas pada sokong:

$$Fu = K_{21} \Delta u + K_{22} \Delta k + F_R$$

$$\begin{bmatrix} F4 \\ F5 \\ F6 \\ F7 \\ F8 \\ F9 \end{bmatrix} = 10^3 \begin{bmatrix} -133.33 & 0 & 0 \\ 0 & -1.111 & 3.33 \\ 0 & -3.33 & 6.67 \\ -3.75 & 0 & -7.5 \\ 0 & -200 & 0 \\ 7.5 & 0 & 10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -2.2 \times 10^{-4} \\ 3.98 \times 10^{-2} \\ 0.004 \end{bmatrix}$$

$$+ 10^3 \begin{bmatrix} 133.33 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.11 & 3.33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3.33 & 13.33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3.75 & 0 & -7.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 200 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -7.5 & 0 & 20 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0.04 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 29.332 \\ -30.9 \\ -105.85 \\ -29.18 \\ 15.96 \\ 38.35 \end{bmatrix}$$

Daya hujung anggota:

Dengan menggunakan formula asas iaitu  $f = kTD$ ,

$$f_1 = \begin{vmatrix} 133.333 & 0 & 0 & -13.333 & 0 & 0 \\ 0 & 1.111 & 3.333 & 0 & -1.111 & 3.333 \\ 0 & 3.333 & 13.333 & 0 & -3.333 & 6.667 \\ -133.333 & 0 & 0 & 133.333 & 0 & 0 \\ 0 & -1.111 & -3.333 & 0 & 1.111 & -3.333 \\ 0 & 3.333 & 6.667 & 0 & -3.333 & 13.333 \end{vmatrix} \times [T]$$

$$\times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0.00022 \\ 0.0398 \\ 0.004 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F_4 \\ F_5 \\ F_6 \\ F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 29.3326 \\ 2.442 \\ -5.954 \\ 29.3 \\ 2.442 \\ 20.686 \end{bmatrix}$$

### 5.2.2 Kesan ralat pembinaan

Pada anggota 1, berlaku ralat pembinaan iaitu dimana anggota 1 dibina atau dipasang terpendek sebanyak 0.1m. Analisis kerangka satah ini berdasarkan Rajah 5.3.

Dengan menggunakan persamaan:

$$f_o = AE (\Delta L) / L$$

$$\begin{pmatrix} (F_{NX})_o \\ (F_{NY})_o \\ (F_{NZ})_o \\ (F_{FX})_o \\ (F_{FY})_o \\ (F_{FZ})_o \end{pmatrix} = AE (\Delta L) / L \begin{pmatrix} \lambda_x \\ \lambda_y \\ \lambda_z \\ -\lambda_x \\ -\lambda_y \\ -\lambda_z \end{pmatrix}$$

$$\lambda_x = (6-0)/6 = 1$$

$$\lambda_y = 0$$

Maka,

$$\begin{pmatrix} (F_4)_o \\ (F_5)_o \\ (F_6)_o \\ (F_1)_o \\ (F_2)_o \\ (F_3)_o \end{pmatrix} = EI (-0.1) / 6 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= EI \begin{bmatrix} -0.0167 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0167 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Dengan menggunakan hubungan daya dan anjakan,  $f = kD$ :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \\ F_7 \\ F_8 \end{bmatrix} = 10^3 \begin{bmatrix} 137.08 & 0 & 7.5 & -133.33 & 0 & 0 & -3.75 & 0 & 7.5 \\ 0 & 201.1 & -3.33 & 0 & -1.111 & -3.33 & 0 & -200 & 0 \\ 7.5 & 3.33 & 33.33 & 0 & 3.33 & 6.67 & -7.5 & 0 & 10 \\ -133.33 & 0 & 0 & 133.33 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.111 & 3.33 & 0 & 1.11 & 3.33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -3.33 & 6.67 & 0 & 3.33 & 13.33 & 0 & 0 & 0 \\ -3.75 & 0 & -7.5 & 0 & 0 & 0 & 3.75 & 0 & -7.5 \\ 0 & -200 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 200 & 0 \\ 7.5 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & -7.5 & 0 & 20 \end{bmatrix}$$

$$x \begin{bmatrix} D1 \\ D2 \\ D3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + 10^3 \begin{bmatrix} 0.0167 \\ 0 \\ 0 \\ -0.0167 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Anjakan yang terhasil:

$$\begin{bmatrix} Fk \\ Fu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K11 & K12 \\ K21 & K22 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u \\ \Delta k \end{bmatrix}$$

$$Fk = K_{11} \Delta u + K_{12} \Delta k + F_R$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 137.08 & 0 & 7.5 \\ 0 & 201.1 & -3.33 \\ 7.5 & 3.33 & 33.33 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D1 \\ D2 \\ D3 \end{bmatrix}$$

$$+ EI \begin{bmatrix} -133.33 & 0 & 0 & -3.75 & 0 & 7.5 \\ 0 & -1.111 & -3.33 & 0 & -200 & 0 \\ 0 & 3.33 & 6.67 & -7.5 & 0 & 10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$+ EI \begin{bmatrix} 0.0167 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} D1 \\ D2 \\ D3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1233 \\ -4.607 \times 10^{-4} \\ -0.02779 \end{bmatrix} \text{ rad}$$

Daya hujung anggota:

Dengan menggunakan formula asas iaitu  $f = kTD$ ,

$$f_1 = \begin{bmatrix} 133.333 & 0 & 0 & -13.333 & 0 & 0 \\ 0 & 1.111 & 3.333 & 0 & -1.111 & 3.333 \\ 0 & 3.333 & 13.333 & 0 & -3.333 & 6.667 \\ -133.333 & 0 & 0 & 133.333 & 0 & 0 \\ 0 & -1.111 & -3.333 & 0 & 1.111 & -3.333 \\ 0 & 3.333 & 6.667 & 0 & -3.333 & 13.333 \end{bmatrix} \times [T]$$

$$x \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.1233 \\ -4.607 \times 10^{-4} \\ -0.02779 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F_4 \\ F_5 \\ F_6 \\ F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16.4396 \\ -0.09203 \\ -0.1838 \\ 16.4396 \\ 0.0921 \\ -0.36891 \end{bmatrix} 10^3$$

### 5.2.3 Kesan perubahan suhu pada kekuda satah

Pada anggota 1, berlaku perubahan suhu iaitu dimana anggota 1 mengalami kenaikan suhu sebanyak 20°C. Analisis kerangka satah ini.

Dengan menggunakan persamaan:

$$f_0 = EI \alpha (\Delta T)$$

$$\begin{bmatrix} (F_{NX})_0 \\ (F_{NY})_0 \\ (F_{NZ})_0 \\ (F_{FX})_0 \\ (F_{FY})_0 \\ (F_{FZ})_0 \end{bmatrix} = EI \alpha (\Delta T) \begin{bmatrix} \lambda_x \\ \lambda_y \\ \lambda_z \\ -\lambda_x \\ -\lambda_y \\ -\lambda_z \end{bmatrix}$$

$$\lambda_x = (6-0)/6 = 1$$

$$\lambda_y = 0$$

Maka,

$$\begin{bmatrix} (F_4)_0 \\ (F_5)_0 \\ (F_6)_0 \\ (F_1)_0 \\ (F_2)_0 \\ (F_3)_0 \end{bmatrix} = EI (1.2 \times 10^{-5}) \times 20 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= EI \begin{bmatrix} 2.4 \times 10^{-4} \\ 0 \\ 0 \\ -2.4 \times 10^{-4} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Dengan menggunakan hubungan daya dan anjakan,  $f = kD$ :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \\ F_7 \\ F_8 \end{bmatrix} = 10^3 \begin{bmatrix} 137.08 & 0 & 7.5 & -133.33 & 0 & 0 & -3.75 & 0 & 7.5 \\ 0 & 201.1 & -3.33 & 0 & -1.111 & -3.33 & 0 & -200 & 0 \\ 7.5 & 3.33 & 33.33 & 0 & 3.33 & 6.67 & -7.5 & 0 & 10 \\ -133.33 & 0 & 0 & 133.33 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.111 & 3.33 & 0 & 1.11 & 3.33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -3.33 & 6.67 & 0 & 3.33 & 13.33 & 0 & 0 & 0 \\ -3.75 & 0 & -7.5 & 0 & 0 & 0 & 3.75 & 0 & -7.5 \\ 0 & -200 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 200 & 0 \\ 7.5 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & -7.5 & 0 & 20 \end{bmatrix}$$

$$\times \begin{bmatrix} D1 \\ D2 \\ D3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + 10^3 \begin{bmatrix} -2.4 \times 10^{-4} \\ 0 \\ 0 \\ 2.4 \times 10^{-4} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Anjakan yang terhasil:

$$\begin{bmatrix} Fk \\ Fu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K11 & K12 \\ K21 & K22 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u \\ \Delta k \end{bmatrix}$$

$$Fk = K_{11} \Delta u + K_{12} \Delta k + F_R$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 137.08 & 0 & 7.5 \\ 0 & 201.1 & -3.33 \\ 7.5 & 3.33 & 33.33 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D1 \\ D2 \\ D3 \end{bmatrix}$$

$$+ EI \begin{bmatrix} -133.33 & 0 & 0 & -3.75 & 0 & 7.5 \\ 0 & -1.111 & -3.33 & 0 & -200 & 0 \\ 0 & 3.33 & 6.67 & -7.5 & 0 & 10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} -2.4 \times 10^{-4} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} D1 \\ D2 \\ D3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.7726 \times 10^{-3} \\ 6.6209 \times 10^{-5} \\ 3.9951 \times 10^{-4} \end{bmatrix} \text{ rad}$$

Daya hujung anggota:

Dengan menggunakan formula asas iaitu  $f = kTD$ ,

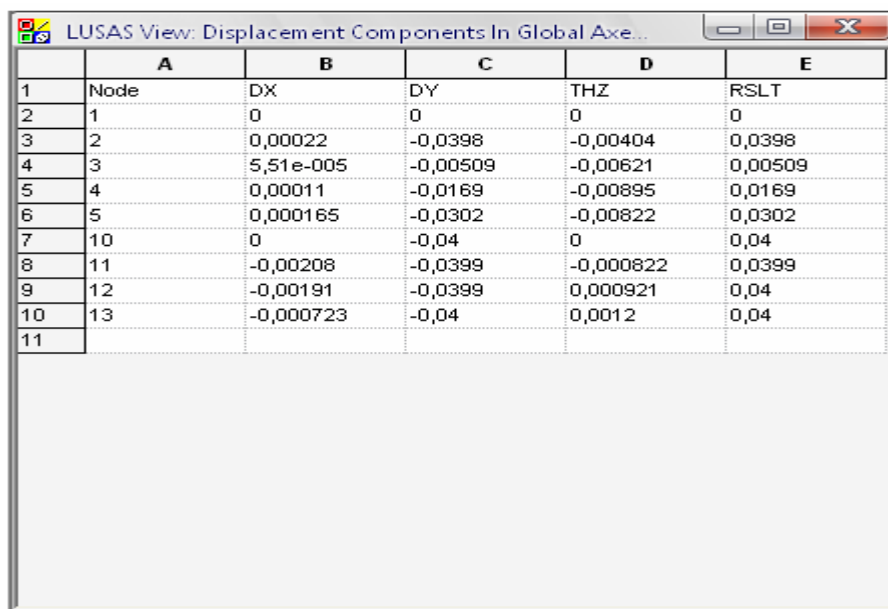
$$f_1 = \begin{vmatrix} 133.333 & 0 & 0 & -13.333 & 0 & 0 \\ 0 & 1.111 & 3.333 & 0 & -1.111 & 3.333 \\ 0 & 3.333 & 13.333 & 0 & -3.333 & 6.667 \\ -133.333 & 0 & 0 & 133.333 & 0 & 0 \\ 0 & -1.111 & -3.333 & 0 & 1.111 & -3.333 \\ 0 & 3.333 & 6.667 & 0 & -3.333 & 13.333 \end{vmatrix} \times [T]$$

$$\times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1.7726 \times 10^{-3} \\ 6.6209 \times 10^{-6} \\ 3.9951 \times 10^{-4} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F_4 \\ F_5 \\ F_6 \\ F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.000236 \\ 0.001323 \\ 0.00264 \\ -0.000236 \\ -0.00132 \\ 0.00530 \end{bmatrix} 10^3$$

### 5.3 Hasil analisis LUSAS

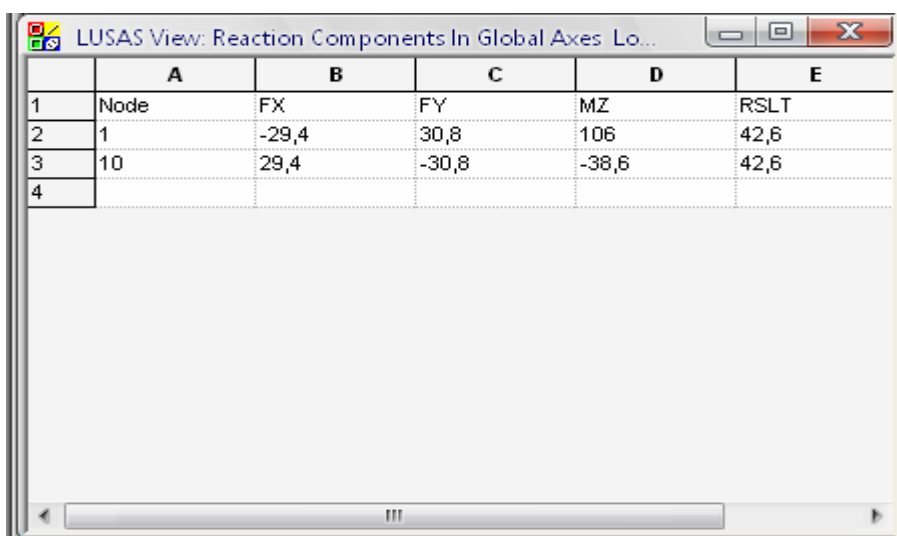
Rajah 5.3 menunjukkan anjakan pada nod akibat daripada enapan pada sokong 2.



	A	B	C	D	E
1	Node	DX	DY	THZ	RSLT
2	1	0	0	0	0
3	2	0,00022	-0,0398	-0,00404	0,0398
4	3	5,51e-005	-0,00509	-0,00621	0,00509
5	4	0,00011	-0,0169	-0,00895	0,0169
6	5	0,000165	-0,0302	-0,00822	0,0302
7	10	0	-0,04	0	0,04
8	11	-0,00208	-0,0399	-0,000822	0,0399
9	12	-0,00191	-0,0399	0,000921	0,04
10	13	-0,000723	-0,04	0,0012	0,04
11					

**Rajah 5.3 Anjakan pada nod akibat kesan enapan**

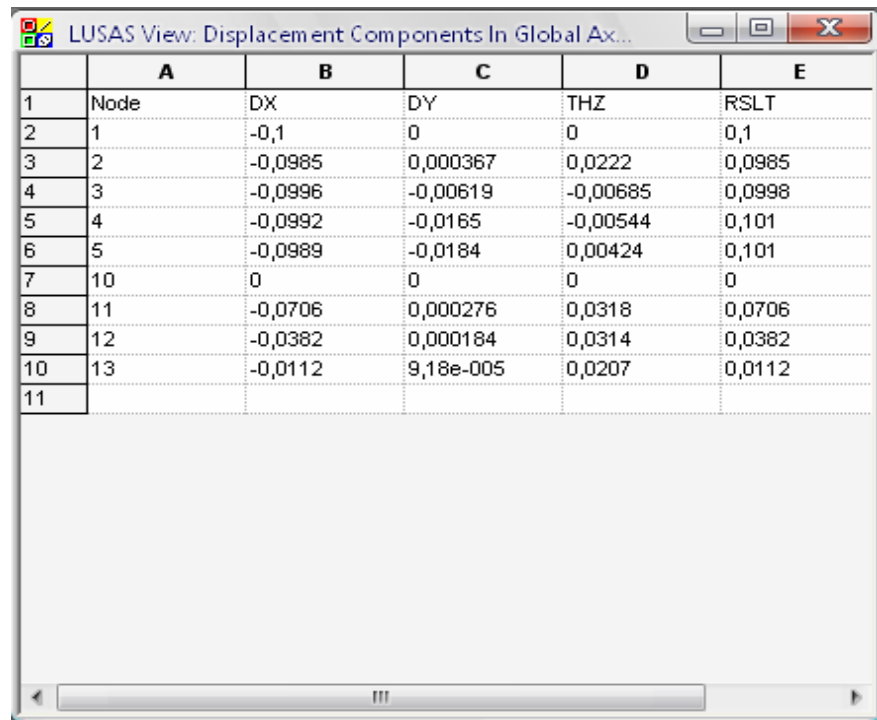
Rajah 5.4 menunjukkan daya tindak balas yang terhasil akibat kesan enapan



	A	B	C	D	E
1	Node	FX	FY	MZ	RSLT
2	1	-29,4	30,8	106	42,6
3	10	29,4	-30,8	-38,6	42,6
4					

**Rajah 5.4 Daya tindak balas pada sokong akibat kesan enapan**

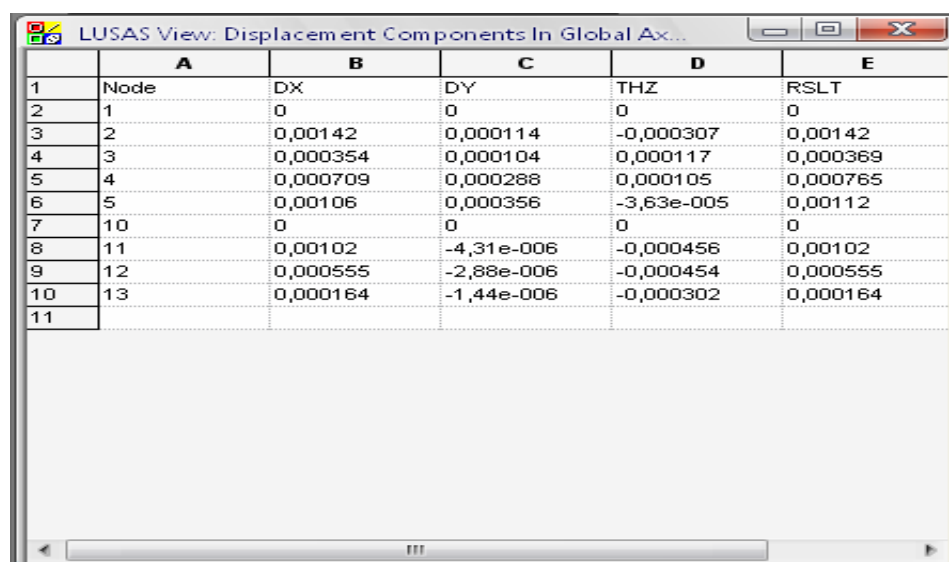
Rajah 5.5 menunjukkan anjakan pada nod akibat kesan ralat pembinaan anggota kerangka satah



	A	B	C	D	E
1	Node	DX	DY	THZ	RSLT
2	1	-0,1	0	0	0,1
3	2	-0,0985	0,000367	0,0222	0,0985
4	3	-0,0996	-0,00619	-0,00685	0,0998
5	4	-0,0992	-0,0165	-0,00544	0,101
6	5	-0,0989	-0,0184	0,00424	0,101
7	10	0	0	0	0
8	11	-0,0706	0,000276	0,0318	0,0706
9	12	-0,0382	0,000184	0,0314	0,0382
10	13	-0,0112	9,18e-005	0,0207	0,0112
11					

**Rajah 5.5** Anjakan pada nod akibat kesan ralat pembinaan anggota

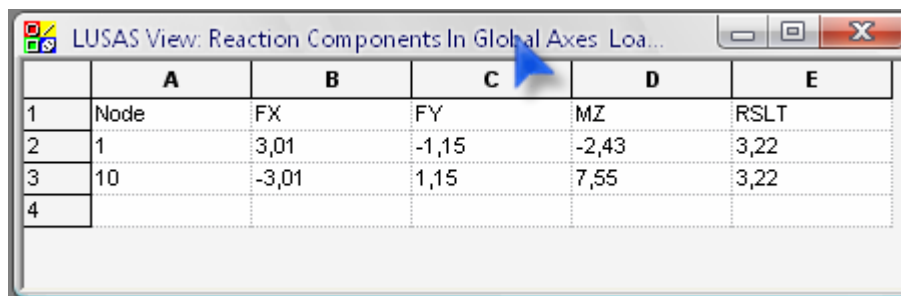
Rajah 5.6 menunjukkan anjakan pada nod akibat kesan perubahan suhu pada anggota kerangka satah.



	A	B	C	D	E
1	Node	DX	DY	THZ	RSLT
2	1	0	0	0	0
3	2	0,00142	0,000114	-0,000307	0,00142
4	3	0,000354	0,000104	0,000117	0,000369
5	4	0,000709	0,000288	0,000105	0,000765
6	5	0,00106	0,000356	-3,63e-005	0,00112
7	10	0	0	0	0
8	11	0,00102	-4,31e-006	-0,000456	0,00102
9	12	0,000555	-2,88e-006	-0,000454	0,000555
10	13	0,000164	-1,44e-006	-0,000302	0,000164
11					

**Rajah 5.6** Anjakan pada nod akibat kesan perubahan suhu

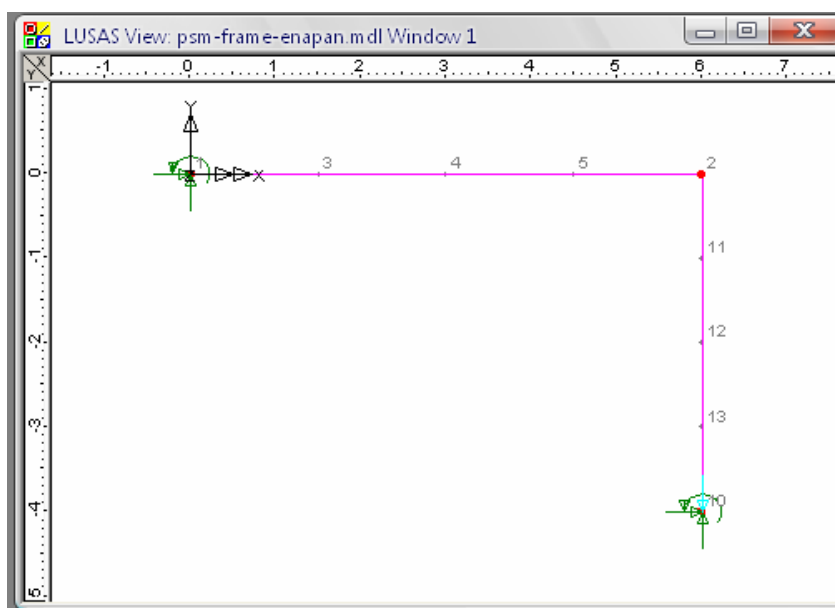
Rajah 5.7 menunjukkan daya tindak balas pada nod akibat kesan perubahan suhu pada anggota kerangka satah.



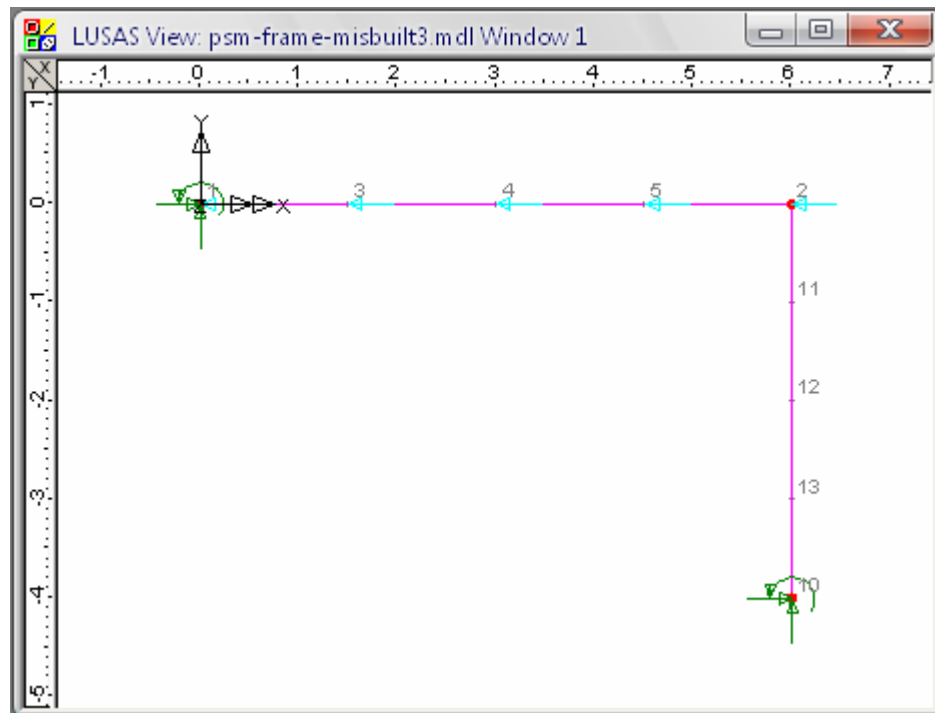
	A	B	C	D	E
1	Node	FX	FY	MZ	RSLT
2	1	3,01	-1,15	-2,43	3,22
3	10	-3,01	1,15	7,55	3,22
4					

**Rajah 5.7** Daya tindak balas pada nod akibat kesan perubahan suhu

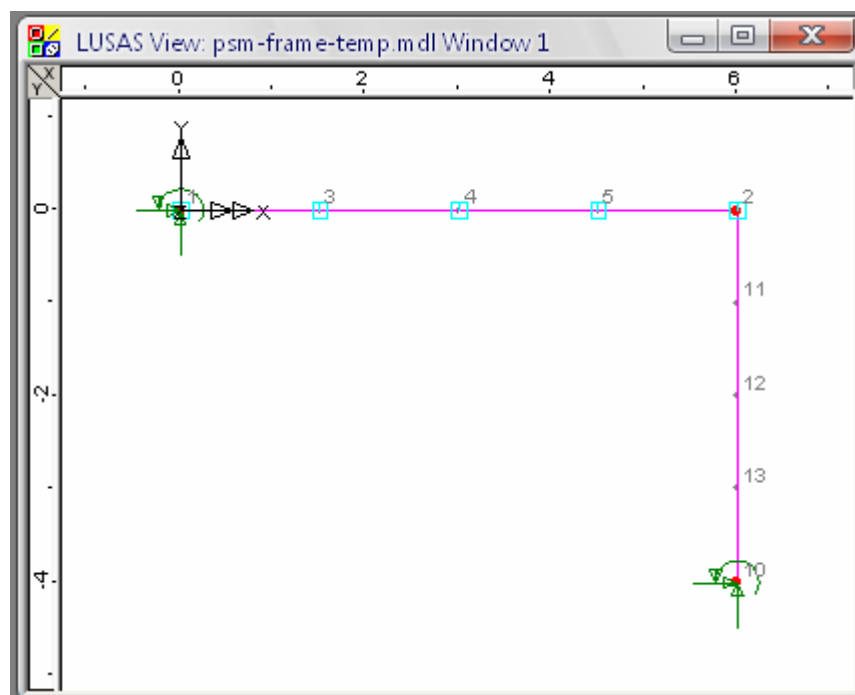
Model-model struktur kerangka satah yang dimodelkan di dalam perisian LUSAS adalah seperti yang ditunjukkan pada Rajah 5.8, Rajah 5.9 dan Rajah 5.10.



**Rajah 5.8** Model kerangka satah yang berlaku kesan enapan



**Rajah 5.9 Model kerangka satah yang berlaku kesan ralat pembinaan anggota**



**Rajah 5.10 Model kerangka satah yang berlaku kesan perubahan suhu anggota**

## BAB VI

### ANALISIS RASUK

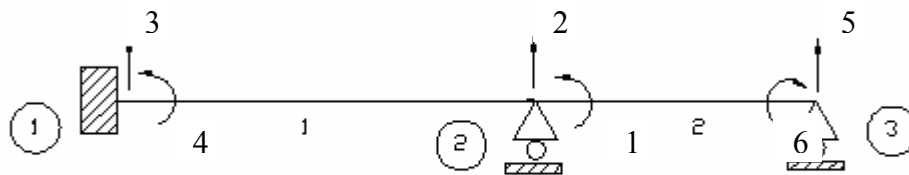
#### 6.1 Pengenalan

Dalam kajian ini, analisis struktur terhadap rasuk yang dijalankan dibahagikan kepada tiga bahagian. Bahagian pertama adalah fasa dimana analisis dijalankan dengan menggunakan kaedah matrik kekukuhan berpandukan dan berbantuan perisian Microsoft Excel. Bahagian kedua pula, adalah fasa berkomputer dimana analisis dijalankan dengan menggunakan perisian analisis yang meluas dipraktikkan oleh para jurutera iaitu LUSAS.

#### 6.2 Analisis rasuk menggunakan kaedah matrik kekukuhan



Rajah 6.1 Rasuk



**Rajah 6.2 Darjah kebebasan bagi rasuk**

Rajah di atas menunjukkan sabatang rasuk yang diikat tegar di sambungan 1 dan 3 dan disokong rola pada sambungan 2. Rasuk ini mempunyai nilai nisbah  $E$  sebanyak  $200 \times 10^6$  kN/m dan nilai  $I$  sebanyak  $216 \times 10^{-6}$  m<sup>4</sup>

Analisis rasuk ini terhadap tiga jenis beban iaitu:

- Beban akibat kesan enapan sokong.
- Beban akibat kesan ralat pembinaan anggota.
- Beban akibat kesan perubahan suhu.

Penyelesaian :

Daya dan anjakan yang tidak diketahui:

$$D_u = [D_1]$$

$$Q_k = [Q_1] = [0] \text{ kN}$$

$$D_k = \begin{bmatrix} D_2 \\ D_3 \\ D_4 \\ D_5 \\ D_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.05 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Q_u = \begin{bmatrix} Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \end{bmatrix}$$

Matrik kekakuan anggota struktur, k:

Anggota 1:

$$K = \begin{vmatrix} 12EI/L^3 & 6EI/L^2 & -12EI/L^3 & 6EI/L^3 \\ 6EI/L^2 & 4EI/L & 6EI/L^3 & 2EI/L^3 \\ -12EI/L^3 & -6EI/L^2 & 12EI/L^3 & -6EI/L^3 \\ 6EI/L^2 & 2EI/L^3 & -6EI/L^3 & 4EI/L^3 \end{vmatrix}$$

3                  4                  2                  1

$$K1 = \begin{vmatrix} 0.023 & 0.094 & -0.023 & 0.094 \\ 0.094 & 0.5 & -0.094 & 0.25 \\ -0.023 & -0.094 & 0.023 & -0.094 \\ -0.094 & 0.25 & -0.094 & 0.5 \end{vmatrix} \begin{matrix} 3 \\ 4 \\ 2 \\ 1 \end{matrix}$$

Anggota 2:

$$K = \begin{vmatrix} 12EI/L^3 & 6EI/L^2 & -12EI/L^3 & 6EI/L^3 \\ 6EI/L^2 & 4EI/L & 6EI/L^3 & 2EI/L^3 \\ -12EI/L^3 & -6EI/L^2 & 12EI/L^3 & -6EI/L^3 \\ 6EI/L^2 & 2EI/L^3 & -6EI/L^3 & 4EI/L^3 \end{vmatrix}$$

2                  1                  5                  6

$$K2 = \begin{vmatrix} 0.096 & 0.24 & -0.096 & 0.24 \\ 0.24 & 0.8 & -0.24 & 0.4 \\ -0.096 & -0.24 & 0.096 & -0.24 \\ -0.094 & 0.4 & -0.24 & 0.8 \end{vmatrix} \begin{matrix} 2 \\ 1 \\ 5 \\ 6 \end{matrix}$$

Hubungan matrik kekakuan struktur global dengan daya dan anjakan:

$$F = KD$$

$$\begin{array}{c|c|cccccc|c|c} & & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & & \\ \hline 7 & & 1.3 & 0.146 & 0.094 & 0.25 & -0.24 & 0.4 & & \\ 5 & & 0.146 & 0.119 & -0.023 & -0.094 & 0.096 & 0.24 & & \\ F3 & = EI & 0.094 & -0.023 & 0.023 & 0.094 & 0 & 0 & D1 & 1 \\ F4 & & 0.25 & -0.094 & 0.094 & 0.5 & 0 & 0 & -0.05 & 2 \\ F5 & & -0.24 & 0.096 & 0 & 0 & 0.096 & -0.24 & 0 & 3 \\ F6 & & 0.4 & 0.24 & 0 & 0 & -0.24 & 0.8 & 0 & 4 \\ & & & & & & & & & 5 \\ & & & & & & & & & 6 \end{array}$$

### 6.2.1 Beban akibat kesan enapan sokong.

Anjakan yang tidak diketahui

$$\begin{bmatrix} Fk \\ Fu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K11 & K12 \\ K21 & K22 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u \\ \Delta k \end{bmatrix}$$

$$Fk = K_{11} \Delta u + K_{12} \Delta k$$

$$[0] = EI [1.3] [D1] + EI \begin{bmatrix} 0.146 & 0.094 & 0.25 & -0.24 & 0.4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.05 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$[D1] = [5.6154 \times 10^{-3}] \text{ rad}$$

Daya tindak balas:

$$Fu = K_{21} \Delta u + K_{22} \Delta k$$

$$\begin{bmatrix} F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{bmatrix} = EI \begin{bmatrix} 0.146 \\ 0.094 \\ 0.25 \\ -0.24 \\ 0.4 \end{bmatrix} [5.6154 \times 10^{-3}]$$

$$+ EI \begin{bmatrix} 0.119 & -0.023 & -0.094 & 0.096 & 0.24 \\ -0.023 & 0.023 & 0.094 & 0 & 0 \\ -0.094 & 0.094 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.096 & 0 & 0 & 0.096 & -0.24 \\ 0.24 & 0 & 0 & -0.24 & 0.8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.05 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{bmatrix} = EI \begin{bmatrix} -0.00562 \\ 0.001362 \\ 0.005267 \\ 0.00426 \\ -0.0111 \end{bmatrix} \text{ kN} = \begin{bmatrix} 242.784 \\ 58.8384 \\ 227.5344 \\ 148.032 \\ -419.52 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Daya ricih dan momen hujung anggota

Anggota 1

$$\begin{bmatrix} F_3 \\ F_4 \\ F_2 \\ F_1 \end{bmatrix} = EI \begin{bmatrix} 0.023 & 0.094 & -0.023 & 0.094 \\ 0.094 & 0.5 & -0.094 & 0.25 \\ -0.023 & -0.094 & 0.023 & -0.094 \\ -0.094 & 0.25 & -0.094 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -0.05 \\ 5.6154 \times 10^{-3} \end{bmatrix}$$

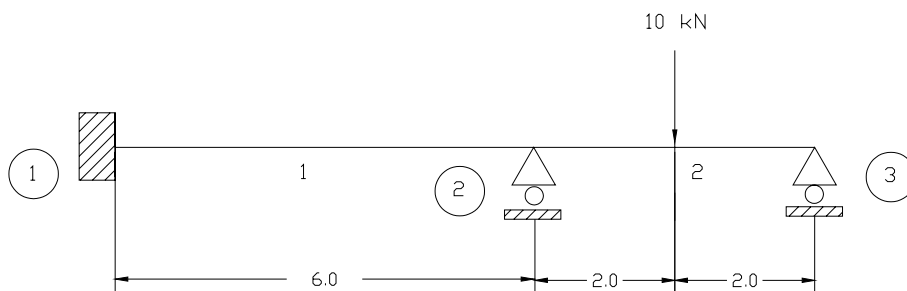
$$= \begin{bmatrix} 72.49 \\ 263.52 \\ -72.49 \\ 324.43 \end{bmatrix}$$

Anggota 2

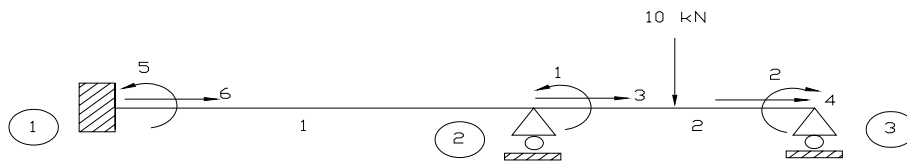
$$\begin{bmatrix} F_2 \\ F_1 \\ F_5 \\ F_6 \end{bmatrix} = EI \begin{vmatrix} 0.096 & 0.24 & -0.096 & 0.24 \\ 0.24 & 0.8 & -0.24 & 0.4 \\ -0.096 & -0.24 & 0.096 & -0.24 \\ -0.094 & 0.4 & -0.24 & 0.8 \end{vmatrix} \begin{bmatrix} -0.05 \\ 5.6154 \times 10^{-3} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -26.784 \\ -82.08 \\ 26.784 \\ -142.56 \end{bmatrix}$$

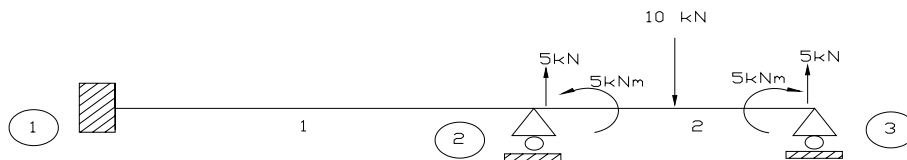
### 6.2.2 Beban akibat kesan ralat pembinaan anggota



Rajah 6.3 Rasuk kes 2



**Rajah 6.5 Darjah kebebasan bagi rasuk kes 2**



**Rajah 6.6 Daya paksi dan momen hujung terikat**

Analisis rasuk ini jika mengalami ralat pembinaan iaitu berlaku ralat sebanyak 0.1m pada anggota 2.

Daya dan anjakan yang tidak diketahui:

$$D_u = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix}$$

$$Q_k = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 \\ -5 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$Dk = \begin{bmatrix} D_3 \\ D_4 \\ D_5 \\ D_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Matrik kekakuan sejagat anggota struktur, k:

Anggota 1:

$$K = \begin{vmatrix} AE/L & 0 & -AE/L & 0 \\ 0 & 4EI/L & 0 & 2EI/L \\ -AE/L & 0 & AE/L & 0 \\ 0 & 2EI/L & 0 & 4EI/L \end{vmatrix}$$

5                  6                  3                  1

$$K_1 = \begin{vmatrix} 6.667 \times 10^5 & 0 & -6.667 \times 10^5 & 0 \\ 0 & 28800 & 0 & 14400 \\ -6.667 \times 10^5 & 0 & 6.667 \times 10^5 & 0 \\ 0 & 14400 & 0 & 28800 \end{vmatrix} \begin{matrix} 5 \\ 6 \\ 3 \\ 1 \end{matrix}$$

Anggota 2:

3                  1                  4                  2

$$K_2 = \begin{vmatrix} 10^6 & 0 & -10^6 & 0 \\ 0 & 43200 & 0 & 21600 \\ -10^6 & 0 & 10^6 & 0 \\ 0 & 21600 & 0 & 43200 \end{vmatrix} \begin{matrix} 3 \\ 1 \\ 4 \\ 2 \end{matrix}$$

Hubungan matrik kekakuan struktur global dengan daya dan anjakan:

$$F = KD + F_R$$

$$F_R = \begin{bmatrix} F_{AX} \\ F_{AZ} \\ F_{BX} \\ F_{BZ} \end{bmatrix} = EI \Delta L/L \begin{bmatrix} \lambda x \\ \lambda z \\ -\lambda x \\ -\lambda z \end{bmatrix}$$

$$= 10^6 \times (0.10 / 4) \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 25 \times 10^3 \\ 0 \\ -25 \times 10^3 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{array}{c|cccccc|cc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & & \\ \hline 5 & 72000 & 21600 & 0 & 0 & 0 & 14400 & D_1 & 1 \\ -5 & 21600 & 43200 & 0 & 0 & 0 & 0 & D_2 & 2 \\ F3 & 0 & 0 & 1.667 \times 10^6 & -106 & -6.667 \times 10^5 & 0 & 0 & 3 \\ F4 & 0 & 0 & -106 & 106 & 0 & 0 & 0 & 4 \\ F5 & 0 & 0 & -6.667 \times 10^5 & 0 & 6.667 \times 10^5 & 0 & 0 & 5 \\ F6 & 14400 & 0 & 0 & 0 & 0 & 28800 & 0 & 6 \\ \hline \end{array}$$

=

$$+ \begin{array}{c|c} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 25 \times 10^3 \\ -25 \times 10^3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{bmatrix} \end{array}$$

Anjakan yang tidak diketahui

$$\begin{bmatrix} Fk \\ Fu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u \\ \Delta k \end{bmatrix}$$

$$Fk = K_{11} \Delta u + K_{12} \Delta k$$

$$\begin{bmatrix} 7 \\ 5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 72000 & 21600 \\ 21600 & 43200 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D1 \\ D2 \end{bmatrix} + EI \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 14400 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} D1 \\ D2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.23 \times 10^{-4} \\ -1.8 \times 10^{-4} \end{bmatrix} \text{ rad}$$

Daya tindak balas:

$$F_u = K_{21} \Delta u + K_{22} \Delta k + F_R$$

$$\begin{bmatrix} F3 \\ F4 \\ F5 \\ F6 \end{bmatrix} = EI \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 14400 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.23 \times 10^{-4} \\ -1.8 \times 10^{-4} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 25 \times 10^3 \\ -25 \times 10^3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 25000 \\ -25000 \\ 0 \\ 1.7712 \end{bmatrix}$$

Daya ricih dan daya dalaman anggota

Anggota 1:

$$\begin{bmatrix} F5 \\ F6 \\ F3 \\ F1 \end{bmatrix} = EI \begin{bmatrix} 6.667 \times 10^5 & 0 & -6.667 \times 10^5 & 0 \\ 0 & 28800 & 0 & 14400 \\ -6.667 \times 10^5 & 0 & 6.667 \times 10^5 & 0 \\ 0 & 14400 & 0 & 28800 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.23 \times 10^{-4} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 25 \times 10^3 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 63.00066 \\ 161.5057 \\ -34.0007 \\ 142.739 \end{bmatrix}$$

Anggota 2

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} F3 \\ F1 \\ F4 \\ F2 \end{bmatrix} &= EI \begin{bmatrix} 10^6 & 0 & -10^6 & 0 \\ 0 & 43200 & 0 & 21600 \\ 10^6 & 0 & 10^6 & 0 \\ 0 & 21600 & 0 & 43200 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1.23 \times 10^{-4} \\ 0 \\ 1.8 \times 10^{-4} \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} 25 \times 10^3 \\ 0 \\ -25 \times 10^3 \\ 0 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} -99.3155 \\ 249.677 \\ 133.3155 \\ -213.857 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

### 6.2.3 Beban akibat kesan perubahan suhu

Analisis struktur yang mengalami perubahan suhu pada anggota 2 sebanyak 20oC dengan kadar suhu,  $\alpha$  sebanyak  $1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Hubungan matrik kekakuan struktur global dengan daya dan anjakan:

$$F = KD + F_t$$

$$F_t = EI \alpha \Delta_t$$

$$\begin{bmatrix} F_{AX} \\ F_{AZ} \\ F_{BX} \\ F_{BZ} \end{bmatrix} = 10^6 \times 1.2 \times 10^{-5} \times 20 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 240 \\ 0 \\ -240 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{array}{c|c|c|c|c|c|c|c|c|c}
 & & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & & \\
 \hline
 5 & & 72000 & 21600 & 0 & 0 & 0 & 14400 & D_1 & 1 \\
 -5 & & 21600 & 43200 & 0 & 0 & 0 & 0 & D_2 & 2 \\
 F3 & = & 0 & 0 & 1.667 \times 10^6 & -106 & -6.667 \times 10^5 & 0 & 0 & 3 \\
 F4 & & 0 & 0 & -106 & 106 & 0 & 0 & 0 & 4 \\
 F5 & & 0 & 0 & -6.667 \times 10^5 & 0 & 6.667 \times 10^5 & 0 & 0 & 5 \\
 F6 & & 14400 & 0 & 0 & 0 & 0 & 28800 & 0 & 6 \\
 \hline
 & + & 0 & 0 & 240 & -240 & 0 & 0 & & \\
 & & & & & & & & & 1 \\
 & & & & & & & & & 2 \\
 & & & & & & & & & 3 \\
 & & & & & & & & & 4 \\
 & & & & & & & & & 5 \\
 & & & & & & & & & 6
 \end{array}$$

Anjakan yang tidak diketahui

$$\begin{bmatrix} Fk \\ Fu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K11 & K12 \\ K21 & K22 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u \\ \Delta k \end{bmatrix} + F_t$$

$$\begin{bmatrix} 5 \\ -5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 72000 & 21600 \\ 21600 & 72000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D1 \\ D2 \end{bmatrix} + 0 + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Du = \begin{bmatrix} 0.0001225 \\ -0.000177015 \end{bmatrix} \text{ rad}$$

Daya yang tidak diketahui. Qk

$$Fu = K_{21} \Delta u + K_{22} \Delta k + F_t$$

$$\begin{array}{c|c|c|c|c|c|c|c}
 F3 \\
 F4 \\
 F5 \\
 F6 \\
 \hline
 = EI & \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 14400 & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0.0001225 \\ -0.000177015 \end{bmatrix} & + & \begin{bmatrix} 240 \\ -240 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

$$= \begin{bmatrix} 240 \\ -250 \\ 0 \\ 1.764 \end{bmatrix}$$

Daya ricih dan daya dalaman anggota:

Anggota 1:

$$\begin{bmatrix} F5 \\ F6 \\ F3 \\ F1 \end{bmatrix} = EI \begin{bmatrix} 6.667 \times 10^5 & 0 & -6.667 \times 10^5 & 0 \\ 0 & 28800 & 0 & 14400 \\ -6.667 \times 10^5 & 0 & 6.667 \times 10^5 & 0 \\ 0 & 14400 & 0 & 28800 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.23 \times 10^{-4} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 250 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ 1.764 \\ 240 \\ 3.528 \end{bmatrix}$$

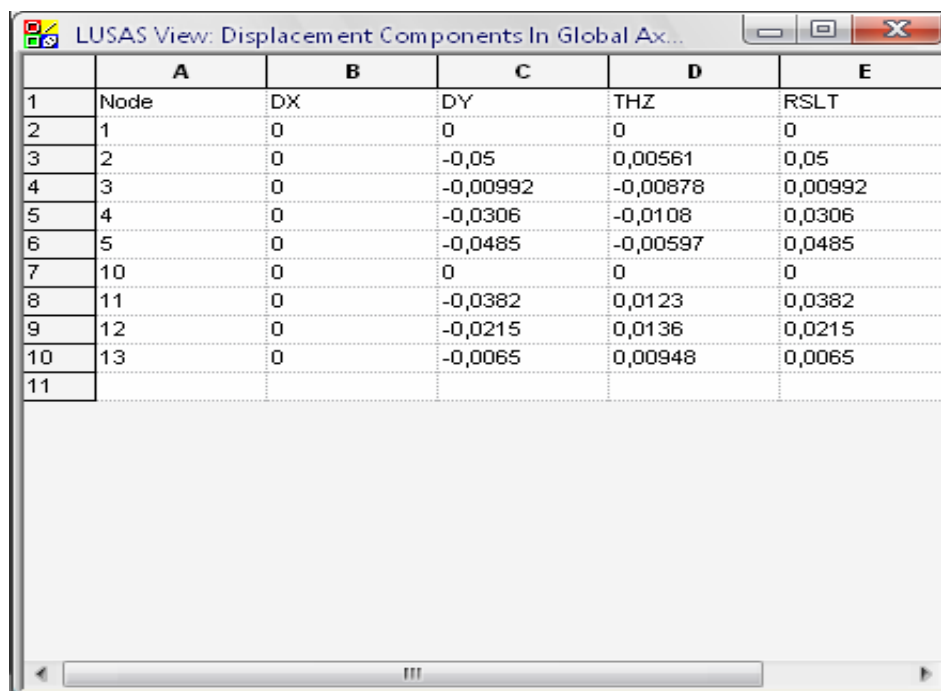
Anggota 2

$$\begin{bmatrix} F3 \\ F1 \\ F4 \\ F2 \end{bmatrix} = EI \begin{bmatrix} 10^6 & 0 & -10^6 & 0 \\ 0 & 43200 & 0 & 21600 \\ -10^6 & 0 & 10^6 & 0 \\ 0 & 21600 & 0 & 43200 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1.23 \times 10^{-4} \\ 0 \\ 1.8 \times 10^{-4} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 250 \\ 0 \\ -250 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ 1.468 \\ 0 \\ -5 \end{bmatrix}$$

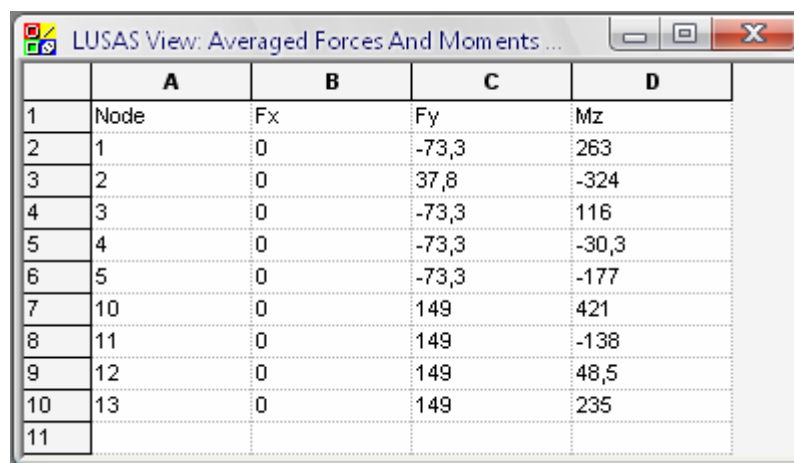
### 6.3 Hasil analisis LUSAS

Rajah 6.6 dan Rajah 6.7 menunjukkan anjakan pada nod dan daya yang terhasil akibat kesan enapan hasil daripada analisis LUSAS.



	A	B	C	D	E
1	Node	DX	DY	THZ	RSLT
2	1	0	0	0	0
3	2	0	-0,05	0,00561	0,05
4	3	0	-0,00992	-0,00878	0,00992
5	4	0	-0,0306	-0,0108	0,0306
6	5	0	-0,0485	-0,00597	0,0485
7	10	0	0	0	0
8	11	0	-0,0382	0,0123	0,0382
9	12	0	-0,0215	0,0136	0,0215
10	13	0	-0,0065	0,00948	0,0065
11					

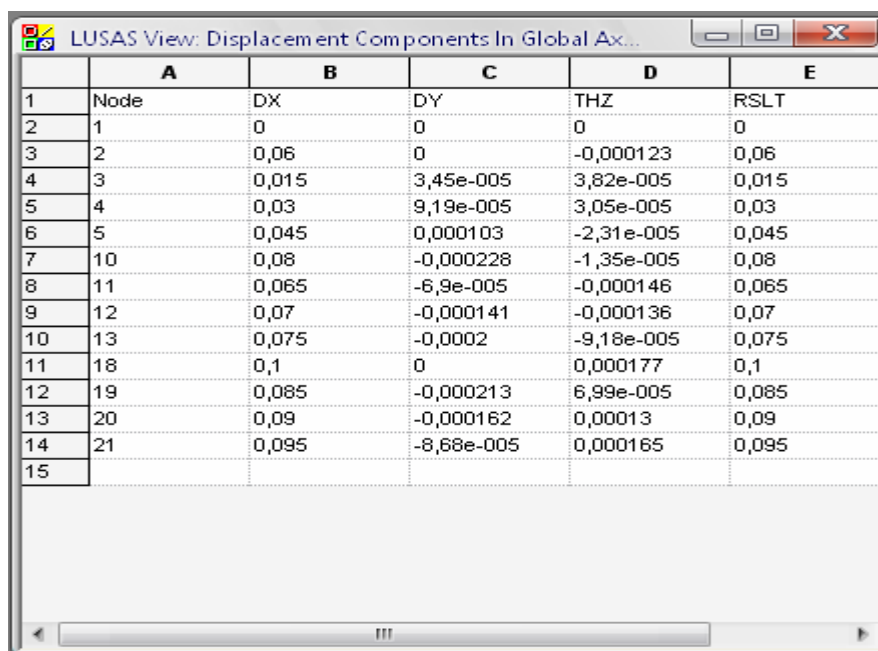
**Rajah 6.6 Anjakan pada nod akibat kesan enapan**



	A	B	C	D
1	Node	Fx	Fy	Mz
2	1	0	-73,3	263
3	2	0	37,8	-324
4	3	0	-73,3	116
5	4	0	-73,3	-30,3
6	5	0	-73,3	-177
7	10	0	149	421
8	11	0	149	-138
9	12	0	149	48,5
10	13	0	149	235
11				

**Rajah 6.7 Daya pada nod akibat kesan enapan**

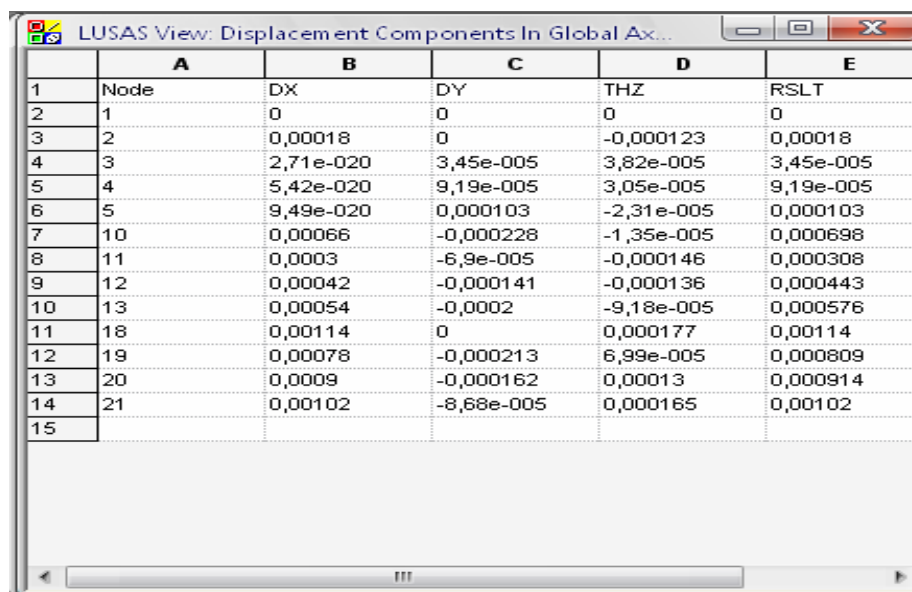
Rajah 6.8 menunjukkan anjakan pada nod akibat kesan ralat pembinaan hasil daripada analisis LUSAS.



	A	B	C	D	E
1	Node	DX	DY	THZ	RSLT
2	1	0	0	0	0
3	2	0,06	0	-0,000123	0,06
4	3	0,015	3,45e-005	3,82e-005	0,015
5	4	0,03	9,19e-005	3,05e-005	0,03
6	5	0,045	0,000103	-2,31e-005	0,045
7	10	0,08	-0,000228	-1,35e-005	0,08
8	11	0,065	-6,9e-005	-0,000146	0,065
9	12	0,07	-0,000141	-0,000136	0,07
10	13	0,075	-0,0002	-9,18e-005	0,075
11	18	0,1	0	0,000177	0,1
12	19	0,085	-0,000213	6,99e-005	0,085
13	20	0,09	-0,000162	0,00013	0,09
14	21	0,095	-8,68e-005	0,000165	0,095
15					

**Rajah 6.8 Anjakan pada nod akibat kesan ralat pembinaan anggota**

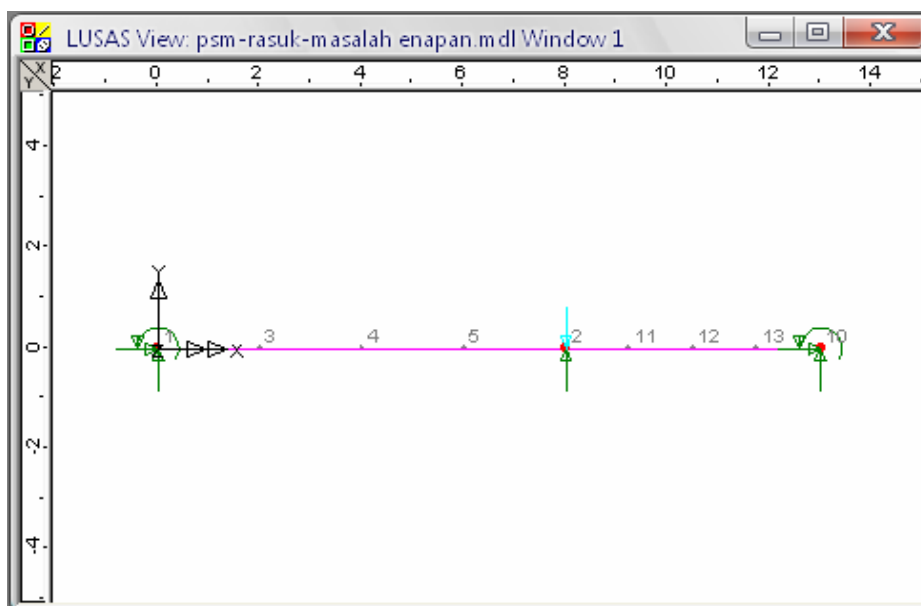
Rajah 6.9 menunjukkan anjakan pada nod akibat kesan ralat pembinaan hasil daripada analisis LUSAS.



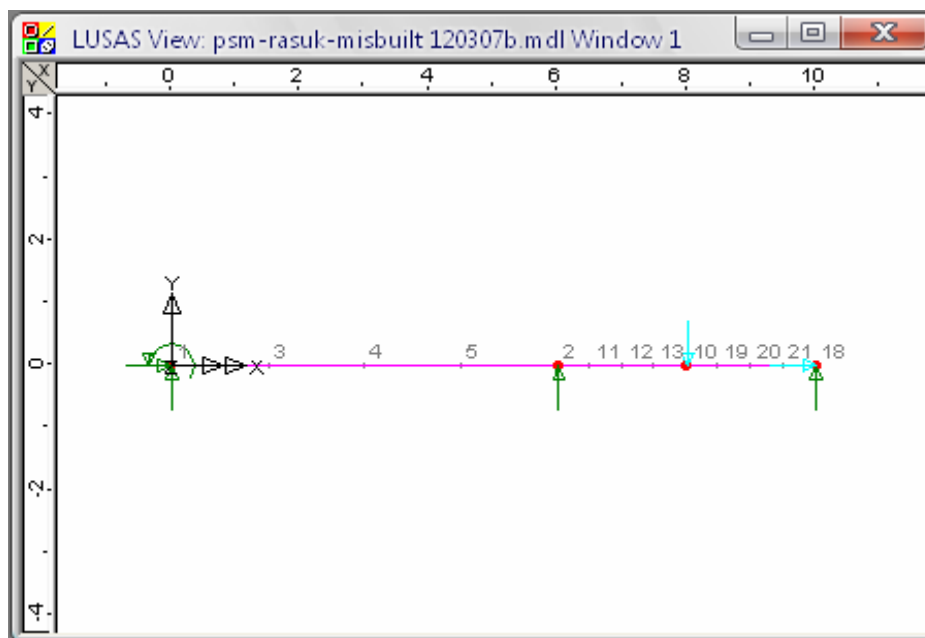
	A	B	C	D	E
1	Node	DX	DY	THZ	RSLT
2	1	0	0	0	0
3	2	0,00018	0	-0,000123	0,00018
4	3	2,71e-020	3,45e-005	3,82e-005	3,45e-005
5	4	5,42e-020	9,19e-005	3,05e-005	9,19e-005
6	5	9,49e-020	0,000103	-2,31e-005	0,000103
7	10	0,00066	-0,000228	-1,35e-005	0,000698
8	11	0,0003	-6,9e-005	-0,000146	0,000308
9	12	0,00042	-0,000141	-0,000136	0,000443
10	13	0,00054	-0,0002	-9,18e-005	0,000576
11	18	0,00114	0	0,000177	0,00114
12	19	0,00078	-0,000213	6,99e-005	0,000809
13	20	0,0009	-0,000162	0,00013	0,000914
14	21	0,00102	-8,68e-005	0,000165	0,00102
15					

**Rajah 6.9 Anjakan akibat kesan perubahan suhu**

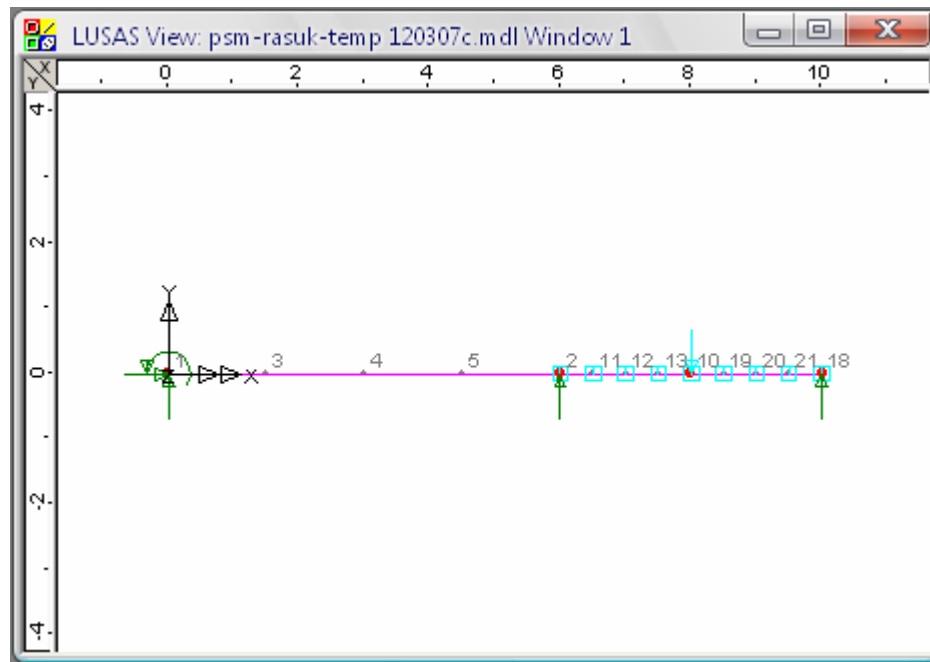
Model-model yang dibuat melalui perisian LUSAS ditunjukkan pada Rajah 6.10, Rajah 6.11 dan Rajah 6.12.



**Rajah 6.10 Model rasuk akibat kesan enapan pada enapan**



**Rajah 6.11 Model rasuk akibat kesan ralat pembinaan anggota**



**Rajah 6.12 Model rasuk akibat kesan perubahan suhu anggota**

## **BAB VII**

### **KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN**

#### **7.1 Pengenalan**

Pada bab terdahulu telah ditunjukkan bagaimana analisis struktur dijalankan terhadap tiga jenis struktur dengan mempraktikkan kaedah matrik kekukuhan dan perisian LUSAS bagi menyelesaikan masalah-masalah analisis struktur. Masalah-masalah analisis struktur yang berkaitan adalah kesan beban kenaan graviti iaitu beban tumpu dan beban teragih seragam dan kesan beban fabrik iaitu kesan enapan sokong, kesan ralat pembinaan anggota dan kesan perubahan suhu.

Hasil analisis yang dibuat melalui perisian LUSAS digunakan sebagai rujukan untuk membuat perbandingan terhadap hasil analisis yang dijalankan melalui kaedah matrik kekukuhan berdasarkan masalah-masalah yang dikaji. Perbandingan yang dijalankan meliputi anjakan dan daya tindak balas.

#### **7.2 Perbandingan keputusan analisis**

Hasil-hasil analisis yang didapati melalui kedua-dua bahagian iaitu daripada kaedah matrik kekukuhan dan daripada perisian LUSAS dibandingkan berdasarkan masalah-masalah yang ingin dikaji iaitu kesan beban kenaan, kesan enapan , kesan

ralat pembinaan anggota dan kesan perubahan suhu terhadap tiga jenis struktur iaitu kekuda satah, kerangka satah dan rasuk.

### 7.3 Perbandingan keputusan analisis kekuda satah

Analisis kekuda satah telah dijalankan terhadap tiga kes masalah iaitu:

- Kes 1: Kesan beban kenaan dan enapan sokong
- Kes 2: Kesan ralat pembinaan anggota
- Kes 3: Kesan perubahan suhu.

Perbandingan dibuat melalui penjadualan agar memudahkan pembaca memahami dan meneliti dengan jelas perbandingan keputusan yang dibuat.

#### 7.3.1 Kesan beban kenaan dan enapan sokong kekuda

Kekuda satah telah dikenakan beban kenaan sebagai beban tumpu sebanyak 100kN pada sokong 2 pada arah ke bawah pada paksi-y. Selain itu, kekuda ini telah mengalami enapan pada sokong 4. Jadual 7.1 hingga jadual 7.2 menunjukkan perbandingan yang dibuat terhadap hasil analisis yang meliputi anjakan dan daya ricih pada nod.

NOD	ANJAKAN PADA NOD					
	KAEDAH KEKUKUHAN			LUSAS		
	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)
1	0	$-6.283 \times 10^{-3}$	0	0	-0.006	0
2	0	$7.642 \times 10^{-3}$	0	0	-0.007	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	-0.01	0	0	-0.01	0

**Jadual 7.1 Perbandingan anjakan pada nod kesan gabungan enapan dan beban kenaan**

NOD	KAEDAH KEKUKUHAN		LUSAS	
	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)
1	-106	0	-103	0
2	-30	0	-29.8	0
3	105.6	79.2	103	77.6
4	28.8	21.6	29.8	22.4

**Jadual 7.2 Perbandingan daya tindak balas kekuda kesan gabungan beban keraan dan enapan**

### 7.3.2 Kesan ralat pembinaan anggota kekuda

Dalam kes ke-2 ini pula, selain mengalami beban tumpu sebanyak 100kN pada arah ke bawah pada paksi-y, anggota 3 telah dibina terpendek sebanyak 5mm sebelum anggota itu disambungkan kepada kekuda tersebut. Hasil analisis yang telah dijalankan dipersembahkan melalui jadual-jadual iaitu Jadual 7.3 yang menunjukkan anjakan yang berlaku pada nod, daya tindak balas dan daya paksi.

NOD	ANJAKAN PADA NOD					
	KAEDAH KEKUKUHAN			LUSAS		
	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)
1	0	$-6.283 \times 10^{-3}$	0	0	-0.006	0
2	-0.005	$7.642 \times 10^{-3}$	0	-0.005	-0.007	0
3	-0.005	0	0	-0.005	0	0
4	0	0	0	0	0	0

**Jadual 7.3 Perbandingan anjakan pada nod akibat kesan ralat pembinaan**

### 7.3.3 Kesan perubahan suhu anggota kekuda

Kes ke-3 pula merupakan analisis yang menunjukkan bagaimana anggota-anggota kekuda satah itu bertindak balas apabila dikenakan beban tumpu sebanyak 100kN pada sokong 2 dan anggota 1 pulamengalami pertambahan suhu sebanyak

20°C dengan kadar suhu iaitu  $1.5 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jadual 7.4 dan jadual 7.5 memaparkan perbandingan terhadap anjakan yang berlaku pada nod, daya tindak balas dan daya paksi.

NOD	ANJAKAN PADA NOD					
	KAEDAH KEKUKUHAN			LUSAS		
	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)
1	0	$-6.69 \times 10^{-3}$	0	0	-0.00667	0
2	0	$-7.23 \times 10^{-3}$	0	0	-0.00722	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0

**Jadual 7.4 Perbandingan anjakan pada nod**

Nod	Kaedah matrik kekukuhan		LUSAS	
	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)
1	-64.2	0	-64.1	0
2	0	0	-69.3	0
3	64.2	48.2	64.1	48.1
4	69.4	52.1	69.3	51.9

**Jadual 7.5 Perbandingan daya tindak balas**

#### 7.4 Hasil keputusan analisis kerangka satah

Kerangka satah telah dianalisis terhadap ketiga-tiga masalah struktur yang dikaji.

Analisis kerangka satah telah dijalankan terhadap tiga kes masalah iaitu:

- Kes 1: Kesan enapan sokong
- Kes 2: Kesan ralat pembinaan anggota
- Kes 3: Kesan perubahan suhu.

Perbandingan dibuat melalui penjadualan agar memudahkan pembaca memahami dan meneliti dengan jelas perbandingan keputusan yang dibuat.

### 7.4.1 Kesan enapan sokong

Kerangka satah mengalami enapan menegak sebanyak 40mm pada nod 2. Jadual 7.6 dan 7.7 menunjukkan anjakan dan tindak balas yang terhasil akibat kesan enapan pada kerangka satah.

NOD	ANJAKAN PADA NOD					
	KAEDAH KEKUKUHAN			LUSAS		
	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)
1	0	0	0	0	0	0
2	$-2.2 \times 10^{-4}$	$3.98 \times 10^{-2}$	0.004	0.00022	-0.0398	-0.00404
3	0	0	0	0	0	0

Jadual 7.6 Perbandingan anjakan pada nod kerangka akibat kesan enapan

NOD	DAYA TINDAK BALAS PADA NOD					
	KAEDAH KEKUKUHAN			LUSAS		
	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)	F <sub>z</sub> (kNm)	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)	F <sub>z</sub> (kNm)
1	29.332	-30.9	-105.85	-29.4	30.8	106
2	0	0	0	0	0	0
3	-229.18	15.96	38.35	29.4	-30.8	-38.6

Jadual 7.7 Perbandingan daya tindak balas pada nod

### 7.4.2 Kes 2: Kesan ralat pembinaan anggota

Pada anggota 1, berlaku ralat pembinaan pada anggota dimana ia dibina terpendek 0.1m. Jadual 7.8 menunjukkan perbandingan anjakan pada nod antara kaedah kekukuhan dan LUSAS.

NOD	ANJAKAN PADA NOD					
	KAEDAH KEKUKUHAN			LUSAS		
	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)
1	0	0	0	0	0	0
2	0.1233	$-4.607 \times 10^{-4}$	-0.02779	0.1	0.0004	0.0225
3	0	0	0	0	0	0

**Jadual 7.8: Perbandingan anjakan pada nod**

### 7.4.3 Kes 3: Kesan perubahan suhu.

Pada anggota 1, berlaku perubahan suhu iaitu dimana anggota 1 mengalami kenaikan suhu sebanyak  $20^{\circ}\text{C}$  dengan kadar perubahan suhu sebanyak  $1.2 \times 10^{-5}$ . Jadual 7.9 dan 7.10 menunjukkan perbandingan anjakan dan daya tindak balas antara kaedah kekukuhan dan LUSAS.

NOD	ANJAKAN PADA NOD					
	KAEDAH KEKUKUHAN			LUSAS		
	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)
1	0	0	0	0	0	0
2	$-1.7726 \times 10^{-3}$	$6.6209 \times 10^{-5}$	$3.995 \times 10^{-4}$	0.00142	0.000114	-0.0003
3	0	0	0	0	0	0

**Jadual 7.9: Perbandingan anjakan pada nod**

NOD	DAYA TINDAK BALAS PADA NOD					
	KAEDAH KEKUKUHAN			LUSAS		
	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)	$F_z$ (kNm)	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)	$F_z$ (kNm)
1	2.36	1.323	2.64	3.01	-1.15	-2.43
2	0	0	0	0	0	0
3	-2.36	-1.32	5.30	-3.01	1.15	7.55

**Jadual 7.10: Perbandingan daya tindak balas pada nod**

## 7.5 Perbandingan keputusan analisis rasuk

Rasuk yang telah dianalisis ditindaki oleh beban teragih seragam sebanyak 4 kN/m pada anggota 1 dan beban titik sebanyak 10kN pada pada anggota 2. Selain itu, rasuk ini dianalisis berdasarkan masalah-masalah yang sama iaitu kesan enapan, kesan ralat pembinaan anggota dan kesan perubahan suhu.

### 7.5.1 Kesan gabungan beban kenaan dan enapan pada sokong rasuk

Seperti yang telah diterangkan diatas, rasuk telah dianalisis terhadap beban kenaan yang meliputi beban titik sebanyak 10kN pada anggota 2 dan beban teragih seragam sebanyak 4 kN/m pada anggota 1. Selain itu, pada sokong 2 terdapat enapan sebanyak 2mm pada arah bawah pada arah paksi-y. Jadual 7.11 dan 7.12 menunjukkan perbandingan anjakan dan daya tindak balas pada nod antara kaedah kekukuhan dan LUSAS.

NOD	ANJAKAN PADA NOD					
	KAEDAH KEKUKUHAN			LUSAS		
	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)
1	0	0	0	0	0	0
2	0	-0.05	$5.614 \times 10^{-3}$	0	-0.05	0.00561
3	0	0	0	0	0	0

Jadual 7.11 Perbandingan anjakan pada nod

NOD	DAYA TINDAK BALAS PADA NOD					
	KAEDAH KEKUKUHAN			LUSAS		
	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kNm)	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kNm)
1	0	72.49	263.52	0	73.3	263
2	0	45.71	324.43	0	38	324
3	0	148.03	-419.52	0	149	421

Jadual 7.12 Perbandingan daya tindak balas

### 7.5.2 Kesan ralat pembinaan anggota rasuk

Anggota 2 telah dipasang terpendek sebanyak 0.1m dan ini menjadikan rasuk ini mengalami ralat pembinaan anggota. Jadual 7.13 menunjukkan perbandingan anjakan pada nod, daya tindak balas dan daya dalaman.

NOD	ANJAKAN PADA NOD					
	KAEDAH KEKUKUHAN			LUSAS		
	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)
1	0	0	0	0	0	0
2	0	-0.05	$5.614 \times 10^{-3}$	0	-0.05	0.00561
3	0	0	0	0	0	0

Jadual 7.13 Perbandingan anjakan pada nod

### 7.5.3 Kesan perubahan suhu anggota rasuk

Struktur rasuk mengalami perubahan suhu pada anggota 2 sebanyak 20°C dengan kadar suhu,  $\alpha$  sebanyak  $1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Analisis yang telah dibuat diringkaskan dan dibandingkan dengan analisis perisian LUSAS melalui Jadual 7.14..

NOD	ANJAKAN PADA NOD					
	KAEDAH KEKUKUHAN			LUSAS		
	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (rad)
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0.0001225	0	0	0.000123
3	0	0	0.00017705	0	0	0.000177

Jadual 7.14 Perbandingan anjakan pada nod

## 7.6 Perbincangan

Setelah menganalisis struktur dengan menggunakan kedua-dua kaedah dan membuat perbandingan antara kedua-duanya, didapati keputusannya menunjukkan terdapat persamaan walaupun terdapat perbezaan sedikit. Justeru itu, analisis menerusi kaedah matrik kekukuhan berjaya dibuktikan melalui kaedah analisis perisian LUSAS yang merupakan perisian yang sangat bagus dan sering digunakan dalam menjalankan analisis struktur.

Perbezaan yang berlaku adalah perbezaan dari segi nilai titik perpuluhan dimana perisian LUSAS menjalankan analisis dengan menggunakan titik perpuluhan yang amat besar manakala analisis yang dilakukan secara manual melalui kaedah matrik kekukuhan mempraktikkan per nomboran sehingga 4 titik perpuluhan jika paling maksimum. Walaupun ia nampak agak remeh, namun ralat sebeginilah yang menyebabkan berlaku perbezaan keputusan. Namun begitu, perbezaan yang berlaku adalah tidak kritikal.

Adalah sepatutnya, perbezaan yang diperolehi tidak kritikal kerana secara asasnya, perisian LUSAS menjalankan analisis berdasarkan kaedah elemen terhingga dimana kaedah ini diasaskan daripada kaedah kekukuhan. Kaedah elemen terhingga memudahkan analisis kerana adalah amat sukar dan leceh untuk menganalisis struktur yang berbentuk kompleks seperti struktur kapal terbang seumpamanya dengan menggunakan kaedah kekukuhan kerana memerlukan penyelesaian matrik yang sangat besar dan kompleks untuk diselesaikan.

## **BAB VIII**

### **KESIMPULAN**

#### **8.1 Hasil kajian analisis**

Menerusi kajian ini, tiga jenis struktur yang berbeza dianalisis melalui penggunaan kaedah matrik kekukuhan terhadap bukan sahaja beban kenaan graviti yang selalu dilakukan malah dianalisis terhadap tiga jenis beban fabrik akibat daripada kesan enapan pada sokong, kesan ralat pembinaan anggota dan kesan perubahan suhu pada anggota struktur.

Seterusnya, analisa yang telah dijalankan melalui kaedah matrik kekukuhan terhadap tiga jenis struktur ini iaitu merangkumi kekuda satah, rasuk dan kerangka satah telah berjaya dibuktikan keputusannya menerusi penggunaan analisis perisian LUSAS. Keputusan yang diperoleh merangkumi anjakan pada nod dan sokong, daya paksi, daya tindak balas dan momen. Keputusan ini telah berjaya dibuktikan melalui analisis perisian LUSAS. Maka, dengan itu tercapailah objektif dan skop kajian ini.

Melalui kajian ini, diharapkan para pembaca akan lebih memahani dengan mendalam tentang analisis yang dijalankan dalam perisian. Hal ini demikian, tanpa pemahaman yang mendalam tentang analisis struktur terutamanya penggunaan kaedah matrik kekukuhan dimana kaedah asas bagi analisis struktur, para jurutera atau para analisa struktur yang mempraktikkan penggunaan peisiian akan

menghadapi kesukaran dalam proses analisis dan menghadapi risiko kegagalan struktur.

Adalah menjadi tanggungjawab kepada pengguna perisian komputer analisis struktur untuk memahami prinsip kerja sesuatu perisian supaya perisian tersebut dapat dipraktikkan dengan cekap dan berkesan dan seterusnya sesuatu struktur yang kompleks dapat dimodelkan dan dianalisis dengan tepat. Sekiranya menggunakan perisian analisis tanpa pemahaman yang cukup, akan berlaku risiko dimana para analisa atau para jurutera tidak mengetahui dan menyedari berlaku kesilapan analisis dan kegagalan struktur yang bakal menimpa.

## **8.2 Cadangan kajian seterusnya**

Kajian ini seharusnya diteruskan lagi bagi memantapkan lagi pemahaman tentang analisis struktur. Hal ini demikian, terdapat banyak lagi jenis struktur yang boleh diketengahkan untuk dianalisis. Malah, banyak lagi sifat-sifat struktur yang masih berpotensi untuk diketengahkan bagi dianalisa.

Oleh itu, bagi kajian seterusnya adalah dicadangkan supaya kaedah matrik kekukuhan ini dikaji bagi struktur ruang atau tiga dimensi terhadap beban keaan graviti seperti beban tumpu dan beban teragih seragam dan beban akibat kesan enapan pada sokong, kesan perubahan suhu dan kesan ralat pembinaan anggota. Sebagai contoh adalah struktur kekuda ruang dan kerangka ruang. Selain itu, struktur grillage atau struktur grid juga dicadangkan untuk diketengahkan bagi tujuan kajian.

## RUJUKAN

1. Hibbler, RC (1998). Structural Analysis 4<sup>th</sup> edition. United States of America Prentice Hall
2. McGuire, William, Gallagher, Richard H, Ziemann, Ronald D. (2000). Matrix Structural Analysis 2<sup>nd</sup> edition. United States of America. John Wiley & Sons Inc.
3. Norris, Charles Head, Wilbur, John Benson (1991). Elementary Structural Analysis 4<sup>th</sup> edition. United States of America. McGraw-Hill Inc.
4. P. Bhatt, H. M. Nelson 1990 Marshall & Nelson's Structures. English Language Book Society/ Longman
5. R. C. Coates, M.G. Coutie, F. K. Kong 1980 Structural Analysis. The English Language Book Society and Nelson
6. Tung Au, Paul Christiano 1987 Structural Analysis. Prentice Hall, Inc
7. Zaizal B. Othman 2001 Analisis kerangka di bawah tindakan pelbagai beban dengan menggunakan kaedah matrik kekakuan. Universiti Teknologi Malaysia.
8. Yusof Ahmad 2005. Structural Analysis. Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia