



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember



TUGAS AKHIR (RC 09-1380)

# PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK MENGUNAKAN METODA ELEMEN HINGGA UNTUK PERANCANGAN LENTUR BALOK BETON BERTULANG

VINCENTIUS ARIF WICAKSONO  
NRP 3107 100 081

Dosen Pembimbing  
Tavio, ST, MT, Ph.D  
Data Iranata, ST, MT, Ph.D  
Ir. Iman Wimbadi, MS

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2011

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl Pinjam	18-7-2011
Tgl Kembali	H
No. Angkutan	—

44151 / H / 11



RSS  
624.183 423

Wic

P-1  
2011

**TUGAS AKHIR (RC 09-1380)**

**PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK  
MENGUNAKAN METODA ELEMEN HINGGA  
UNTUK PERANCANGAN LENTUR  
BALOK BETON BERTULANG**

VINCENTIUS ARIF WICAKSONO  
NRP 3107 100 081

Dosen Pembimbing  
Tavio, ST, MT, Ph.D  
Data Iranata, ST, MT, Ph.D  
Ir. Iman Wimbadi, MS

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2011



**FINAL PROJECT (RC 09-1380)**

**SOFTWARE DEVELOPMENT USING FINITE  
ELEMENT METHOD FOR THE DESIGN OF BEAM  
REINFORCED CONCRETE FLEXURE**

**VINCENTIUS ARIF WICAKSONO**  
NRP 3107 100 081

*Academic Supervisor*  
Tavio, ST, MT, Ph.D  
Data Iranata, ST, MT, Ph.D  
Ir. Iman Wimbadi, MS

**CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT**  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2011

**PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK  
MENGUNAKAN METODA ELEMEN HINGGA UNTUK  
PERANCANGAN LENTUR BALOK BETON BERTULANG**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Struktur  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh :  
**VINCENTIUS ARIF WICAKSONO**  
Nrp. 3107 100 081

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. **Tavio, ST, MT, Ph.D** .....(Pembimbing I)
2. **Data Iranata, ST, MT, Ph.D** .....(Pembimbing II)
3. **Ir. Iman Wimbadi, MS** .....(Pembimbing III)

**SURABAYA, JUNI 2011**

## **PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK MENGUNAKAN METODA ELEMEN HINGGA UNTUK PERANCANGAN LENTUR BALOK BETON BERTULANG**

Nama Mahasiswa : Vincentius Arif  
NRP : 3107 100 081  
Jurusan : Teknik Sipil FTSP ITS  
Dosen Pembimbing : 1. Tavio, ST, MT, Ph.D  
2. Data Iranata, ST, MT, PhD  
3. Ir. Iman Wimbadi, MS

### **ABSTRAK**

*Program-program analisa struktur mempunyai peranan besar dalam pekerjaan desain dan konstruksi di dunia. Namun program analisa struktur yang selama ini merupakan program komersil yang umumnya relatif mahal. Hal ini dapat menghalangi usaha penggunaan program secara luas, terutama di negara berkembang seperti di Indonesia. Karena itulah sebagai alternatif adalah dengan membuat program analisa struktur daripada menggunakan program-program komersil. Keuntungan dari program yang dibuat sendiri adalah bisa digunakan secara bebas, dapat dikembangkan secara berkesinambungan sesuai kebutuhan, dan mengikuti perkembangan peraturan terbaru.*

*Program bantu sederhana untuk analisa elemen struktur model space frame ini disusun dengan menggunakan program Visual Basic 6.0. Aplikasi ini menggunakan Metode Kekakuan Langsung (Direct Stiffness Method). Aplikasi ini memberikan output berupa reaksi, displacement, dan gaya-gaya dalam elemen struktur yang dianalisa dengan memperhitungkan geser pada elemen batang.*

*Program bantu ini juga dilengkapi oleh analisa tiap elemennya. Dalam hal ini penulis secara khusus menganalisa lentur pada balok. Dengan menggunakan kesetimbangan tegangan dan regangan didapat jarak serat tekan terjauh ke sumbu netral. Metoda Bolzano digunakan untuk proses iterasi sehingga sigma gaya horisontal harus sama dengan nol.*

Sehingga didapatkan output berupa kekuatan nominal dari balok dengan Metoda Unified yang tercantum pada ACI 318-2002.

Program bantu ini juga diverifikasi dengan SAP 2000 dalam beberapa study kasus yang dilakukan. Kelebihan dari program ini dari SAP 2000 yaitu proses perhitungan yang ditampilkan serta dapat mengeluarkan output berupa gambar desain tulangan lengkap dengan jarak dan panjang penyaluran tulangannya. Namun program ini perlu pengembangan lebih lanjut dengan menambah efek beban gempa, serta proses iterasi yang lebih cepat dari Metoda Bolzano.

**Kata Kunci :** analisa lentur balok, balok persegi, desain tulangan, direct stiffness method, metoda Bolzano, metoda Unified, program analisa struktur, tulangan longitudinal, verifikasi, ACI 318-2002, SNI 03-2847-2002, Space frame 3D.

## SOFTWARE DEVELOPMENT USING FINITE ELEMENT METHOD FOR THE DESIGN OF BEAM REINFORCED CONCRETE FLEXURAL

Name of Student : Vincentius Arif  
Registration Number : 3107 100 081  
Supervisor : Tavio, ST, MT, Ph.D.  
Data Iranata, ST, MT, PhD  
Ir. Iman Wimbadi, MS.

### ABSTRACT

*Structural analysis programs have a major role in the design offices and construction work in the world. However, structural analysis program that has been the commercial programs are generally relatively expensive. This can deter the use of the program widely, especially in developing countries such as Indonesia. That's why as an alternative is to make a structural analysis program instead of using commercial programs. The advantage of the program itself is made may be used freely, can be developed on an ongoing basis as needed, and keep abreast of the latest codes.*

*The developed program is built using Visual Basic 6.0. It adopts the Direct Stiffness Method. This application provides output in the form of reaction, displacement, and forces in structural elements are analyzed by calculating the shear at the rod element.*

*This software is also supplemented by an analysis of each element. In this case, the writer specifically analyzes the bending in the beam. By using equilibrium stress and strain obtained fiber tap farther distance to the neutral axis. Bolzano method is used for the iteration process, so that the sigma horizontal force must be equal to zero. So we get the output of the nominal strength of the beam with a Unified Method listed in ACI 318-2002.*

*This program is also verified by SAP 2000 in some case study conducted. The advantages of this program from SAP 2000 calculations show that the process and can output the output is an image complete with reinforcement design and long distance distribution the reinforcement. However this program needs further development with the added effect of earthquake loads, and iterative process that is faster than Bolzano method.*

**Keywords :** *flexure analysis, square beam, reinforcement design, direct stiffness method, Bolzano method, Unified method, structural analysis program, longitudinal reinforcement, verified, ACI 318-2002, SNI 03-2847-2002, Space frame 3D*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Pengembangan Perangkat Lunak Menggunakan Metoda Elemen Hingga Untuk Perancangan Lentur Balok Beton Bertulang* dengan baik dan tepat pada waktunya.

Adapun Tugas Akhir ini dibuat dengan tujuan untuk memenuhi syarat kelulusan Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya. Tugas Akhir ini terdiri dari enam bab antara lain bab pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi, pengoperasian program, studi kasus, dan penutup. Semua informasi yang disajikan di dalam Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang nyata dalam bidang tekhniksipilan.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusinya baik secara langsung maupun tak langsung atas terselesaikannya laporan tugas akhir ini antara lain :

1. Bapak Tavio, ST, MT, Ph.D selaku dosen pembimbing I yang tanpa lelah selalu memberikan arahan, dukungan, motivasi dan ilmu yang tak ternilai harganya.
2. Bapak Data Iranata, ST, MT, PhD selaku dosen pembimbing II yang memberikan pengetahuan akan metoda elemen hingga.
3. Bapak Ir. Iman Wimbadi, MS selaku dosen pembimbing III yang juga selalu memberikan arahan dan wawasan tentang lentur balok beton bertulang.
4. Bapak Bambang Piscesa, ST, MT, PhD selaku dosen yang ikut memberikan ilmu kepada penulis
5. Ir. Soewarno, MEng selaku dosen wali selama penulis kuliah di Teknik Sipil ITS.
6. Yustinus Harnanto dan Ellen Eliani selaku orang tua penulis yang selalu memberikan dorongan, motivasi, dan fasilitas yang tak ternilai harganya sehingga penulis bisa menempuh

pendidikan hingga jenjang sarjana dan menyelesaikannya dengan baik.

7. Vivi Lestari, selaku kekasih penulis yang selalu memberikan dorongan, motivasi serta waktunya untuk membantu penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Jeffrey Hermanto dan Harfi selaku teman penulis yang membantu penulis belajar mengenai bahasa pemrograman Visual Basic 6.0.
9. Maureen Angker, Rio Limadinata, Jethro Secapramana selaku teman - teman seperjuangan penulis dan seluruh rekan - rekan mahasiswa Teknik Sipil ITS.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan untuk pengembangan selanjutnya. Akhir kata semoga tugas akhir ini bermanfaat dan dapat dijadikan bahan pembelajaran.

Surabaya, Juni 2011

Vincentius Arif Wicaksono

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>BAB I    PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Permasalahan.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan.....	4
1.5. Manfaat.....	5
<b>BAB II    TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Metoda Elemen Hingga.....	7
2.2. <i>Wireframe Direct Stiffness Method</i> .....	9
2.3. Sistem Koordinat.....	13
2.4. Perjanjian Tanda.....	14
2.5. <i>Degrees of Freedom</i> .....	15
2.6. <i>Stiffness Coefficients</i> .....	16
2.7. Matriks Transformasi.....	20
2.8. Matriks Beban.....	26
2.9. Lentur pada Balok.....	27
2.10. Metoda Batas-Batas Regangan Untuk Analisis dan Desain .....	32
2.11. Penampang Tulangan Rangkap.....	33
2.12. Panjang Penyaluran untuk Tulangan Tarik.....	37
2.13. Panjang Penyaluran untuk Tulangan Tekan.....	39

<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI</b>	
3.1.	Umum.....	42
3.2.	Alur program bantu yang dibuat.....	43
	3.2.1 <i>Flowchart</i> analisa struktur.....	43
	3.2.2 <i>Flowchart</i> analisa lentur balok.....	45
	3.2.3 <i>Flowchart</i> metoda Bolzano.....	48
3.3.	Membuat program dengan Visual Basic 6.0.....	49
3.4.	Studi literatur.....	50
<b>BAB IV</b>	<b>PROSEDUR PROGRAM</b>	
4.1.	Umum.....	51
4.2.	Komponen program.....	51
4.3.	Pengoperasian program.....	62
<b>BAB V</b>	<b>STUDI KASUS</b>	
5.1.	Kasus 1 – <i>Plane Frame 1</i> .....	65
5.2.	Kasus 2 – <i>Plane Frame 2</i> .....	94
5.3.	Kasus 3 – <i>Space Frame 1</i> .....	117
5.4.	Kasus 4 – <i>Space Frame 2</i> .....	149
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
6.1	Kesimpulan.....	155
6.2	Saran.....	156
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b>		
	Lampiran A ( <i>Listing Code Direct Stiffness Method</i> )	
	Lampiran B ( <i>Listing Code The Design of Beam Reinforced Concrete Flexural</i> )	
	Lampiran C ( <i>Listing Code Module File Manager</i> )	
	Lampiran D (Gambar-Gambar <i>Output</i> Studi Kasus)	
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Example of nodal definition</i> .....	11
Tabel 2.2	<i>Example of element definition</i> .....	11
Tabel 2.3	<i>Degrees of freedom space frame 3D</i> .....	15
Tabel 5.1	Perbandingan hasil analisa struktur SFAP untuk Studi Kasus 1.....	91
Tabel 5.2	Perbandingan hasil analisa lentur SFAP untuk Studi Kasus 1.....	93
Tabel 5.3	Perbandingan hasil analisa struktur SFAP untuk Studi Kasus 2.....	114
Tabel 5.4	Perbandingan hasil analisa lentur SFAP untuk Studi Kasus 2.....	116
Tabel 5.5	Perbandingan hasil analisa struktur SFAP untuk Studi Kasus 3.....	141
Tabel 5.6	Perbandingan hasil analisa lentur SFAP untuk Studi Kasus 3.....	147
Tabel 5.7	Perbandingan hasil analisa struktur dan lentur SFAP untuk Studi Kasus 4.....	150

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>The direct stiffness method steps</i> .....	9
Gambar 2.2	<i>Discretization</i> .....	11
Gambar 2.3	<i>Localization</i> .....	12
Gambar 2.4	<i>Global Coordinate System in 3D Frame</i> .....	14
Gambar 2.5	<i>Local Coordinate System in 3D Frame</i> .....	14
Gambar 2.6	<i>Sign Convention</i> .....	14
Gambar 2.7	<i>Frame element in space with twelve D.O.Fs</i> ....	15
Gambar 2.8	<i>Stiffness Coefficients for One Dimensional Element</i> .....	16
Gambar 2.9	Elemen dengan <i>displacement</i> akibat rotasi, gaya dan momen positif.....	18
Gambar 2.10	<i>Simple 3D Rotation</i> .....	22
Gambar 2.11	<i>Rotation with respect to <math>\alpha</math></i> .....	22
Gambar 2.12	<i>Rotation with respect to <math>\beta</math></i> .....	23
Gambar 2.13	<i>Rotation with respect to <math>\gamma</math></i> .....	23
Gambar 2.14	Beban nodal ekuivalen.....	26
Gambar 2.15	Balok beton bertulang tipikal.....	27
Gambar 2.16	Distribusi tegangan dan regangan pada penampang balok tulangan tunggal.....	29
Gambar 2.17	Zona batas regangan dan variasi faktor reduksi.....	33
Gambar 2.18	Distribusi tegangan dan regangan pada tulangan rangkap.....	35
Gambar 2.19	Distribusi tegangan dan regangan pada tulangan ganda.....	36
Gambar 2.20	Panjang penyaluran pada kantilever.....	38
Gambar 3.1	Metodologi pelaksanaan tugas akhir.....	42
Gambar 3.2	<i>Flowchart</i> analisa struktur program SFAP.....	44
Gambar 3.3	<i>Flowchart</i> analisa lentur balok dan panjang penyaluran sampai dengan gambar tulangan program SFAP .....	47
Gambar 3.4	<i>Flowchart</i> metoda Bolzano.....	48
Gambar 4.1	Tampilan jendela utama SFAP.....	52

Gambar 4.2	Komponen-komponen menu bar .....	52
Gambar 4.3	Tampilan <i>General Information</i> .....	53
Gambar 4.4	Tampilan <i>Define Material Properties</i> .....	54
Gambar 4.5	Tampilan <i>Define Section Properties</i> .....	55
Gambar 4.6	Tampilan <i>Nodal Coordinates</i> .....	55
Gambar 4.7	Tampilan <i>Frame Properties</i> .....	56
Gambar 4.8	Tampilan <i>Assign Joint Restraint</i> .....	56
Gambar 4.9	Tampilan <i>Assign Joint Loads</i> .....	57
Gambar 4.10	Tampilan <i>Distributed Frame Loads</i> .....	57
Gambar 4.11	Tampilan <i>Local Force Diagram</i> .....	59
Gambar 4.12	Tampilan Tabulasi <i>Input</i> .....	60
Gambar 4.13	Tampilan tabulasi <i>output</i> .....	61
Gambar 4.14	Tampilan <i>View Control</i> .....	62
Gambar 5.1	Kasus 1 – <i>Plane Frame</i> .....	65
Gambar 5.2	Tampilan <i>output</i> pada kasus 1 <i>case 1</i> .....	90
Gambar 5.3	Tampilan <i>output</i> pada kasus 1 <i>case 2</i> .....	90
Gambar 5.4	Kasus 2 – <i>Plane Frame 2</i> .....	94
Gambar 5.5	Tampilan <i>output</i> pada kasus 2.....	113
Gambar 5.6	Kasus 3 – <i>Space Frame 1</i> .....	117
Gambar 5.7	Kasus 4 – <i>Space Frame 2</i> .....	149
Gambar D.1	Studi Kasus 1 <i>Plane Frame</i> .....	225
Gambar D.2	Input <i>General Information</i> kasus 1.....	225
Gambar D.3	Input <i>Material Properties</i> kasus 1.....	226
Gambar D.4	Input <i>Section Properties</i> kasus 1.....	226
Gambar D.5	Input <i>Reinforced Properties</i> kasus 1.....	227
Gambar D.6	Input <i>Nodal Coordinates</i> kasus 1.....	227
Gambar D.7	Input <i>Frame Properties</i> kasus 1.....	228
Gambar D.8	Input <i>Joint Restraint</i> kasus 1.....	228
Gambar D.9	Input <i>Joint Loads</i> kasus 1.....	229
Gambar D.10	Input <i>Distributed Loads</i> kasus 1.....	229
Gambar D.11	Output <i>Nodal Displacement</i> kasus 1.....	230
Gambar D.12	Output <i>Support Reaction</i> kasus 1.....	230
Gambar D.13	Output <i>Element Force frame 1</i> kasus 1.....	231
Gambar D.14	Output <i>Element Force frame 2</i> kasus 1.....	232
Gambar D.15	Output <i>Element Force frame 3</i> kasus 1.....	233

Gambar D.16	Output Gambar Tulangan kasus 1.....	234
Gambar D.17	Output <i>Nodal Displacement</i> kasus 1 (SAP 2000).....	235
Gambar D.18	Output <i>Joint Reaction</i> kasus 1 (SAP 2000)....	235
Gambar D.19	Output <i>Element Force frame 1</i> kasus 1 (SAP 2000).....	236
Gambar D.20	Output <i>Element Force frame 2</i> kasus 1 (SAP 2000).....	237
Gambar D.21	Output <i>Element Force frame 3</i> kasus 1 (SAP 2000).....	238
Gambar D.22	Studi Kasus 2 <i>Plane Frame</i> .....	239
Gambar D.23	Output <i>Nodal Displacement</i> kasus 2.....	239
Gambar D.24	Output <i>Support Reaction</i> kasus 2.....	239
Gambar D.25	Output <i>Element Forces frame 1</i> kasus 2.....	240
Gambar D.26	Output <i>Element Forces frame 2</i> kasus 2.....	241
Gambar D.27	Output <i>Element Forces frame 3</i> kasus 2.....	242
Gambar D.28	Output Gambar Tulangan kasus 2.....	243
Gambar D.29	Output <i>Nodal Displacement</i> kasus 2 (SAP 2000).....	244
Gambar D.30	Output <i>Joint Reactions</i> kasus 2 (SAP 2000)...	244
Gambar D.31	Output <i>Element Force frame 1</i> kasus 2 (SAP 2000).....	245
Gambar D.32	Output <i>Element Force frame 2</i> kasus 2 (SAP 2000).....	246
Gambar D.33	Output <i>Element Force frame 3</i> kasus 2 (SAP 2000).....	247

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Seiring dengan kemajuan teknologi, sebagian besar pelaku teknik sipil memanfaatkan komputer untuk menyelesaikan pekerjaan analisa struktur. Dalam prakteknya pekerjaan analisa struktur membutuhkan waktu yang lama dan tingkat keakuratan yang rendah jika menggunakan kalkulator. Kecepatan dan keakuratan yang dimiliki komputer ini dimanfaatkan oleh para ahli teknik sipil untuk menciptakan *software* analisa struktur. Beberapa *software* analisa struktur telah banyak diciptakan seperti SAP 2000, PCACOL, STAADPRO, PCABEAM, ETABS dan sebagainya.

Pada kenyataannya *software* teknik sipil yang digunakan di Indonesia sebagian besar bukan *full licensed*. Hasil yang dikeluarkan dari *software* yang bukan *full licensed* tidak seakurat *software* yang *full licensed*. Hal ini menyisakan kekhawatiran terhadap nilai yang dihasilkan dari proses *running* program. Sehingga sebagai pengguna, kita hanya bisa mendapatkan hasil dari proses *running* program tanpa bisa mengembangkan *software* tersebut. Selain itu masalah lainnya adalah semakin ketatnya peraturan tentang penggunaan aplikasi komputer berlisensi (Sumber : Undang-Undang No.19 Tahun 2002 tentang Hak Cipta). Karena ketatnya peraturan tersebut dikhawatirkan program analisa struktur tersebut akan sulit dan mahal untuk didapatkan, sedangkan proses pembangunan tidak mungkin terhenti. Untuk mengatasi permasalahan di atas, maka perlu untuk membuat suatu *software* analisa struktur.

Dalam pembuatan *software* analisa struktur tersebut, penulis menggunakan *direct stiffness method* yang merupakan bagian dari metode elemen hingga. Ada beberapa alasan mengapa *direct stiffness method* digunakan. Salah satu yang terpenting adalah pendekatannya bisa menyeluruh dan berlaku untuk semua jenis struktur. Alasan kedua adalah pendekatan ini merupakan



perangkat yang efisien dalam menjabarkan berbagai langkah dalam analisa sehingga langkah-langkah ini dapat dengan mudah diprogram pada komputer. Pemakaian matriks dalam metode ini diperlukan untuk menemukan gaya-gaya dalam pada perhitungan dengan komputer, karena himpunan bilangan yang banyak jumlahnya dapat dimanipulasi secara sederhana dan efisien. (Weaver,1996)

Keakuratan dan kecepatan yang dihasilkan *software* untuk mendapatkan gaya-gaya dalam tiap elemen digunakan juga untuk mendesain lentur, geser serta torsi tiap elemen. Karena banyaknya cakupan, penulis hanya mendetailkan desain lentur yang terjadi pada elemen horisontal (balok) sampai dengan jumlah tulangan lentur serta detail gambar pemasangan tulangan lentur yang terjadi.

Lentur elemen balok adalah akibat dari regangan deformasi yang disebabkan oleh tegangan-tegangan lentur akibat beban eksternal. Beban eksternal yang bekerja pada *software* ini hanya merupakan beban gravitasi. Dimana apabila beban ditingkatkan, balok tersebut menahan regangan dan defleksi tambahan dan mengakibatkan pembentukan retak lentur sepanjang bentang dari balok tersebut. Penambahan yang terus menerus terhadap tingkat beban mengakibatkan kegagalan elemen struktural ketika beban eksternal mencapai kapasitas elemen tersebut atau yang sering disebut keadaan batas kegagalan terhadap lentur. Sebagai konsekuensinya, seorang *civil engineer* harus dapat mendesain irisan penampang elemen sehingga tidak mengakibatkan retak yang berlebihan pada saat beban layan dan memiliki keamanan tanpa kegagalan (Nawy,2010). Dalam program ini, *user* dapat menginputkan ukuran dari elemen balok serta ukuran tulangan ulir yang diinginkan. Dengan mengacu pada SNI 03-2847-2002 serta ACI 318M-2005 maka akan didapatkan gambar desain secara detail banyaknya tulangan yang dibutuhkan.

*Software* analisa struktur ini dibuat menggunakan program bantu Microsoft Visual Basic. Visual Basic 6.0 dipilih

21

karena tidak memerlukan program khusus untuk menampilkan jendela *window* serta cara penggunaannya berbasis visual seperti aplikasi Windows lainnya. (Dewobroto,2005)

Karena sifatnya yang *open source*, penulis mengharapkan *software* ini akan terus dikembangkan secara berkelanjutan mengikuti perkembangan peraturan yang berlaku serta adanya penambahan-penambahan, sehingga menjadi *software* yang *complex* dan memiliki nilai jual tersendiri.

## 1.2 RUMUSAN PERMASALAHAN

Rumusan permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini antara lain :

1. Bagaimana menganalisa struktur *space frame* dengan menggunakan *direct stiffness method* dengan bantuan bahasa pemrograman Visual Basic sehingga dapat menghasilkan *output* berupa gaya-gaya dalam elemen?
2. Bagaimana menganalisa struktur elemen balok dari hasil gaya-gaya dalam elemen dengan bantuan bahasa pemrograman Visual Basic sehingga dapat menghasilkan *output* berupa gambar detil tulangan lentur dan panjang penyaluran pada elemen balok?
3. Apakah nilai *output* dari *software* yang telah dibuat dapat dipertanggungjawabkan kebenarannya melalui perbandingan dengan *software* analisa struktur profesional yang telah ada serta dengan perhitungan manual?
4. Bagaimana membuat *software* analisa struktur yang dapat dipelajari dan dikembangkan oleh semua orang?

### 1.3 BATASAN MASALAH

Pada penulisan Tugas Akhir ini penulis hanya membatasi permasalahan yang dibahas pada hal-hal berikut ini :

1. Struktur yang dapat dianalisa dengan *software* ini terbatas hanya pada *space frame*.
2. Beban yang dikenakan pada struktur adalah beban gravitasi berupa beban terpusat pada titik nodal dan beban terbagi rata penuh pada *frame*.
3. Metode yang digunakan adalah *direct stiffness method* yang merupakan bagian dari metode elemen hingga.
4. Analisa yang dilakukan pada elemen balok hanya berupa analisa lentur.
5. Penampang balok yang digunakan adalah penampang segiempat.
6. Program yang dibuat menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic 6.0.
7. *Output* hasil analisa dibandingkan hanya dengan *output* dari program SAP2000.

### 1.4 TUJUAN

Adapun tujuan dari penyusunan tugas akhir ini antara lain :

1. Membuat *software* analisa struktur yang dapat menganalisa *space frame* dengan menggunakan *direct stiffness method* dengan program bantu Visual Basic sehingga dapat menghasilkan *output* berupa gaya-gaya dalam elemen balok.
2. Membuat *software* analisa struktur yang dapat melakukan analisa lentur dengan program bantu *Visual Basic* sehingga menghasilkan *output* berupa gambar detil desain tulangan lentur serta panjang penyaluran pada elemen balok.
3. Mengetahui bahwa nilai *output* dari *software* yang telah dibuat dapat dipertanggungjawabkan kebenarannya melalui perbandingan dengan *software professional* yang lain serta dengan perhitungan manual.

4. Membuat sebuah program yang *open source listing* sehingga dapat dipelajari, dikembangkan dan diperbarui oleh semua orang sesuai dengan peraturan yang berlaku saat ini.

## 1.5 MANFAAT

Manfaat yang bisa kita dapatkan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Dengan semakin lengkapnya penyusunan program analisa struktur ini, maka diharapkan akan adanya sebuah program analisa struktur alternatif, yang lebih murah dan mudah untuk didapatkan, semakin realistis untuk diupayakan.
2. Dengan adanya penyusunan program analisa struktur yang bersifat *open source* ini, *sharing knowledge* dapat mudah dilakukan sehingga penyempurnaan dari program ini dapat terlaksana.
3. Dengan adanya penyusunan program analisa struktur yang bersifat *open source* ini, penulis mengharapkan agar program ini dapat dikembangkan lebih lanjut.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

Dalam penyusunan algoritma program analisa struktur dan desain lentur elemen balok, ada beberapa teori yang harus dipahami terlebih dahulu. Mulai dari dasar-dasar teori dan konsep mengenai metoda elemen hingga dan *direct stiffnes method*, pemahaman mengenai penulangan lentur balok, bahasa pemrograman Visual Basic 6.0, serta perkembangan program analisa struktur.

#### 2.1 Metoda Elemen Hingga

Ide dasar dari digunakannya metoda elemen hingga adalah mencari solusi dari suatu bentuk struktur yang rumit dan mengubahnya menjadi bentuk yang sederhana. Karena diubah menjadi struktur yang sederhana maka hasil yang didapat hanya berupa hasil pendekatan bukan merupakan suatu hasil yang eksak. Penyelesaian yang ada selama ini juga tidak mendapatkan hasil yang eksak serta memerlukan usaha yang lama. Dengan menggunakan elemen hingga, sebagian besar pekerjaan dilakukan dengan menggunakan komputer. (Rao, 2004)

Proses ini dimulai dengan *discretization* yang berarti membagi suatu model menjadi sistem *unit* (elemen hingga) yang ekuivalen dimana masing-masing unitnya saling terkoreksi dengan dua atau lebih titik elemen lainnya (*nodal points*), dan/atau garis batas (*boundary lines*), dan/atau bidang (*surfaces*). Selanjutnya dari setiap elemen hingga tersebut diformulasikan persamaannya dan menggabungkannya untuk mendapatkan solusi untuk model utuhnya. Dalam analisa struktur, solusi permasalahannya berupa *displacement* pada tiap nodalnya dan tegangan dari tiap elemen

yang membentuk struktur yang ditinjau tergantung dari beban-beban yang dikenakan. (Logan, 2006)

Secara umum metoda pelaksanaan analisa struktur dengan metoda elemen hingga adalah sebagai berikut :

1. *Discretization of the structure*

Tahap pertama dalam metoda elemen hingga adalah membagi struktur menjadi beberapa elemen. Karena dibagi menjadi beberapa elemen maka, informasi dari elemen tersebut harus jelas.

2. *Selection of a displacement model*

Karena *displacement* dari struktur yang kompleks tidak dapat dihitung secara eksak maka beberapa elemen diasumsikan menjadi struktur yang sederhana.

3. *Derivation of element stiffness matrices and load vector.*

Dari struktur yang sederhana tersebut, didapatkan matriks kekakuan masing-masing elemen dan memberikan vektor beban yang sesuai.

4. *Assemblage of element equations to obtain the overall equilibrium equation*

Karena struktur terdiri dari beberapa elemen maka matriks kekakuan masing-masing elemen dan vektor bebannya digabungkan menjadi suatu kesatuan persamaan kesetimbangan yang secara umum diformulasikan sebagai berikut :

$$[K]\bar{\Phi} = \bar{P}$$

Dimana  $[K]$  adalah matriks kekakuan gabungan,  $\bar{\Phi}$  adalah vektor dari *nodal displacement*, dan  $\bar{P}$  adalah vektor *nodal forces* dari struktur yang lengkap.

5. *Solution for the unknown nodal displacement*

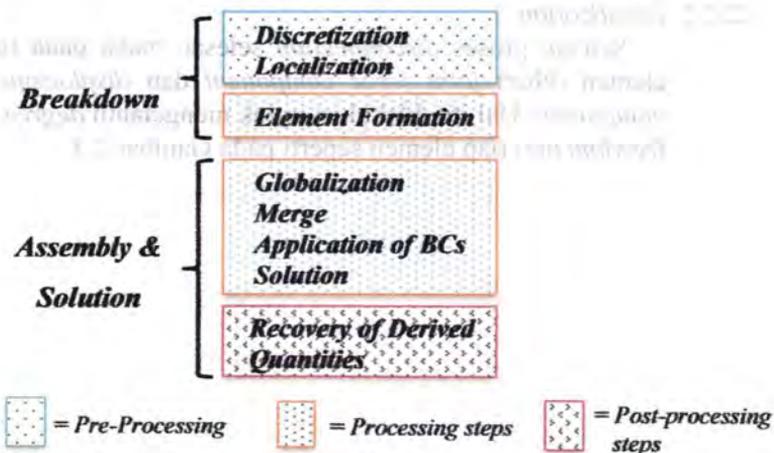
## 6. Computation of element strains and stresses

Setelah mengetahui *nodal displacement*, tegangan dan regangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang diperlukan. (Roa, 2004)

### 2.2 Wireframe Direct Stiffness Method

*Direct Stiffness Method* merupakan implementasi metoda elemen hingga yang paling sering digunakan. Untuk menggunakan metoda ini sistem yang akan dianalisa harus dimodelkan dalam satu perangkat elemen yang sederhana dan saling terhubung pada titik-titik nodalnya.

Langkah-langkah *Direct Stiffness Method* seperti yang terangkum dalam Gambar 2.1 mempermudah pembaca dalam memahaminya. Dua proses penting adalah *Breakdown* dan diikuti dengan *Assembly and Solution*. Proses *breakdown* dibagi menjadi tiga bagian penting yaitu : *discretization, localization and element formation*.



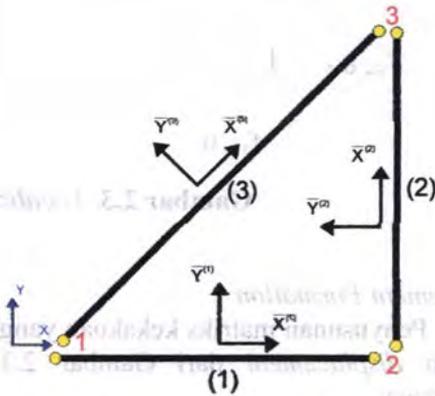
**Gambar 2.1.** *The direct stiffness method steps*

### 2.2.1 *Discretization*

Proses *breakdown* dimulai dari *disconnection* yaitu proses memecah struktur menjadi elemen-elemen dan memberi nama tiap elemennya seperti diilustrasikan pada Gambar 2.2. Proses pemberian nama atau identifikasi ini bertujuan untuk mengkorelasikan elemen struktur dengan variabel-variabel matematis yang akan dihitung oleh program komputer. Proses ini harus mendefinisikan tiap *nodal point* dan *member*. *Nodal point* diidentifikasi dengan *nodal id* (nomor nodal), koordinat, *boundary conditions* (kondisi batas), dan beban-beban. Pada Tabel 2.1 terdapat contoh identifikasi *nodal id* dan *boundary condition* dimana bernilai 0 (*restrain*), sedangkan 1 (*as caused by foundation settlement*). Sedangkan untuk elemen batang diidentifikasi dengan *id*, nodal pembatasnya, dan nomor grup. Nomor grup mendefinisikan tipe elemen dan jenis materialnya (*elastic/geometric properties*) seperti yang terdapat pada Tabel 2.2.

### 2.2.2 *Localization*

Setelah proses *disconnection* selesai, maka pada tiap elemen diberi *joint force component* dan *displacement component*. Hal itu dilakukan untuk mengetahui *degree of freedom* dari tiap elemen seperti pada Gambar 2.3



**Gambar 2.2. Discretization**

**Tabel 2.1. Example of nodal definition**

Node No.	Coord.			B.C.		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0	0	0	1	1	1
2	0	5	0	0	0	0
3	5	5	0	0	0	0
4	5	0	0	1	1	1

**Tabel 2.2. Example of element definition**

Element No.	From Node	To Node	Group Number
1	1	2	1
2	2	3	2
3	3	4	1



**Gambar 2.3.** Localization

### 2.2.3 Element Formation

Penyusunan matriks kekakuan yang menyangkut *force* dan *displacement* dari Gambar 2.3 dapat dituliskan sebagai :

$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{x1} \\ u_{y1} \\ u_{x2} \\ u_{y2} \end{Bmatrix}$$

### 2.2.4 Assembly

Konversi persamaan kekakuan lokal ke persamaan kekakuan global

$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \end{Bmatrix} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} c^2 & sc & -c^2 & -sc \\ sc & s^2 & -sc & -s^2 \\ -c^2 & -sc & c^2 & sc \\ -sc & -s^2 & sc & s^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{x1} \\ u_{y1} \\ u_{x2} \\ u_{y2} \end{Bmatrix}$$

dimana  $c = \cos \beta$   
 $s = \sin \beta$

Penggabungan matriks kekakuan global elemen menjadi matriks kekakuan struktur (*Direct Stiffness Method*)

$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ f_{x3} \\ f_{y3} \end{Bmatrix} = [K] \begin{Bmatrix} u_{x1} \\ u_{y1} \\ u_{x2} \\ u_{y2} \\ u_{x3} \\ u_{y3} \end{Bmatrix}$$

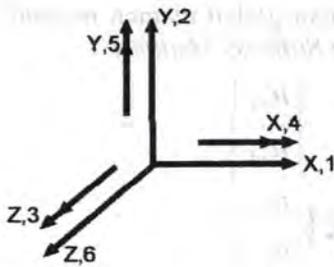
### 2.3 Sistem Koordinat

Dari analisa didapat *displacement nodal*, kemudian gaya-gaya dalam elemen yang berbeda masing-masing elemen tergantung tipe elemennya. *Displacement* diperoleh berdasar persamaan struktur global sedangkan arah vektor gaya-gaya dalam sesuai dengan posisi tiap elemen. Untuk itu dalam perhitungan harus dibedakan menjadi dua sistem koordinat.

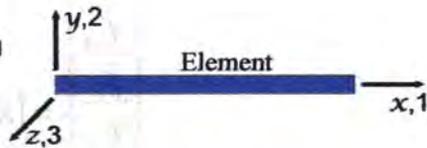
**Global:** untuk mendeskripsikan koordinat nodal struktur, dipilih menggunakan kaidah tangan kanan dan dilabelkan dengan huruf besar seperti X, Y dan Z.

**Lokal:** bergantung pada posisi tiap elemen, digunakan untuk mendeskripsikan gaya dalam elemen dan disimbolkan dengan huruf kecil seperti x, y dan z.

Pada Gambar 2.4 dan 2.5 terlihat perbedaan penamaan pada koordinat global dan lokal.



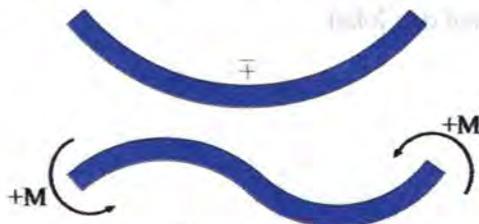
**Gambar 2.4.** Global Coordinate System in 3D Frame



**Gambar 2.5.** Local Coordinate System in 3D Frame

## 2.4 Perjanjian Tanda

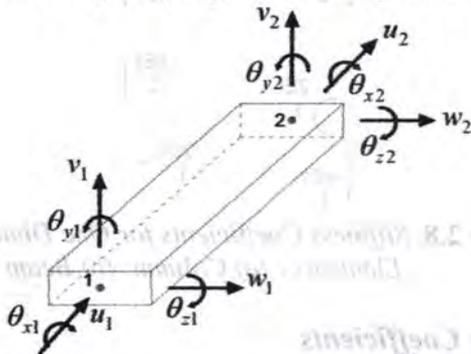
Perjanjian tanda yang digunakan dalam analisa struktur menggunakan metoda matriks berbeda dengan analisa struktur biasanya. Pada analisa struktur matriks diambil konsisten menurut sistem koordinatnya, dimana arah vektor gaya positif searah dengan sumbu positif dan momen positif berlawanan dengan arah jarum jam. Gambar 2.6 menunjukkan perbedaan antara analisa struktur biasanya dan analisa struktur matriks, dimana gambar atas merupakan analisa struktur yang biasa digunakan, sedangkan gambar bawah perjanjian tanda yang digunakan pada analisa struktur matriks.



**Gambar 2.6.** Sign Convention

### 2.5 Degrees of Freedom (D.O.F)

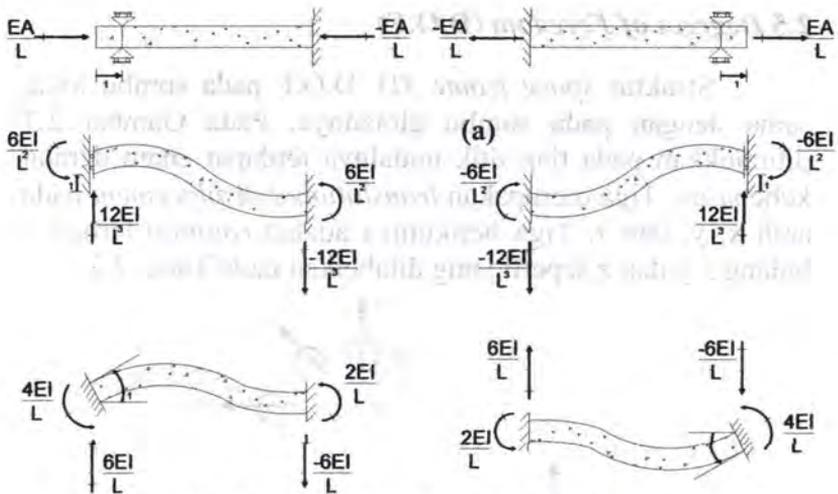
Struktur *space frame 3D*, D.O.F pada sumbu lokal sama dengan pada sumbu globalnya. Pada Gambar 2.7 ditunjukkan pada tiap titik nodalnya terdapat enam derajat kebebasan. Tiga merupakan *translational displacement* pada arah  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . Tiga berikutnya adalah *rotation* terhadap bidang  $x,y$  dan  $z$  seperti yang ditabelkan pada Tabel 2.3.



Gambar 2.7. Frame element in space with twelve D.O.Fs

Tabel 2.3. Degrees of Freedom Space Frame 3D

Type	Node 1	Node 2	[k]	[K]	
			(Lokal)	(Global)	
Frame 3D	$\{p\}$	$F_{x1}, F_{y1}, F_{z1}$ $T_{x1}, M_{y1}, M_{z1}$	$F_{x2}, F_{y2}, F_{z2}$ $T_{x2}, M_{y2}, M_{z2}$	12x12	12x12
	$\{\delta\}$	$u_1, v_1, w_1$ $\theta_{x1}, \theta_{y1}, \theta_{z1}$	$u_2, v_2, w_2$ $\theta_{x2}, \theta_{y2}, \theta_{z2}$		



**Gambar 2.8.** Stiffness Coefficients for One Dimensional Elements : (a) Column; (b) Beam

## 2.6 Stiffness Coefficients

Dalam metoda kekakuan matriks, sebelum mendapatkan matriks kekakuan global  $[K]$  maka perlu menyusun matriks kekakuan tiap elemen  $[k]$ . Gambar 2.8 merupakan gambaran nilai dari *stiffness coefficients* untuk kolom dan balok. Sebagaimana pada pasal sebelumnya pada *space frame 3D*, matriks kekakuan lokal berukuran  $12 \times 12$ . Faktor yang mempengaruhi besarnya *stiffness coefficients* pada *space frame 3D*, antara lain :

### 1. Axial Deformation

$$\sigma = E\varepsilon$$

$$P = A\sigma = \frac{AE}{L}\delta$$

$$k = \frac{AE}{L} \quad (2.1)$$

dimana  $A$  = luas penampang

$E$  = Modulus Young

$L$  = panjang bentang

$$\delta = u_{x2} - u_{x1}$$

## 2. Torsional Deformation

Rotasi yang terjadi pada suatu elemen menyebabkan terjadinya torsi.

$$\gamma_{\max} d_x = d_{\phi} c$$

$$\frac{d_{\phi}}{d_x} = \frac{\gamma_{\max}}{c} \Rightarrow \gamma_{\max} = \frac{\tau_{\max}}{G}$$

$$\frac{d_{\phi}}{d_x} = \frac{\tau_{\max}}{Gc} \Rightarrow \tau_{\max} = \frac{Tc}{J}$$

$$\frac{d_{\phi}}{d_x} = \frac{T}{GJ}$$

$$T = \frac{GJ}{L} \Phi$$

$$k = \frac{GJ}{L} \quad (2.2)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2.3)$$

dimana  $E$  = Modulus Young

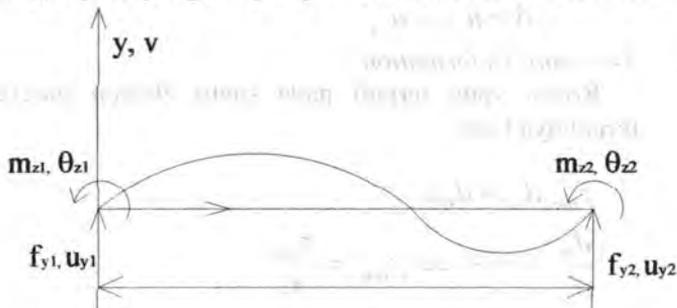
$\nu$  = koefisien Poisson

$J$  = inersia polar penampang

$L$  = panjang bentang

### 3. Flexural Deformation

Hubungan gaya dan momen pada tiap ujung elemen batang menyebabkan adanya *displacement* (translasi dan rotasi), seperti yang tampak pada Gambar 2.9 di bawah ini:



**Gambar 2.9.** Elemen dengan *displacement* akibat rotasi, gaya dan momen positif

Nilai dari *displacement* (translasi dan rotasi) dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$m_{z1} = \frac{2EI_z}{L}(2\theta_{z1} + \theta_{z2}) + \frac{6EI_z}{L^2}(v_1 - v_2) \quad (2.4)$$

$$m_{z2} = \frac{2EI_z}{L}(\theta_{z1} + 2\theta_{z2}) + \frac{6EI_z}{L^2}(v_1 - v_2) \quad (2.5)$$

$$f_{y1} = \frac{6EI_z}{L^2}(\theta_{z1} + \theta_{z2}) + \frac{12EI_z}{L^3}(v_1 - v_2) \quad (2.6)$$

$$f_{y2} = -\frac{6EI_z}{L^2}(\theta_{z1} + \theta_{z2}) - \frac{12EI_z}{L^3}(v_1 - v_2) \quad (2.7)$$

Dapat disimpulkan matriks kekakuan  $[k]$  sebagai berikut :



$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{z1} \\ m_{x1} \\ m_{y1} \\ m_{z1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ f_{z2} \\ m_{x2} \\ m_{y2} \\ m_{z2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{z1} & 0 & 0 & 0 & k_{z2} & 0 & -k_{z1} & 0 & 0 & 0 & k_{z2} \\ 0 & 0 & k_{y1} & 0 & -k_{y2} & 0 & 0 & 0 & -k_{y1} & 0 & -k_{y2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_t & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_t & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_{y2} & 0 & k_{y3} & 0 & 0 & 0 & k_{y2} & 0 & k_{y4} & 0 \\ 0 & k_{z2} & 0 & 0 & 0 & k_{z3} & 0 & -k_{z2} & 0 & 0 & 0 & k_{z4} \\ -k_a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_{z1} & 0 & 0 & 0 & -k_{z2} & 0 & k_{z1} & 0 & 0 & 0 & -k_{z2} \\ 0 & 0 & -k_{y1} & 0 & k_{y2} & 0 & 0 & 0 & k_{y1} & 0 & k_{y2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k_t & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_t & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_{y2} & 0 & k_{y4} & 0 & 0 & 0 & k_{y2} & 0 & k_{y3} & 0 \\ 0 & k_{z2} & 0 & 0 & 0 & k_{z4} & 0 & -k_{z2} & 0 & 0 & 0 & k_{z3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{x1} \\ u_{y1} \\ u_{z1} \\ \theta_{x1} \\ \theta_{y1} \\ \theta_{z1} \\ u_{x2} \\ u_{y2} \\ u_{z2} \\ \theta_{x2} \\ \theta_{y2} \\ \theta_{z2} \end{Bmatrix}$$

dimana:

$$\begin{aligned}
 k_a &= \frac{EA}{L} ; & k_{z1} &= \frac{12EI_z}{L^3} ; & k_{z3} &= \frac{4EI_z}{L} ; & k_{y1} &= \frac{12EI_y}{L^3} ; & k_{y3} &= \frac{4EI_y}{L} \\
 k_t &= \frac{GJ}{L} ; & k_{z2} &= \frac{6EI_z}{L^2} ; & k_{z4} &= \frac{2EI_z}{L} ; & k_{y2} &= \frac{6EI_y}{L^2} ; & k_{y4} &= \frac{2EI_y}{L}
 \end{aligned} \quad (2.8)$$

#### 4. Deformasi geser

Secara umum deformasi akibat geser cukup kecil, namun untuk batang dengan rasio bentang yang relatif pendek terhadap tinggi penampangnya deformasi ini tidak bisa diabaikan.

$$\Phi = \frac{12EI}{GA_s L^2} \quad (2.9)$$

Bila deformasi geser diperhitungkan maka persamaan matriks kekakuan harus dirubah:

1. Akibat translasi, koefisien pada kolom pertama dan ketiga dibagi dengan  $(1 + \Phi)$
2. Akibat rotasi dan efek dari gaya geser, maka pada persamaan harus ditambah *displacement* sebesar  $(-0,5\Phi L)$



Sehingga persamaan kekakuan menjadi:

$$[k] = \frac{EI_z}{L^3(1+\Phi_y)} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & (4+\Phi_y)L^2 & -6L & (2-\Phi_y)L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & (2-\Phi_y)L^2 & -6L & (4+\Phi_y)L^2 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

## 2.7 Matriks Transformasi

Persamaan kekakuan yang telah didapat sebelumnya adalah matriks untuk elemen yang sumbu batangnya (lokal) berhimpit dengan sumbu struktur utama (global). Untuk elemen dengan sumbu lokal tidak berhimpit dengan sumbu global, maka diperlukan suatu matriks transformasi untuk mengkonversikan matriks kekakuan lokal ke matriks kekakuan global elemen.

Bila  $[k]$  adalah matriks kekakuan lokal elemen dan  $[R]$  adalah matriks transformasi elemen, maka matriks kekakuan global  $[K]$  dinyatakan sebagai berikut:

$$[K] = [R]^T [k] [R] \quad (2.11)$$

Pada *space frame 3D*, dimana memiliki 6 D.O.Fs per titik nodal, bentuk persamaan  $[R]$  adalah :

$$[R] = \begin{bmatrix} \lambda_{3 \times 3} & & & \\ & \lambda_{3 \times 3} & & \\ & & \lambda_{3 \times 3} & \\ & & & \lambda_{3 \times 3} \end{bmatrix}$$

$$[\lambda] \text{ adalah vektor transformasi dari: } \begin{bmatrix} l_{xX} & l_{xY} & l_{xZ} \\ l_{yX} & l_{yY} & l_{yZ} \\ l_{zX} & l_{zY} & l_{zZ} \end{bmatrix}$$

dimana,

$x, y, z$  = sumbu lokal elemen

$X, Y, Z$  = sumbu global elemen

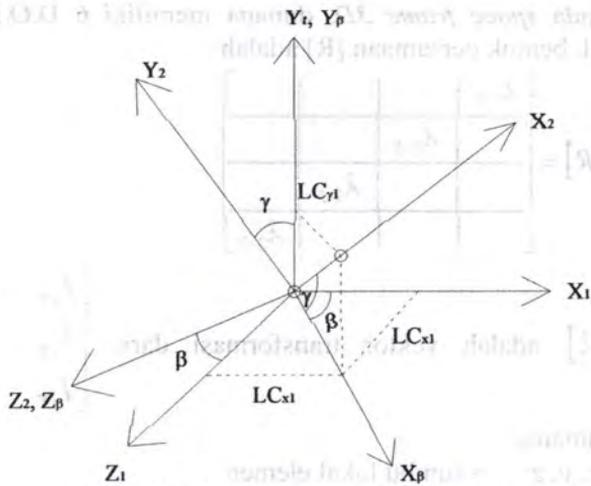
$l_{ij}$  = adalah cosinus sudut antara sumbu  $i$  terhadap sumbu  $j$

$l_{xj}$  = adalah cosinus sudut antara sumbu  $x$  terhadap sumbu global  $j$  ( $X, Y, Z$ )

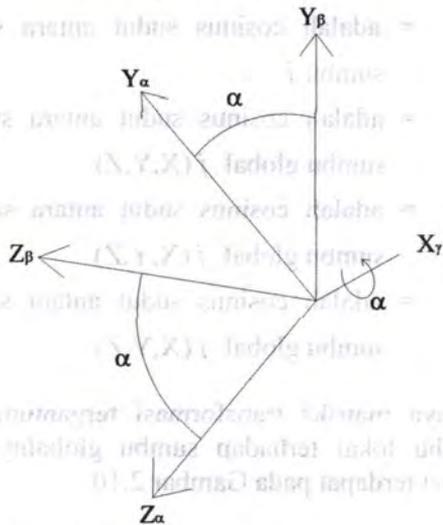
$l_{yj}$  = adalah cosinus sudut antara sumbu  $y$  terhadap sumbu global  $j$  ( $X, Y, Z$ )

$l_{zj}$  = adalah cosinus sudut antara sumbu  $z$  terhadap sumbu global  $j$  ( $X, Y, Z$ )

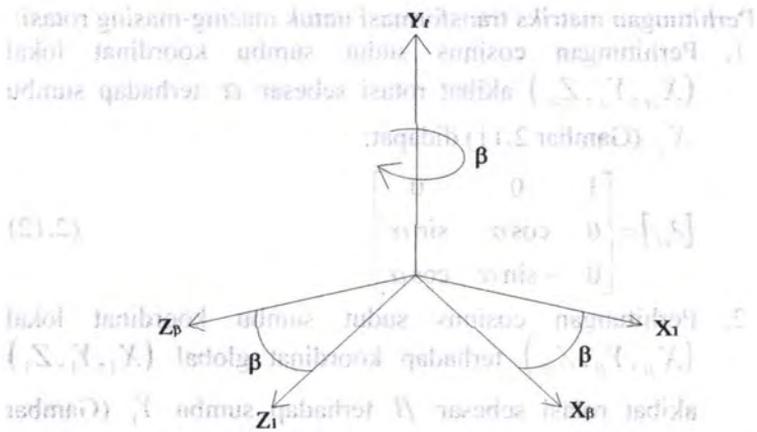
Besarnya matriks transformasi tergantung dengan bentuk rotasi sumbu lokal terhadap sumbu globalnya. Secara umum bentuk rotasi terdapat pada Gambar 2.10.



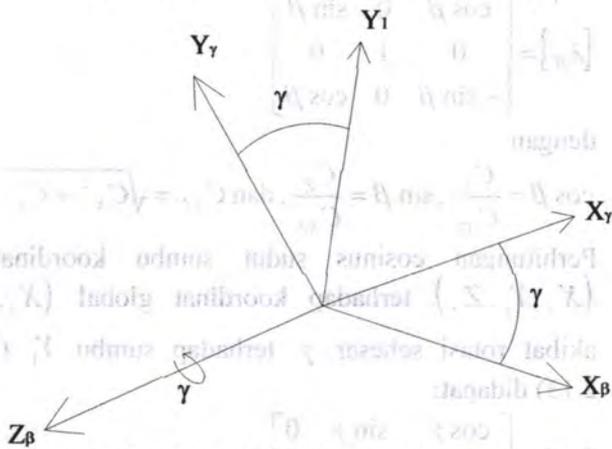
**Gambar 2.10. Simple 3D Rotation**



**Gambar 2.11. Rotation with respect to  $\alpha$**



**Gambar 2.12. Rotation with respect to  $\beta$**



**Gambar 2.13. Rotation with respect to  $\gamma$**

Perhitungan matriks transformasi untuk masing-masing rotasi:

1. Perhitungan cosinus sudut sumbu koordinat lokal  $(X_\alpha, Y_\alpha, Z_\alpha)$  akibat rotasi sebesar  $\alpha$  terhadap sumbu  $X_\gamma$  (Gambar 2.11) didapat:

$$[\lambda_\alpha] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

2. Perhitungan cosinus sudut sumbu koordinat lokal  $(X_\beta, Y_\beta, Z_\beta)$  terhadap koordinat global  $(X_1, Y_1, Z_1)$  akibat rotasi sebesar  $\beta$  terhadap sumbu  $Y_1$  (Gambar 2.12) didapat:

$$[\lambda_\beta] = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

dengan

$$\cos \beta = \frac{C_x}{C_{xz}}, \sin \beta = \frac{C_z}{C_{xz}}, \text{ dan } C_{xz} = \sqrt{C_x^2 + C_z^2}$$

3. Perhitungan cosinus sudut sumbu koordinat lokal  $(X_\gamma, Y_\gamma, Z_\gamma)$  terhadap koordinat global  $(X_1, Y_1, Z_1)$  akibat rotasi sebesar  $\gamma$  terhadap sumbu  $Y_1$  (Gambar 2.13) didapat:

$$[\lambda_\gamma] = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

dengan  $\cos \gamma = C_{xz}$  dan  $\sin \gamma = C_\gamma$

Maka untuk sistem koordinat lokal dengan rotasi sebesar  $\alpha, \beta$  dan  $\gamma$  terhadap sumbu global diperoleh vektor transformasi:

$$[\lambda] = [\lambda_\alpha] [\lambda_\gamma] [\lambda_\beta]$$

$$[\lambda] = \begin{bmatrix} C_X & C_Y & C_Z \\ -C_X C_r \cos \alpha - C_Z \sin \alpha & C_{XZ} \cos \alpha & -C_r C_Z \cos \alpha + C_X \sin \alpha \\ \frac{C_{XZ} C_Y \sin \alpha - C_Z \cos \alpha}{C_{XZ}} & -C_{XZ} \sin \alpha & \frac{C_r C_Z \sin \alpha + C_X \cos \alpha}{C_{XZ}} \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

dengan:

$$C_X = \frac{x_j - x_i}{L}; C_Y = \frac{y_j - y_i}{L}; C_Z = \frac{z_j - z_i}{L}$$

$$C_{XZ} = \sqrt{C_X^2 + C_Z^2}$$

$$L = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2}$$

Untuk batang vertikal (sumbu lokal  $x$  sejajar dengan sumbu global  $Y$ ) maka vektor transformasi dari persamaan sebelumnya tidak bisa digunakan karena nilai  $C_{XZ}$  tidak bisa didapat. Untuk pengecualian ini digunakan:

$$[\lambda_\gamma] = \begin{bmatrix} 0 & C_Y & 0 \\ -C_Y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

dimana:  $C_Y = 1$  untuk  $\gamma = 90^\circ$ , dan  $C_Y = -1$  untuk  $\gamma = 270^\circ$

Setelah dihitung rotasi terhadap  $\lambda$  dilakukan perhitungan rotasi terhadap sumbu  $x$  baru sebesar  $\alpha$ , yaitu:

$$[\lambda] = [\lambda_\gamma] [\lambda_\alpha]$$

$$[\lambda] = \begin{bmatrix} 0 & C_\gamma & 0 \\ -C_\gamma \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ C_\gamma \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

## 2.8 Matriks Beban

Beban berupa gaya luar yang bekerja pada struktur. Untuk gaya luar titik/terpusat pada nodal dengan arah sumbu global, maka gaya-gaya tersebut membentuk matriks beban secara langsung ke posisi dimana *displacement* bersesuaian terjadi:

$$\{f\} = \{f_x \quad f_y \quad f_z \quad m_x \quad m_y \quad m_z\}^T$$

Untuk beban merata pada batang seperti dalam Gambar 2.14 maka perlu dicari nilai beban ekuivalen pada nodal pembatas batang.

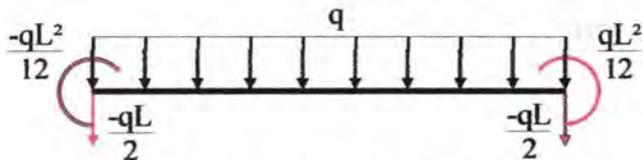
$$\{p_s\} = \{f_{xeq} \quad f_{yeq} \quad f_{zeq} \quad m_{xeq} \quad m_{yeq} \quad m_{zeq}\}^T$$

Selanjutnya persamaan *equilibrium* struktur dituliskan sebagai:

$$\{U\} = [K]^{-1} \{p_s\} \quad (2.17)$$

$$\{f\} = \{f_0\} + [k]\{U\} \quad (2.18)$$

Sehingga dari sini didapat gaya serta momen pada suatu elemen.



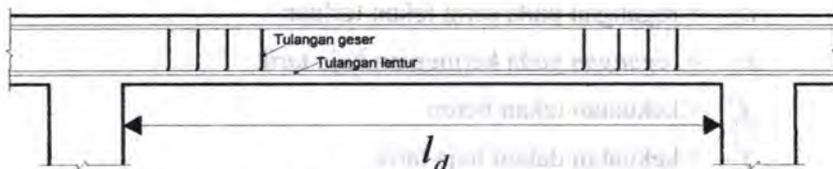
Gambar 2.14. Beban nodal ekuivalen

## 2.9 Lentur Pada Balok

Beban-beban yang bekerja pada struktur, baik berupa beban gravitasi (berarah vertikal) maupun beban-beban lain, seperti beban angin (dapat berarah horisontal) menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur. Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar.

Apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan adanya retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen. Taraf pembebanan demikian disebut keadaan limit.

Jika suatu balok terbuat dari material yang *elastic* linier, isotropis dan homogen maka tegangan lentur maksimumnya dapat diperoleh dengan rumus lentur balok. Pada keadaan beban batas, balok beton bertulang bukanlah material yang homogen, juga tidak elastis sehingga rumus lentur balok tersebut tidak dapat digunakan untuk menghitung tegangannya. Akan tetapi, prinsip-prinsip dasar teori lentur masih dapat digunakan untuk menganalisa irisan penampang balok beton bertulang. Gambar 2.15 menunjukkan sebuah balok beton bertulang menerus yang tipikal. Jika balok tersebut diproporsikan sedemikian sehingga semua material penyusunnya mencapai kapasitas sebelum kegagalan, baik beton maupun bajanya gagal secara bersamaan di tengah bentang maka kekuatan *ultimate* dari balok tersebut tercapai.



Gambar 2.15. Balok beton bertulang tipikal

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam menetapkan perilaku penampang adalah sebagai berikut:

1. Distribusi regangan dianggap linier. Asumsi ini berdasarkan hipotesis Bernoulli yaitu penampang yang datar sebelum mengalami lentur akan tetap datar dan tegak lurus terhadap sumbu netral setelah mengalami lentur.
2. Regangan pada baja dan beton di sekitarnya sama sebelum terjadi retak pada beton atau leleh pada baja.
3. Beton lemah terhadap tarik. Beton akan retak pada taraf pembebanan kecil, yaitu sekitar 10% dari kekuatan tekannya. Akibatnya bagian beton yang mengalami tarik pada penampang diabaikan dalam perhitungan analisis dan desain, juga tulangan tarik yang ada dianggap memikul gaya tarik tersebut.

Agar keseimbangan gaya horisontal terpenuhi, gaya tekan  $C$  pada beton dan gaya tarik  $T$  pada tulangan harus saling mengimbangi, jadi haruslah:

$$C = T \quad (2.19)$$

Simbol-simbol yang ada pada Gambar 2.16 didefinisikan sebagai berikut:

$b$  = lebar balok pada sisi tekan

$d$  = kedalaman balok diukur dari serat tekan terluar ke pusat luasan baja

$h$  = kedalaman balok total

$A_s$  = luasan baja tarik

$\epsilon_c$  = regangan pada serat tekan terluar

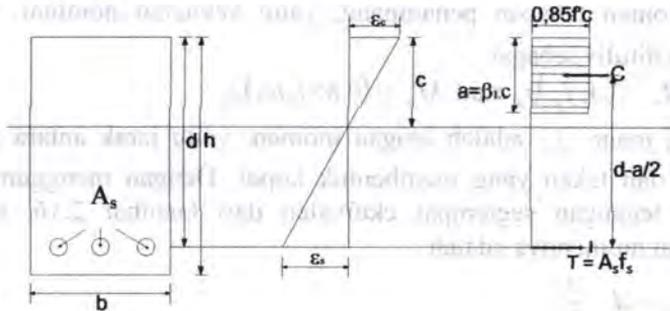
$\epsilon_s$  = regangan pada ketinggian baja tarik

$f'_c$  = kekuatan tekan beton

$f_s$  = kekuatan dalam baja tarik

$f_y$  = kekuatan leleh tulangan tarik

$c$  = kedalaman sumbu netral diukur dari serta-serat tekan terluar



**Gambar 2.16.** Distribusi tegangan dan regangan pada penampang balok tulangan tunggal

Blok tegangan ekuivalen ini mempunyai tinggi  $a$  dan tegangan tekan rata-rata sebesar  $0,85f'_c$ . Seperti terlihat pada Gambar 2.16, besarnya  $a$  adalah  $\beta_1 c$  yang ditentukan dengan menggunakan koefisien  $\beta_1$  sedemikian rupa sehingga luas blok segiempat ekuivalen kurang lebih sama dengan blok tegangan yang berbentuk parabola.

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan, regangan maksimum yang diizinkan adalah 0,003. Harga ini dipakai pada ACI sebagai harga batas yang masih aman. Dengan mudah kita dapat menghitung gaya tekan  $C$  sebesar  $0,85f'_c b a$ , yaitu volume balok tekan pada atau dekat keadaan batas, yaitu bila baja tarik telah leleh ( $\epsilon_s > \epsilon_y$ ). Gaya tarik  $T$  dapat ditulis sebagai  $A_s f_y$ . Jadi persamaan keseimbangan (2.17) dapat ditulis sebagai :

$$0,85f'_c b a = A_s f_y$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \quad (2.20)$$

Momen tahapan penampang, yaitu kekuatan nominal  $M_n$ , dapat ditulis sebagai :

$$M_n = (A_s f_y) j_d \text{ atau } M_n = (0,85 f'_c b a) j_d$$

Di mana  $j_d$  adalah lengan momen, yaitu jarak antara gaya tarik dan tekan yang membentuk kopel. Dengan menggunakan blok tegangan segiempat ekuivalen dari Gambar 2.16, maka lengan momennya adalah :

$$j_d = d - \frac{a}{2}$$

Jadi momen tahanan nominalnya adalah :

$$M_n = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

Karena  $C=T$ , maka persamaan momen dapat ditulis sebagai :

$$M_n = 0,85 f'_c b a \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.21)$$

Jadi persentase tulangan dinyatakan dengan  $\rho = A_s / b d$ , maka persamaan (2.18) dapat ditulis sebagai :

$$a = \frac{\rho d f_y}{0,85 f'_c}$$

Jika  $r = b/d$ , menjadi :

$$M_n = \rho r d^2 f_y \left( d - \frac{\rho d f_y}{1,7 f'_c} \right) \quad (2.22)$$

di mana  $\omega = \rho f_y / f'_c$  sehingga Persamaan (2.22) menjadi:

$$M_n = R_n b d^2 \quad (2.23)$$

Kedalaman sumbu netral  $c$ , dapat dirumuskan dari Gambar 2.16 sebagai :

$$\frac{c}{d} = 0,003 \left( \frac{d_t - c}{c} \right)$$

Untuk regangan seimbang batas  $\varepsilon_t = 0,003$  pada serat tulangan tarik terluar, maka persamaan menjadi :

$$\frac{c_b}{d_t} = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{E_s}} \quad (2.24)$$

dimana,

$c_b$  = kedalaman sumbu netral seimbang pada regangan batas  $\varepsilon_t = 0,003$

$d_t$  = kedalaman efektif ke lapis tulangan tarik terluar

Jika modulus tulangan baja lunak,  $E_s$ , diambil sebesar 200.000 MPa, maka Persamaan (2.24) menjadi :

$$\frac{c_b}{d_t} = \frac{600}{600 + f_y} \quad (2.25)$$

dan,

$$f_s = 600 \left( \frac{d_t}{c} - 1 \right) \quad (2.26)$$

Hubungan antara kedalaman blok tegangan persegi ekuivalen  $a$  dan kedalaman sumbu netral  $c$  adalah

$$a = \beta_1 c \quad (2.27)$$

Harga faktor kedalaman blok tegangan  $\beta_1$  adalah

$$\beta_1 = \begin{matrix} 0,85 & \text{untuk } 18 \text{ Mpa} < f'_c \leq 28 \text{ Mpa} \\ 0,85 - 0,05 \left( \frac{f'_c - 28}{7} \right) & \text{untuk } 28 \text{ Mpa} < f'_c \leq 55 \text{ Mpa} \\ 0,65 & \text{untuk } f'_c > 55 \text{ Mpa} \end{matrix} \quad (2.28)$$

Peraturan juga menetapkan persyaratan baja minimum sebagai:

$$A_{s\min} \geq \frac{3\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \geq \frac{200b_w d}{f_y} \quad (2.29)$$

Begitu pula dengan  $\rho_{perlu}$ , ditetapkan sebagai berikut:

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \quad (2.30)$$

dimana

$$m = \frac{f_y}{0,85f'_c}$$

$$A_{s\perlu} = \rho_{perlu}bd \quad (2.31)$$

## 2.10 Metoda Batas-Batas Regangan Untuk Analisis dan Desain

Dalam pendekatan ini, sering disebut dengan '*Unified Method*', karena dapat diterapkan secara sama untuk analisis lentur elemen-elemen beton prategang, kekuatan lentur nominal sebuah beton tercapai bila regangan tekan neto dalam serat tekan terluar mencapai batas yang diasumsikan peraturan ACI 0,003 mm/mm. Dalam hal ini juga ditetapkan bahwa bila regangan tarik neto dalam baja tarik terluar  $\epsilon_t$  cukup besar dimana harganya sama atau lebih besar dari 0,005mm/mm maka perilakunya adalah daktail penuh. Penampang balok beton dikarakteristikan sebagai terkontrol tarik, dengan peringatan yang cukup seperti yang ditunjukkan oleh retak dan defleksi yang berlebihan.

Pada analisa lentur biasanya terkontrol tarik. Akan tetapi, beberapa penampang, seperti yang dikenai oleh beban-beban aksial kecil, tetapi momen lentur yang besar, regangan tarik neto,  $\epsilon_t$ , akan mempunyai sebuah harga antara atau transisi antara kedua keadaan batas regangan. Gambar 2.17 menggambarkan ketiga daerah ini demikian juga variasi dalam faktor-faktor

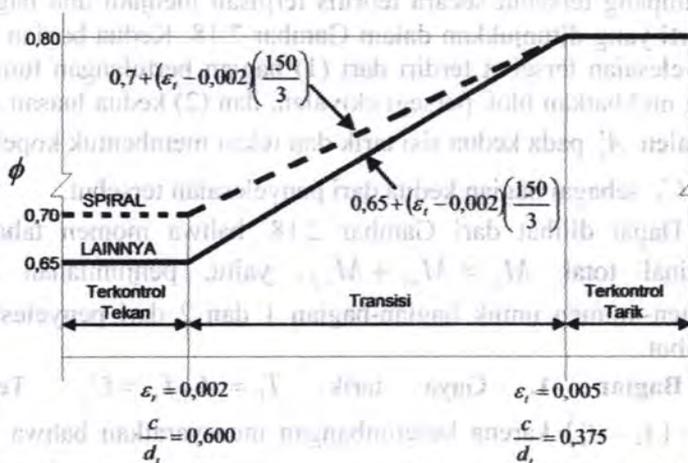
reduksi kekuatan yang dapat diterapkan pada rentang perilaku keseluruhan.

Dimana besar  $\varepsilon_t$  ditentukan dari kesetimbangan gaya pada Gambar 2.16 adalah

$$\frac{c}{d-c} = \frac{0,003}{\varepsilon_t}$$

menjadi,

$$\varepsilon_t = 0,003 \left( \frac{d}{c} - 1 \right) \quad (2.32)$$



Gambar 2.17. Zona batas regangan dan variasi faktor reduksi kekuatan  $\phi$  dengan regangan tarik  $\varepsilon_t$

## 2.11 Penampang Tulangan Rangkap

Penampang tulangan rangkap memuat tulangan baik pada muka tarik maupun tekan, biasanya di penampang pendukung saja. mereka menjadi diperlukan bilamana baik batasan-batasan arsitektural yang membatasi kedalaman *web* balok di bentang-tengah, atau dimensi-dimensi penampang bentang-tengah tidak cukup di dalam menahan momen negative pendukung sekalipun

bilamana baja tarik di pendukung ditingkatkan secara mencukupi. Dalam kasus-kasus seperti itu, sekitar sepertiga sampai setengah batang bawah pada bentang-bentang diperpanjang dan diangkur dengan baik pada pendukung-pendukung yang bekerja sebagai tulangan tekan. Panjang penyaluran batang harus dibuat dengan baik dan baja tekan dan tarik di penampang pendukung diikat dengan baik dengan sengkang-sengkang tertutup untuk mencegah tekuk (*buckling*) batang-batang tekan pada pendukung.

Di dalam analisis atau desain balok-balok dengan tulangan tekan  $A'_s$ , analisis tersebut dibagi sedemikian sehingga penampang tersebut secara teoritis terpisah menjadi dua bagian, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.18. Kedua bagian dari penyelesaian tersebut terdiri dari (1) bagian bertulangan tunggal yang melibatkan blok persegi ekuivalen, dan (2) kedua luasan baja ekuivalen  $A'_s$  pada kedua sisi tarik dan tekan membentuk kopel  $T_2$  dan  $C_2$  sebagai bagian kedua dari penyelesaian tersebut.

Dapat dilihat dari Gambar 2.18, bahwa momen tahanan nominal total  $M_n = M_{n1} + M_{n2}$ , yaitu, penjumlahan dari momen-momen untuk bagian-bagian 1 dan 2 dari penyelesaian tersebut.

**Bagian 1.** Gaya tarik  $T_1 = A_{s1}f_y = C_1$ . Tetapi  $A_{s1} = (A_s - A'_s)$  karena kesetimbangan mensyaratkan bahwa  $A_{s2}$  pada sisi tarik diimbangi dengan sebuah  $A'_s$  ekuivalen pada sisi tekan. Karena itu momen tahanan nominal

$$M_{n1} = (A_s - A'_s)f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.33)$$

$$\text{dimana } a = \frac{(A_s - A'_s)f_y}{0,85 f'_c b} \quad (2.34)$$

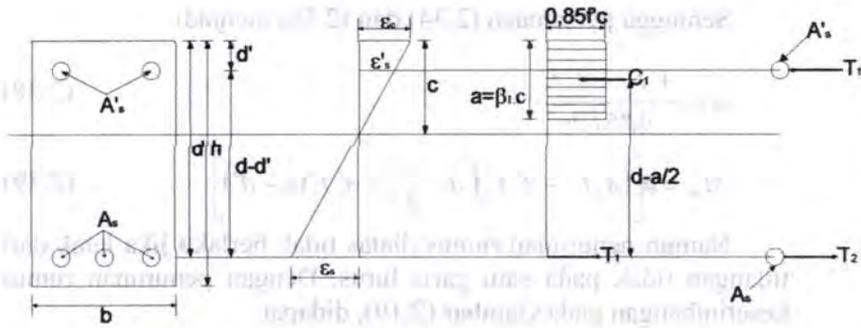
**Bagian 2.**

$$A'_s = A_{s2} = (A_s - A_{s1})$$

$$T_2 = C_2 = A_{s2} f_y$$

Dengan mengambil momen terhadap tulangan tarik, kita mempunyai persamaan :

$$M_{n2} = A_{s2} f_y (d - d') \quad (2.35)$$



**Gambar 2.18.** Distribusi tegangan dan regangan pada tulangan rangkap

Dengan menambahkan momen-momen untuk bagian-bagian 1 dan 2 menghasilkan :

$$M_n = (A_s - A'_s) f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f_y (d - d')$$

Kekuatan momen desain

$$M_u = \phi \left[ (A_s - A'_s) f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f_y (d - d') \right] \quad (2.36)$$

Persamaan ini berlaku hanya jika  $A'_s$  meleleh. Jika tidak, balok tersebut harus diperlakukan sebagai sebuah balok bertulangan tunggal dengan mengabaikan baja tekan, atau seseorang harus mendapatkan tegangan aktual  $f'_s$  dalam tulangan

tekan  $A'_s$  dan menggunakan gaya aktual di dalam persamaan kesetimbangan momen.

Jika  $A'_s$  tidak meleleh atau  $\varepsilon'_s < \varepsilon_y$  maka,  $f'_s$  dihitung sebagai berikut

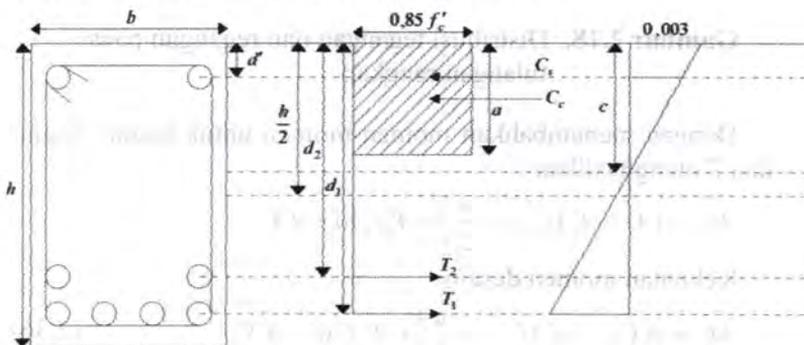
$$f'_s = 600 \left[ 1 - \frac{0,85 \beta_1 f'_c d'}{(\rho - \rho') f_y d} \right] \quad (2.37)$$

Sehingga persamaan (2.34) dan (2.36) menjadi

$$a = \frac{A_s f_y - A'_s f'_s}{0,85 f'_c b} \quad (2.38)$$

$$M_u = \phi \left[ (A_s f_y - A'_s f'_s) \left( d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s (d - d') \right] \quad (2.39)$$

Namun penurunan rumus diatas tidak berlaku jika letak dari tulangan tidak pada satu garis lurus. Dengan penurunan rumus kesetimbangan pada Gambar (2.19), didapat



**Gambar 2.19.** Distribusi tegangan dan regangan pada tulangan ganda

$$\sum H = 0$$

$$-C_c + C_s + T_1 + T_2 = 0 \quad (2.40)$$

Dimana :

$$C_c = 0,85 \times f'_c \times b \times a$$

$$C_s = A'_s \times f'_s$$

$$f'_s = E_s \times \varepsilon'_s$$

$$\varepsilon'_s = -\frac{(c - \text{decking}) \times 0,003}{c}$$

$$T_1 = A_{s1} \times f_s$$

$$T_2 = A_{s2} \times f_s$$

$$f_s = E_s \times \varepsilon_s$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,003 \times d}{c} - 0,003$$

Dicari nilai  $c$  sehingga persamaan kesetimbangan menjadi 0, nilai  $c$  dicari dengan menggunakan metoda Bolzano yang merupakan salah satu *numerical method*.

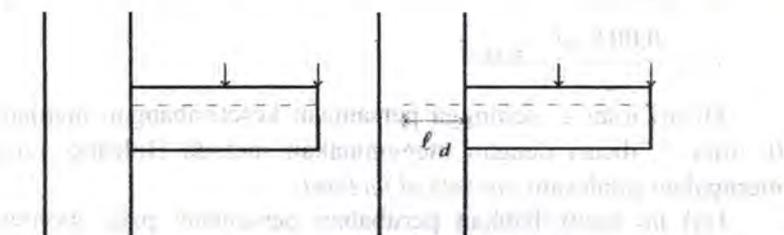
Hal ini menyebabkan perubahan persamaan pada momen nominal pada balok (Persamaan 2.36) menjadi :

$$M_n = C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T_1 \left( d - \frac{h}{2} \right) + T_2 \left( d - \frac{h}{2} - 25 \right) \quad (2.41)$$

## 2.12 Panjang Penyaluran Untuk Tulangan Tarik

Untuk pembahasan ini, lihat balok kantilever dalam Gambar 2.20. Terlihat bahwa baik momen maksimum dalam balok maupun tegangan maksimum dalam tulangan tarik terjadi pada permukaan tumpuan. Secara teoritis, pada jarak yang pendek masuk ke dalam tumpuan momen adalah nol sehingga tulangan tidak lagi diperlukan. Kondisi ini diperlihatkan dalam Gambar 2.20(a). Tentu saja jika tulangan dihentikan pada permukaan tumpuan, balok akan runtuh.

Tegangan tulangan harus ditransfer ke beton oleh lekatan antara baja dan beton sebelum tulangan dapat dipotong. Dalam hal ini tulangan harus diperpanjang dengan jarak tertentu masuk ke dalam tumpuan dan masuk ke balok untuk mengankur tulangan atau meningkatkan kekuatannya. Jarak ini disebut panjang penyaluran ( $\ell_d$ ) dan diperlihatkan dalam Gambar 2.20(b). Panjang penyaluran dapat didefinisikan sebagai panjang maksimum dari tulangan terbenam yang diperlukan sehingga tulangan dapat diberikan tegangan mencapai titik leleh ditambah jarak ekstra untuk menjamin kekuatan dari batang. Hal yang sama dapat dilakukan untuk tulangan-tulangan dalam kondisi lain dan jenis yang lain.



**Gambar 2.20.** Kantilever (a)Tanpa panjang penyaluran; (b)Dengan panjang penyaluran  $\ell_d$ .

Panjang penyaluran  $\ell_d$ , dinyatakan dalam diameter  $d_b$  untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik, harus ditentukan berdasarkan SNI 2847-2002 Pasal 14.2 yaitu

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{9f_y}{10\sqrt{f'_c}} \left( \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right) \quad (2.42)$$

tetapi  $\ell_d$  tidak boleh kurang dari 300mm serta nilai  $\left( \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right)$  tidak boleh lebih dari 2,5.

Dimana :

$K_{tr}$  = faktor indeks tulangan transversal

- $\alpha$  (*alpha*) = faktor lokasi tulangan  
 $\beta$  (*beta*) = faktor pelapisan (*coating*)  
 $\gamma$  (*gamma*) = faktor ukuran tulangan  
 $\lambda$  (*lambda*) = faktor beton agregat ringan  
 $c$  = jarak atau dimensi selimut  
 $d_b$  = diameter tulangan longitudinal

$$K_{tr} = \frac{A_{tr} f_{yt}}{10sn} \quad (2.43)$$

Dimana :

- $A_{tr}$  = luas penampang total semua tulangan transversal dengan jarak pusat ke pusat  $s$  dan kekuatan leleh  $f_{yt}$ .  
 $n$  = jumlah tulangan atau kawat dalam bidang belah.  
 $s$  = jarak antar tulangan longitudinal

### 2.13 Panjang Penyaluran Untuk Tulangan Tekan

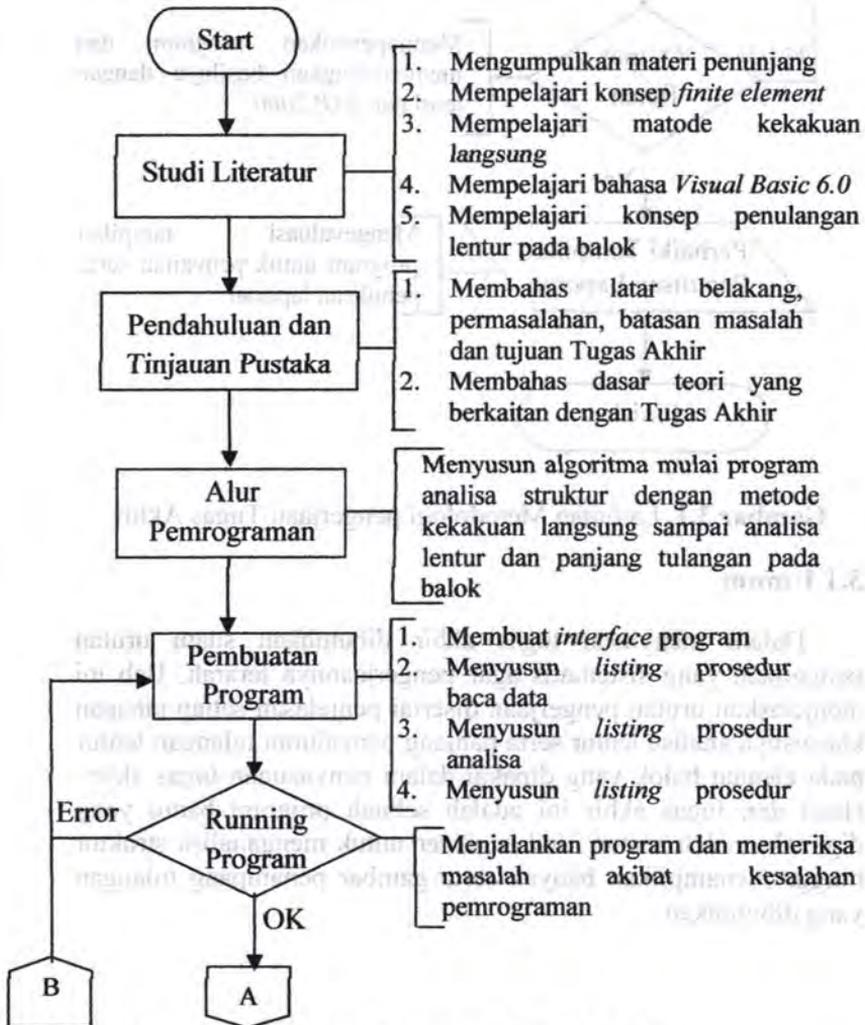
Tidak tersedia cukup informasi dan eksperimental tentang tegangan lekatan dan panjang penyaluran untuk baja tekan. Tetapi jelas bahwa panjang penyaluran akan lebih kecil dibandingkan tulangan tarik. Salah satu sebab adalah tidak adanya retak yang akan menyebabkan gelincir. Alasan lain, ada daya dukung pada ujung tulangan dalam beton yang juga akan membantu penyaluran beban.

Peraturan SNI 2847-2002 menyatakan bahwa panjang penyaluran dasar minimum yang disediakan untuk batang tekan tidak boleh kurang dari nilai yang dihitung dari persamaan berikut:

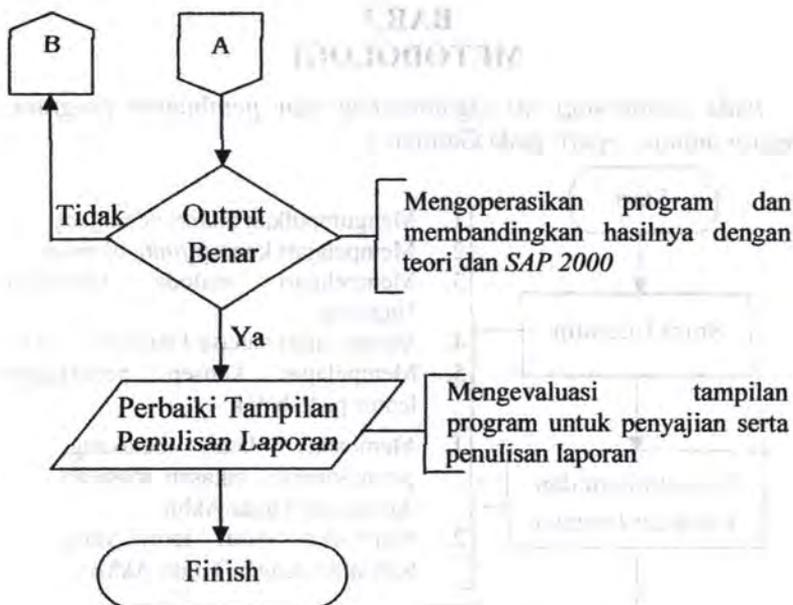
$$\ell_d = \frac{d_b f_y}{4\sqrt{f'_c}} \geq 0,04d_b f_y \quad (2.44)$$

## BAB 3 METODOLOGI

Pada metodologi ini digambarkan alur pembuatan program secara umum, seperti pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1.** Metodologi pengerjaan Tugas Akhir



**Gambar 3.1.** Lanjutan Metodologi pengerjaan Tugas Akhir

### 3.1 Umum

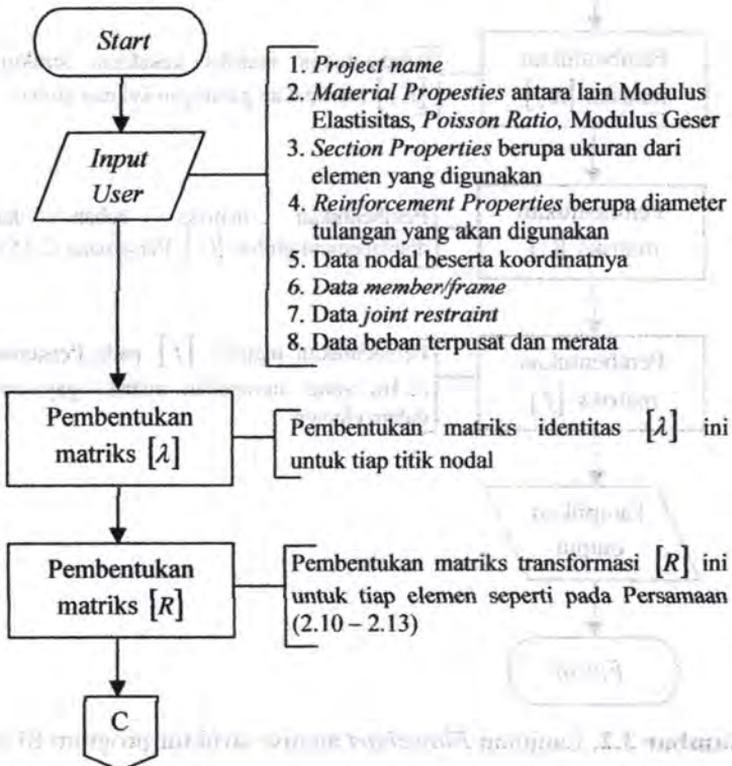
Dalam menyusun tugas akhir dibutuhkan suatu urutan pengerjaan yang sistematis agar pengerjaannya terarah. Bab ini menjelaskan urutan pengerjaan disertai penjelasan setiap tahapan khususnya analisa lentur serta panjang penyaluran tulangan lentur pada elemen balok yang dipakai dalam penyusunan tugas akhir. Hasil dari tugas akhir ini adalah sebuah program bantu yang digunakan oleh semua *civil engineer* untuk menganalisa struktur hingga menampilkan banyak serta gambar penampang tulangan yang dibutuhkan.

### 3.2 Alur program bantu yang dibuat

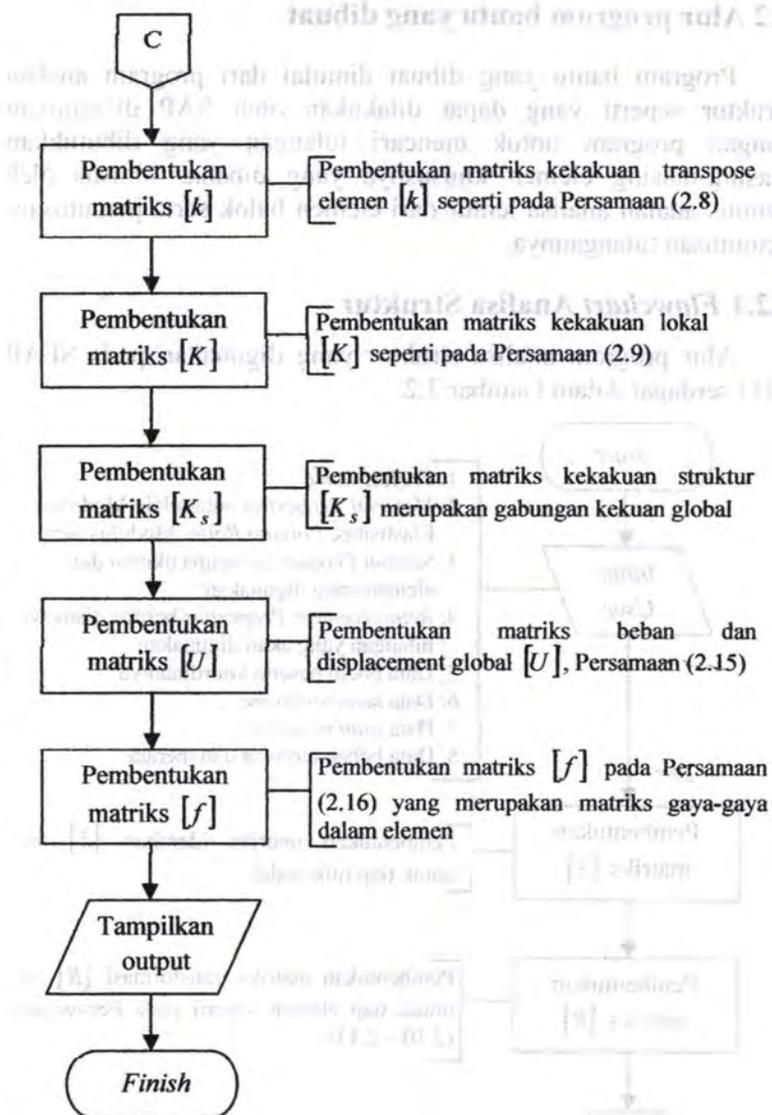
Program bantu yang dibuat dimulai dari program analisa struktur seperti yang dapat dilakukan oleh SAP dilanjutkan dengan program untuk mencari tulangan yang dibutuhkan masing-masing elemen khususnya yang dibahas khusus oleh penulis adalah analisa lentur dari elemen balok serta pemutusan-pemutusan tulungannya.

#### 3.2.1 Flowchart Analisa Struktur

Alur program analisa struktur yang digunakan pada SFAP 2011 terdapat dalam Gambar 3.2.



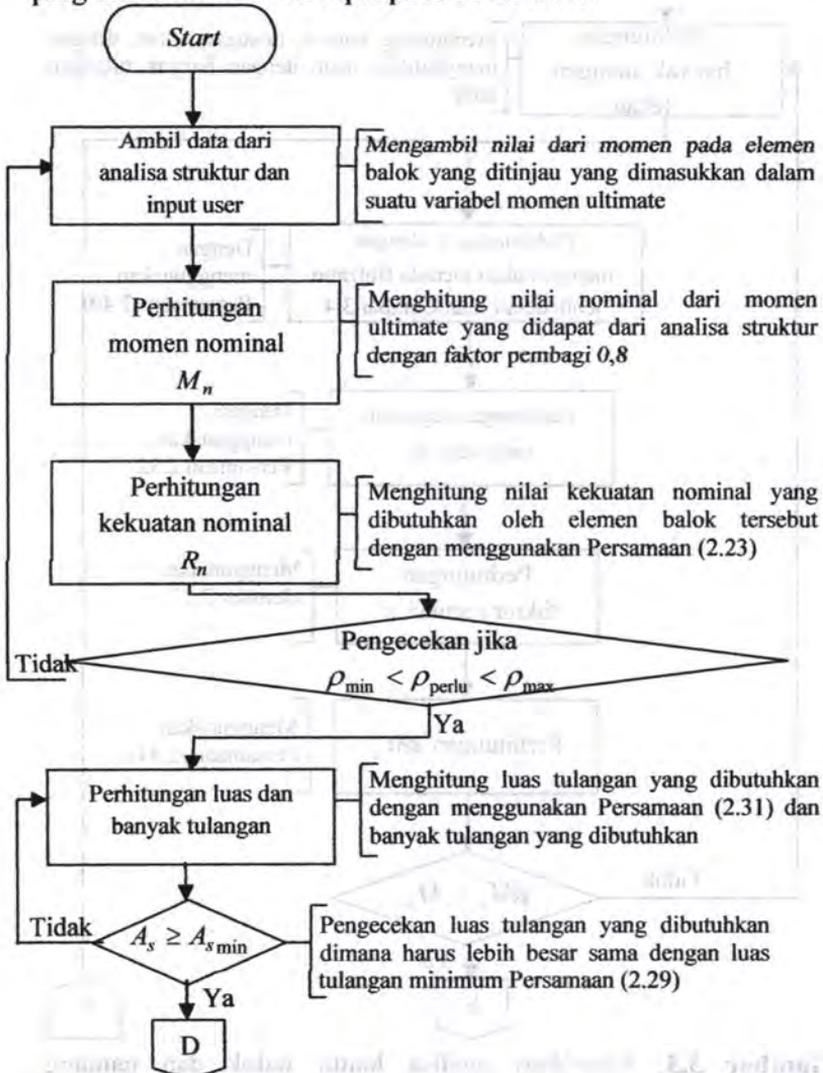
Gambar 3.2. Flowchart analisa struktur program SFAP



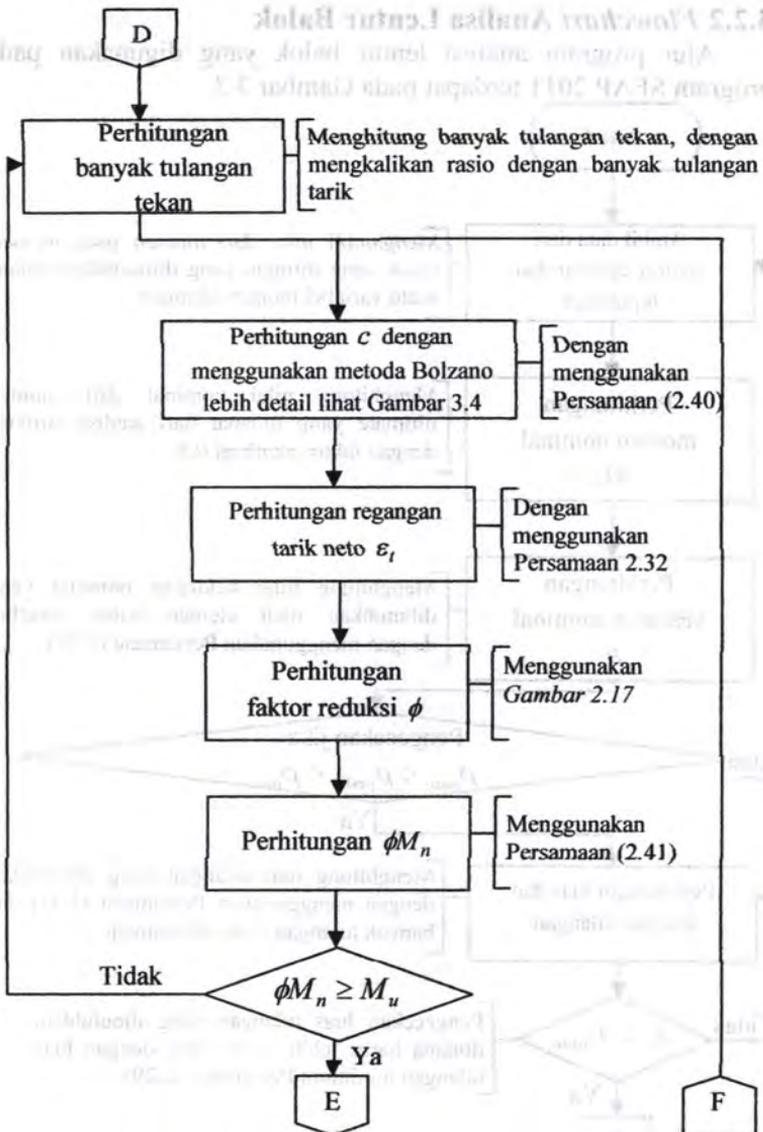
**Gambar 3.2.** Lanjutan Flowchart analisa struktur program SFAP

### 3.2.2 Flowchart Analisa Lentur Balok

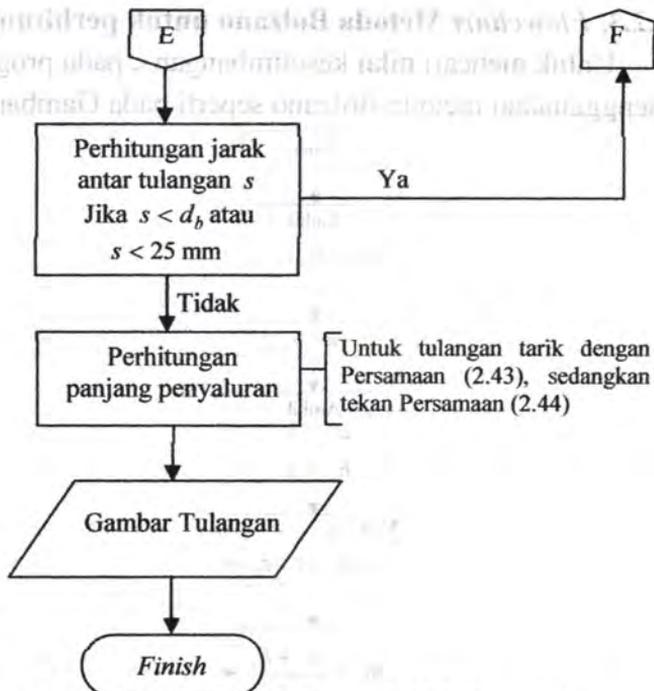
Alur program analisa lentur balok yang digunakan pada program SFAP 2011 terdapat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3.** Flowchart analisa lentur balok dan panjang penyaluran sampai dengan gambar tulangan program SFAP



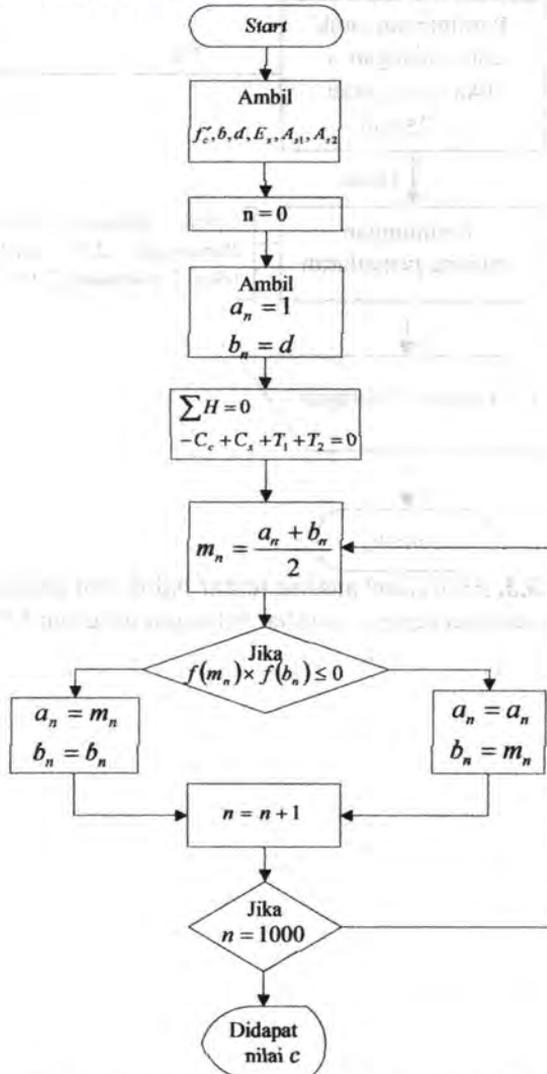
**Gambar 3.3.** Flowchart analisa lentur balok dan panjang penyaluran sampai dengan gambar tulangan program SFAP



**Gambar 3.3.** Flowchart analisa lentur balok dan panjang penyaluran sampai dengan gambar tulangan program SFAP

### 3.2.3. Flowchart Metoda Bolzano untuk perhitungan $c$

Untuk mencari nilai kesetimbangan  $c$  pada program ini menggunakan metoda Bolzano seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Flowchart metoda Bolzano untuk mencari  $c$

### 3.3 Membuat Program dengan Visual Basic 6.0

Langkah awal yang dilakukan pada tahap ini adalah mempelajari dasar-dasar pemrograman dengan Visual Basic 6.0. Setelah mempelajari bahasa pemrograman ini, kemudian dilanjutkan dengan membuat *listing* program sederhana untuk memecahkan masalah analisa struktur hingga menampilkan gambar pemasangan tulangan lentur beserta jarak-jaraknya secara 2D. Secara umum langkah-langkahnya dirangkum sebagai berikut:

1. Membuat *listing* program untuk penyelesaian masalah analisa struktur.
2. Membuat *listing* program untuk penyelesaian analisa lentur elemen balok dan panjang penyaluran.
3. Membuat rencana *desain interface*.
4. Pengecekan kelengkapan menu untuk proses *input* sampai *output* berupa tabel dan gambar.
5. Melakukan *running program* untuk pengecekan apakah ketika di-*compile* semua *listing* sudah benar.
6. Melakukan verifikasi, untuk program analisa struktur verifikasi dilakukan dengan program SAP 2000 dan perhitungan manual, sedangkan untuk analisa lentur diverifikasi dengan hitungan manual.

*Program ini telah dibuat dan dijalankan untuk running program dengan menggunakan notebook dengan spesifikasi :*

- Toshiba L510
- Windows 7 Home Premium
- Intel Core 2 Duo CPU T6600 2.20GHz
- Memory (RAM) 2.00 GB
- 32-bit Operating System

### 3.4 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur mengenai analisa struktur menggunakan *direct stiffness method*, analisa lentur balok beton bertulang dengan semua aturan-aturan yang digunakan di Indonesia. Literatur-literatur yang digunakan antara lain:

1. Cook, R.D.; Malkus, D.S.; Plesha, M.E.; dan Witt, R.J., "**Concepts and Applications of Finite Element Analysis**". John Wiley & Sons, Inc, Edisi ke-4, 2001, 736 halaman.
2. Dewobroto, W, "**Aplikasi Sains dan Teknik dengan Visual Basic 6.0**".PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 2003, 317 halaman.
3. Reddy, J.N., "**Solutions Manual for An Introduction to The Finite Element Method**", Mc-Graw Hill International Edition, New York, 2005, 423 halaman.
4. Liu, G.R.; dan Quek, S.S., "**The Finite Element Method: A Practical Course**", Butterworth Heinemann, 2003, 365 halaman.
5. Logan, D, "**A First Course in the Finite Element Method**", SDC Publication, Edisi ke-4, 2007, 818 halaman.
6. McCormac, J, "**Design of Reinforced Concrete**", John Wiley & Sons, Inc, Edisi ke-7, 2006, 717 halaman.
7. Nawy, E.G.; Tavio; dan Kusuma, B., "**Beton Bertulang Sebuah Pendekatan Mendasar Jilid 1**", ITS Press, Surabaya, 2010, 893 halaman.
8. Nilson, A.H.; Darwin, D.; dan Dolan, C.W., "**Design of Concrete Structures**", The McGraw-Hill Companies, Edisi ke-13, 2004, 783 halaman.
9. Purwono, R.; Tavio; Imran, I.; dan Raka, I.G.P., "**Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002)**", ITS Press, Surabaya, 2007, 408 halaman.
10. Weaver, W. dan Gere, J.M., "**Analisa Matriks untuk Struktur Rangka**", Erlangga, Jakarta, 2007, 428 halaman.

## BAB 4

### PROSEDUR PROGRAM

#### 4.1. Umum

Program bantu untuk menganalisa struktur sampai dengan menentukan banyaknya tulangan yang digunakan pada tiap-tiap elemen. Pada elemen balok, penulangan didasarkan pada analisa lentur dan torsi. Sedangkan pada elemen kolom, penulangan didasarkan pada analisa lentur dan geser. Program analisa struktur ini diberi nama SFAP (*Space Frame Analysis Program*).

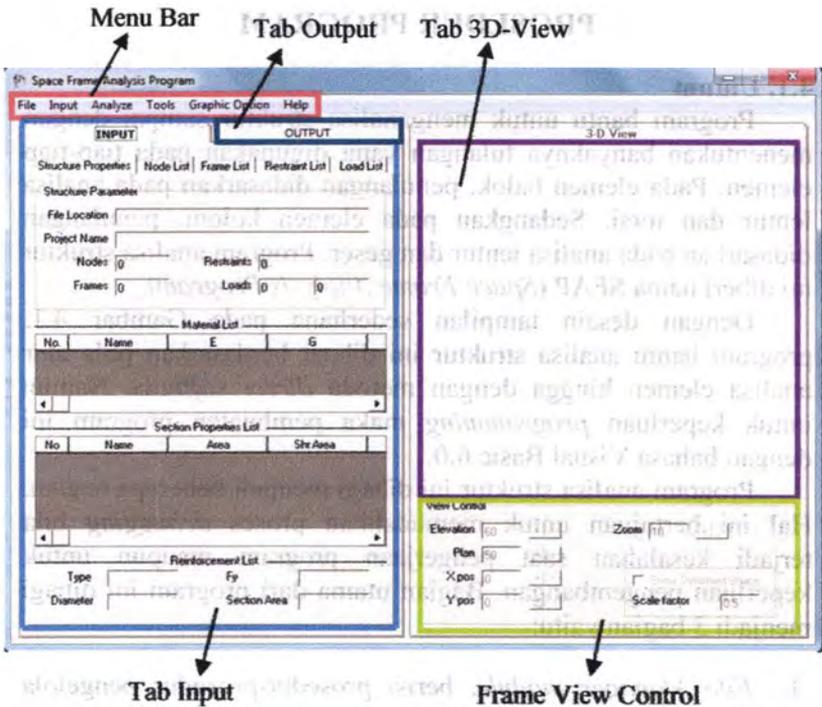
Dengan desain tampilan sederhana pada Gambar 4.1, program bantu analisa struktur ini dibuat berdasarkan pola alur analisa elemen hingga dengan metoda *direct stiffness*. Namun untuk keperluan *programming* maka pembuatan program ini dengan bahasa Visual Basic 6.0.

Program analisa struktur ini dibagi menjadi beberapa bagian. Hal ini bertujuan untuk memudahkan proses *debugging* bila terjadi kesalahan saat pengerjaan program maupun untuk keperluan pengembangan. Bagian utama dari program ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu:

1. *File Manager module*, berisi prosedur-prosedur pengelola *file*, *input* dan *output* data, pengatur format tabel dan *form*.
2. *Direct Stiffness module*, berisi kode-kode untuk analisa data input yang diberikan oleh *File Manager*.
3. *3D Drawing module*, berisi kode-kode untuk *plotting 3D* model struktur yang dianalisa.

#### 4.2. Komponen Program

Sebelum menggunakan SFAP, sebaiknya terlebih dahulu mengenal bagian-bagian programnya. Setelah program dibuka, akan muncul tampilan jendela utama SFAP seperti Gambar 4.1.



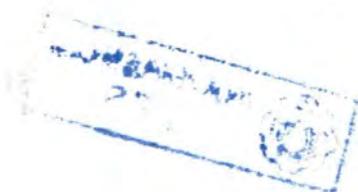
**Gambar 4.1.** Tampilan jendela utama SFAP

### 1. Menu Bar

Terdiri dari enam menu utama, Gambar 4.2, yang terdiri dari File, Input, Analyze, Tools, GraphicOption, Help. Dimana masing-masing berisikan sub-menu yaitu:

File Input Analyze Tools Graphic Option Help

**Gambar 4.2.** Komponen-komponen menu bar



➤ **File**

Terdiri dari *New* (bila ingin membuat *project* baru), *Open* (bila ingin membuka dari file *project* yang telah ada), *Export to Microsoft Excel* (bila ingin mengekspor *project* dari SFAP menuju perhitungan *Excel*), *Exit* (untuk keluar dari SFAP)

➤ **Input**

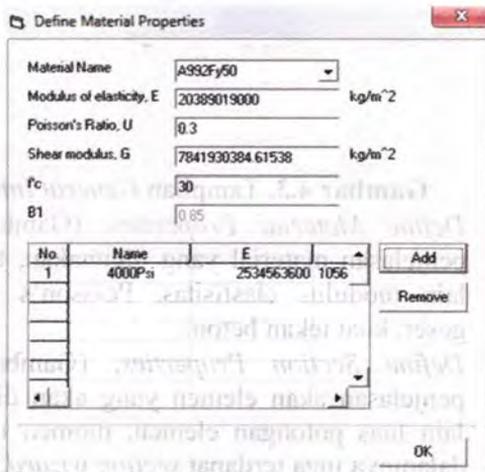
Merupakan suatu menu yang sangat kompleks, terdiri dari beberapa sub-menu yaitu:

- *General Information*, (Gambar 4.3), berisi identifikasi awal proyek berupa nama dan satuan yang digunakan.

**Gambar 4.3.** Tampilan *General Information*

- *Define Material Properties*, (Gambar 4.4), berisi penjelasan material yang digunakan, termasuk antara lain modulus elastisitas, Poisson's ratio, modulus geser, kuat tekan beton.
- *Define Section Properties*, (Gambar 4.5), berisi penjelasan akan elemen yang akan digunakan antara lain luas potongan elemen, momen inersia, torsi, di dalamnya juga terdapat *section wizard*.
- *Assign Reinforcement List*, berisi penjelasan akan tulangan yang digunakan dalam analisa elemennya termasuk dimensi tulangan dan kekuatan leleh tulangan.
- *Nodal Coordinates*, (Gambar 4.6), berisi penginputan koordinat titik-titik nodal pada arah  $x$ ,  $y$  dan  $z$ .

- *Frame Properties*, (Gambar 4.7), berisi penginputan jenis *frame* yang akan digunakan untuk menghubungkan antara dua titik nodal.
- *Assign Joint Restraint*, (Gambar 4.8), berisi penginputan jenis perletakan yang akan digunakan pada tiap titik nodal.
- *Assign Joint Loads*, (Gambar 4.9), berisi penginputan beban terpusat maupun momen pada titik-titik nodal baik pada arah  $x$ ,  $y$  dan  $z$ .
- *Distributed Frame Loads*, (Gambar 4.10), berisi penginputan beban merata pada elemen baik  $x$ ,  $y$  dan  $z$ .



**Gambar 4.4.** Tampilan *Define Material Properties*



Define Section Properties

Section Name: BALOK Section Wizard

Cross Section Area: 0.12 m<sup>2</sup>

Shear Area: 0.10000003973643 m<sup>2</sup>

Torsional Constant: 1.94385080995278E-03

Moment of Inertia about 2-axis: 9.00000120699412E-04 m<sup>4</sup>

Moment of Inertia about 3-axis: 1.60000013510387E-03 m<sup>4</sup>

Use Material: 4000Psi

No	Name	Area	I
1	FSec 1	0.15	1.1250
2	FSec 2	0.19634954375	0.1

Buttons: Add, Remove, OK

Gambar 4.5. Tampilan *Define Section Properties*

Input Nodal Coordinates

Label 7

X: 0 m

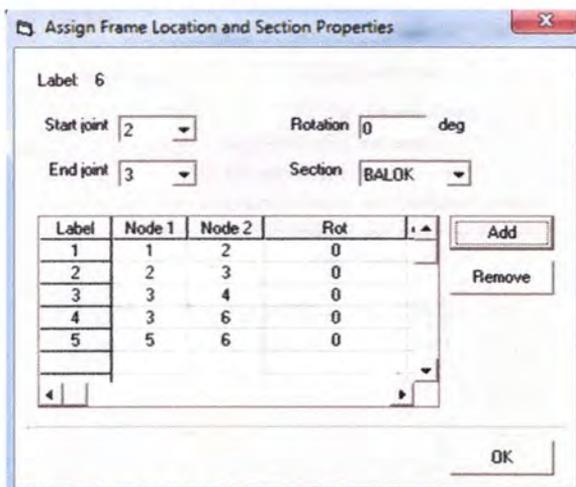
Y: 0 m

Z: 0 m

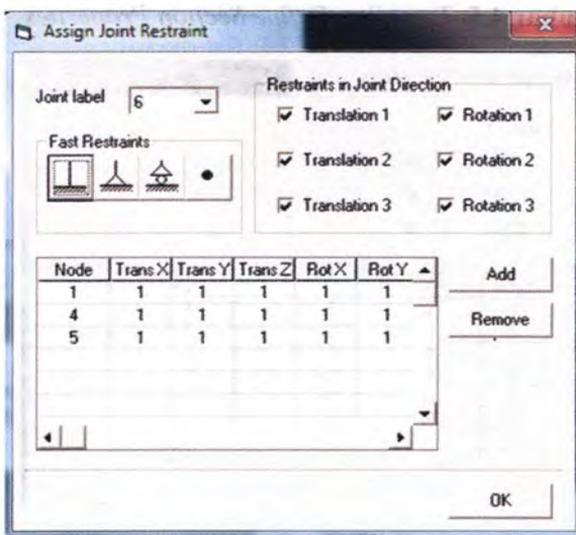
Label	X	Y	Z
1	0	0	0
2	0	5	0
3	5	5	0
4	5	0	0
5	10	0	0
6	10	5	0

Buttons: Add, Remove, OK

Gambar 4.6. Tampilan *Nodal Coordinates*



**Gambar 4.7.** Tampilan *Frame Properties*



**Gambar 4.8.** Tampilan *Assign Joint Restraint*

Assign Joint Load

Joint label: 2

Force Global X: 0 kg    Moment About Global X: 5000 kgm

Force Global Y: 5000 kg    Moment About Global Y: 0 kgm

Force Global Z: 0 kg    Moment About Global Z: 0 kgm

Node	P-X	P-Y	P-Z	
				▲
				▼

Add

Remove

OK

**Gambar 4.9.** Tampilan *Assign Joint Loads*

Assign Frame Distributed Load

Frame label: 5

Force Global X: 5000 kg/m

Force Global Y: 0 kg/m

Force Global Z: 0 kg/m

Node	Q-X	Q-Y	Q-Z	
2	0	-5000	0	▲
4	0	-10000	0	▼

Add

Remove

OK

**Gambar 4.10.** Tampilan *Distributed Frame Loads*

➤ Analyze

Merupakan menu bar yang terdiri dari tiga komponen penting. Digunakan untuk proses *run analysis*, antara lain *run structure analysis*, *run beam analysis*, *run column analysis*.

➤ Tools

Terdiri dari lima sub-menu yaitu *local force diagram*, *local stiffness matrix*, *global stiffness matrix*, *transformation matrix*, *editor*. *Local force diagram*, Gambar 4.11, menampilkan gaya-gaya dalam tiap elemen antara lain *shear*, *moment*, *aksial*, *torsion* dalam bentuk gambar dua dimensi. *Local stiffness matrix* menampilkan matriks kekakuan lokal pada tiap-tiap elemen. Sedangkan *Global stiffness matrix* menampilkan matriks kekakuan global pada keseluruhan proyek. *Transformation matrix* menampilkan matriks transformasi tiap-tiap elemen. *Editor* menampilkan bentuk *file save* dari semua data yang diinputkan.

➤ GraphicOption

Merupakan menu bar yang digunakan untuk menampilkan beberapa keterangan dari tampilan gambar tiga dimensi. *GraphicOption* memiliki empat sub-menu antara lain *Show Joint Label*, *Show Joint Coordinates*, *Show Joint Loads*, *Show Frame Loads*.

➤ Help

Berisi panduan bagi pengguna program SFAP.



**Gambar 4.11.** Tampilan *Local Force Diagram*

## 2. Tabulasi Input

Dalam tabulasi ini ditampilkan semua data yang telah diinput sebelumnya oleh *user*. Seperti pada Gambar 4.12, dimana di dalam tabulasi ini terdapat lima tabulasi kecil, antara lain *Structure Properties*, *Node List*, *Frame List*, *Restraint List*, *Load List*.

*Structure Properties* menginformasikan nama serta material penyusun dari setiap elemen. *Node List* menampilkan informasi letak titik-titik koordinat dalam sumbu  $x$ ,  $y$  dan  $z$  yang sebelumnya diinputkan dalam *input nodal coordinate*.

*Frame List* menampilkan indeks dan panjang dari setiap elemen. *Restraint List* menampilkan jenis perletakan pada setiap titik nodal, dimana hal ini dibutuhkan dalam *boundary condition*. *Load list* menampilkan semua beban yang membebani struktur baik beban terpusat maupun terbagi rata sepanjang bentang elemen.

INPUT		OUTPUT	
Structure Properties		Node List	Frame List
		Restraint List	Load List
Structure Parameter			
File Location	C:\Users\TOSHIBA\Documents\PORTAL14MEI201		
Project Name	14mei2011		
Nodes	6	Restraints	3
Frames	5	Loads	0   2
Material List			
No.	Name	E	G
1	4000Psi	2534563600	1056068166.668666
<input type="text"/>			
Section Properties List			
No	Name	Area	Shr Area
1	BALOK	0.15	1.125000004967054 500
2	KOLOM	0.25	1.2083333333333333 833
<input type="text"/>			
Reinforcement List			
Type	D-3	Fy	400
Diameter	15	Section Area	176.7145867E

**Gambar 4.12. Tampilan Tabulasi Input**

### 3. Tabulasi *Output*

Dalam tabulasi ini menampilkan hasil dari analisa struktur. Seperti dengan program bantu SAP, *output* dari proses analisa struktur ini antara lain *displacement*, reaksi-reaksi pada perletakan serta gaya-gaya pada tiap elemen. *Displacement* yang dihasilkan berupa translasi dan rotasi dalam arah  $x, y$  dan  $z$ . Sedangkan reaksi pada perletakan dan tiap elemen berupa gaya dalam serta momen dalam arah  $x, y$  dan  $z$ . Pada *support reaction* yang ditampilkan adalah titik-titik nodal yang berada pada perletakan, sedangkan *element forces* yang ditampilkan adalah setiap elemennya.

INPUT		OUTPUT	
Node Displacement	Support Reaction	Element Forces	
Node	Trans X	Trans Y	
1	0	0	
2	0.00006529749	-0.00002639169	
3	0	0	
4	0.00048507336	-0.00002575328	
5	0	0	
6	0.00005560305	-0.00002686275	
7	0	0	
8	0.00047223011	-0.00002750116	

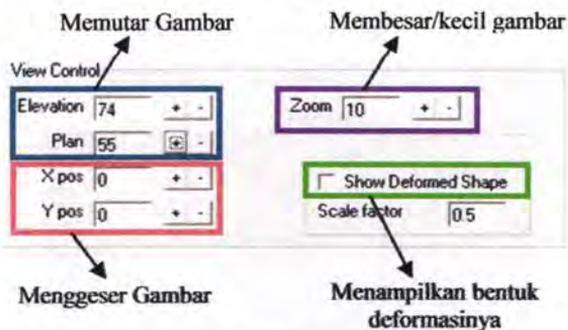
**Gambar 4.13.** Tampilan tabulasi *output*

#### 4. Tabulasi 3D

Bentuk tabulasi kosong dimana akan menampilkan bentuk struktur yang diinginkan. Gambar yang dihasilkan dapat dilengkapi dengan berbagai unsurnya seperti informasi nomor titik nodal, nomor elemen, beban yang bekerja. Semua gambar yang ditampilkan dalam bentuk tiga dimensi dengan layar *background* hitam sehingga tampilan terlihat jelas.

#### 5. Frame View Control

Bagian yang tidak dapat dipisahkan dari tabulasi 3D. Dimana *Frame View Control* merupakan pengatur tampilan gambar, sehingga gambar dapat diputar arah  $x, y$ , digeser ke kanan dan kiri, diperbesar dan diperkecil. Serta dapat menampilkan bentuk deformasi struktur. Gambar 4.14 menampilkan pengaturan pada *View Control*.



**Gambar 4.14.** Tampilan *View Control*

#### 4.3. Pengoperasian program

*Software SFAP* merupakan program bantu untuk teknik sipil. Suatu *software* analisa struktur yang dilengkapi dengan perhitungan penulangan untuk balok dan kolom sesuai dengan peraturan yang berlaku saat ini yaitu berdasarkan SNI 2847-2002 dan ACI 318-05. Dalam pengoperasian *software* ini ada beberapa tahapan utama yang harus dilakukan yaitu:

#### 4.3.1. Proses *Input*

Ketika masuk jendela utama dalam *software* SFAP, lakukan semua proses input data pada bagian menu bar *Input*. Dalam melakukan proses input, *user* hendaknya melakukan secara berurutan tanpa melewatkan salah satu bagian inputan.

Pertama, *General Information*, masukkan nama *project* serta satuan yang diinginkan. Pada *software* ini satuan masih umum yaitu menggunakan metrik (kilogram, meter)

Kedua, *Define Material Properties*, masukkan nama material, modulus elastisitas, poisson rasio, modulus geser yang diinginkan. Jika ingin mengambil dari material yang telah disediakan hanya perlu klik pada material yang diinginkan, dimana material yang tersedia adalah *4000Psi* dan *A992Fy50*, kemudian klik pada *button Add*.

Ketiga, *Define Section Properties*, masukkan nama elemen, kemudian klik pada *button Section Wizard*, sehingga *user* hanya perlu memasukkan ukuran dari elemen dan material yang digunakan pada elemen tersebut.

Keempat, *Assign Reinforcement List*, masukkan diameter tulangan dan kuat leleh tulangan ( $f_y$ ). Dimana untuk balok dan kolom dapat memiliki diameter yang berbeda.

Kelima, masukkan koordinat seluruh titik nodal pada *Nodal Coordinates*. Kemudian untuk menghubungkan antara titik-titik nodal tersebut dibutuhkan *frame* atau elemen. masukkan seluruh elemen yang digunakan serta jenis elemen yang digunakan pada *Frame Properties*. Untuk mengatur perletakkan, *user* perlu memasukkan pada *Assign Joint Restraint*.

Keenam, masukkan semua beban baik beban terpusat pada *Assign Joint Loads* serta beban merata pada *Distributed Frame Loads*.

#### 4.3.2. Proses *Running*

Setelah semua proses *input* selesai, maka *user* dapat memulai proses *running* program. Proses ini terdiri dari tiga bagian yaitu *Run Analysis*, *Run Beam Analysis* dan *Run Column Analysis*. Namun *Run Beam Analysis* dan *Run Column Analysis* dapat berjalan setelah *user* melakukan *Run Analysis*.

Hasil *output* dari proses *Run Analysis* adalah berupa *displacement* dari seluruh titik nodal serta elemen, gaya serta momen yang diterima oleh seluruh titik nodal dan elemen. Dimana semua *output* dari proses ini terdapat dalam tabulasi *output*, seperti yang dijelaskan dalam poin 4.2.

Hasil *output* dari proses *Run Beam Analysis* adalah berupa jumlah dan gambar tulangan yang dibutuhkan dilengkapi dengan keterangan jarak antar tulangan yang digunakan serta nilai momen *ultimate* dan momen nominal penampang yang digunakan.

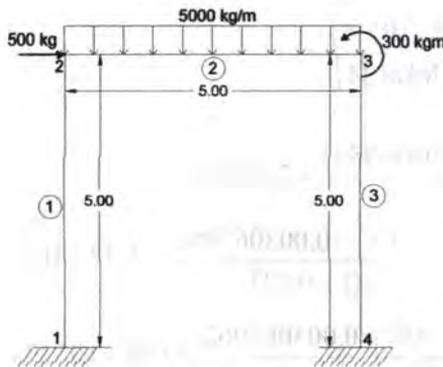
## BAB 5

### STUDI KASUS

Untuk mengetahui kebenaran dan ketelitian program bantu analisa struktur ini dalam melakukan proses perhitungan, maka diperlukan uji perbandingan *output* program terhadap perhitungan manual dan program bantu professional lain seperti SAP2000 v.14.

#### 5.1. Kasus 1 – *Plane Frame 1*

Diambil contoh sederhana *plane frame* ini disebabkan agar perhitungan juga dapat dibandingkan dengan perhitungan manual dengan bantuan *Microsoft Excel* serta bentuk *plane frame* ini memiliki dua bentuk elemen yaitu balok dan kolom. Dimana pada kasus 1 ini struktur dikenakan beban aksial, vertikal dan momen serta pengaruh geser diperhitungkan.



**Gambar 5.1.** Kasus 1 – *Plane Frame*

Diketahui:

Modulus *Young*,  $E$  =  $2 \times 10^9$  kg/m<sup>2</sup>

*Poisson Ratio*,  $\nu$  = 0,2

Dimensi balok = 300 × 500 mm

Dimensi kolom = 500 mm (diameter)

Diameter tulangan longitudinal dan geser =  $D-19$  dan  $\emptyset 10$

Kuat leleh tulangan,  $f_y$  = 400 MPa

Decking = 40mm

### 5.1.1. Perhitungan manual

- Perhitungan analisa struktur

Elemen 1

Pada elemen 1, sudut antara sumbu global struktur  $X$  dan sumbu lokal elemen  $x$  adalah  $90^\circ$ , sehingga:

Matriks transformasi  $[R]$ :

$$[R] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan lokal  $[k]$ :

Dimana:

$$\frac{EA}{L} = \frac{2 \times 10^9 \times 0,196349541}{5} = 7,85 \times 10^7$$

$$\frac{12EI}{L^3(1 + \Phi_y)} = \frac{12 \times 2 \times 10^9 \times 0,003067962}{5^3 \times (1 + 0,02)} = 5,77 \times 10^5$$

$$\frac{6EI}{L^2(1 + \Phi)} = \frac{6 \times 2 \times 10^9 \times 0,003067962}{5^2 \times (1 + 0,02)} = 1,44 \times 10^6$$

$$\frac{(4 + \Phi_y)EI}{L(1 + \Phi_y)} = \frac{(4 + 0,02) \times 2 \times 10^9 \times 0,003067962}{5 \times (1 + 0,02)} = 4,84 \times 10^6$$

$$\frac{(2 - \Phi_y)EI}{L(1 + \Phi_y)} = \frac{(2 - 0,02) \times 2 \times 10^9 \times 0,003067962}{5 \times (1 + 0,02)} = 2,38 \times 10^6$$

$$[k] = \begin{bmatrix} 78539816,34 & 0 & 0 & -78539816,34 & 0 & 0 \\ 0 & 577498,65 & 1443746,62 & 0 & -577498,65 & 1443746,62 \\ 0 & 1443746,62 & 4836551,19 & 0 & -1443746,62 & 2382181,93 \\ -78539816,34 & 0 & 0 & 78539816,34 & 0 & 0 \\ 0 & -577498,65 & -1443746,62 & 0 & 577498,65 & -1443746,62 \\ 0 & 1443746,62 & 2382181,93 & 0 & -1443746,62 & 4836551,19 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan global  $[K] = [R]^T [k] [R]$

$$[K] = \begin{bmatrix} 577498,65 & 0 & -1443746,62 & -577498,65 & 0 & -1443746,62 \\ 0 & 78539816,34 & 0 & 0 & -78539816,34 & 0 \\ -1443746,62 & 0 & 4836551,19 & 1443746,62 & 0 & 2382181,93 \\ -577498,65 & 0 & 1443746,62 & 577498,65 & 0 & 1443746,62 \\ 0 & -78539816,34 & 0 & 0 & 78539816,34 & 0 \\ -1443746,62 & 0 & 2382181,93 & 1443746,62 & 0 & 4836551,19 \end{bmatrix}$$

**Elemen 2**

Pada elemen 2, sudut antara sumbu global struktur  $X$  dan sumbu lokal elemen  $x$  adalah  $0^\circ$ , sehingga:

Matriks transformasi  $[R]$ :

$$[R] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan lokal  $[k]$ :

Dimana:

$$\frac{EA}{L} = \frac{2 \times 10^9 \times 0,15}{5} = 600000000$$

$$\frac{12EI}{L^3(1+\Phi_y)} = \frac{12 \times 2 \times 10^9 \times 0,003125}{5^3 \times (1+0,0288)} = 583203,75$$

$$\frac{6EI}{L^2(1+\Phi)} = \frac{6 \times 2 \times 10^9 \times 0,003125}{5^2 \times (1+0,0288)} = 1458009,38$$

$$\frac{(4+\Phi_y)EI}{L(1+\Phi_y)} = \frac{(4+0,0288) \times 2 \times 10^9 \times 0,003125}{5 \times (1+0,0288)} = 4895023,49$$

$$\frac{(2-\Phi_y)EI}{L(1+\Phi_y)} = \frac{(2-0,0288) \times 2 \times 10^9 \times 0,003125}{5 \times (1+0,0288)} = 2395023,41$$

$$[k] = \begin{bmatrix} 60000000 & 0 & 0 & -60000000 & 0 & 0 \\ 0 & 583203,75 & 1458009,38 & 0 & -583203,75 & 1458009,38 \\ 0 & 1458009,38 & 4895023,49 & 0 & -1458009,38 & 2395023,41 \\ -60000000 & 0 & 0 & 60000000 & 0 & 0 \\ 0 & -583203,75 & -1458009,38 & 0 & 583203,75 & -1458009,38 \\ 0 & 1458009,38 & 2395023,41 & 0 & -1458009,38 & 4895023,49 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan global  $[K] = [R]^T [k] [R]$

$$[K] = \begin{bmatrix} 60000000 & 0 & 0 & -60000000 & 0 & 0 \\ 0 & 583203,75 & 1458009,38 & 0 & -583203,75 & 1458009,38 \\ 0 & 1458009,38 & 4895023,49 & 0 & -1458009,38 & 2395023,41 \\ -60000000 & 0 & 0 & 60000000 & 0 & 0 \\ 0 & -583203,75 & -1458009,38 & 0 & 583203,75 & -1458009,38 \\ 0 & 1458009,38 & 2395023,41 & 0 & -1458009,38 & 4895023,49 \end{bmatrix}$$

**Elemen 3**

Pada elemen 3, sudut antara sumbu global struktur  $X$  dan sumbu lokal elemen  $x$  adalah  $270^0$ , sehingga:

Matriks transformasi  $[R]$ :

$$[R] = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan lokal  $[k]$ :

Dimana:

$$\frac{EA}{L} = \frac{2 \times 10^9 \times 0,196349541}{5} = 78539816,34$$

$$\frac{12EI}{L^3(1+\Phi_y)} = \frac{12 \times 2 \times 10^9 \times 0,003067962}{5^3 \times (1+0,02)} = 577498,65$$

$$\frac{6EI}{L^2(1+\Phi)} = \frac{6 \times 2 \times 10^9 \times 0,003067962}{5^2 \times (1+0,02)} = 1443746,62$$

$$\frac{(4+\Phi_y)EI}{L(1+\Phi_y)} = \frac{(4+0,02) \times 2 \times 10^9 \times 0,003067962}{5 \times (1+0,02)} = 4836551,19$$

$$\frac{(2-\Phi_y)EI}{L(1+\Phi_y)} = \frac{(2-0,02) \times 2 \times 10^9 \times 0,003067962}{5 \times (1+0,02)} = 2382181,93$$

$$[k] = \begin{bmatrix} 78539816,34 & 0 & 0 & -78539816,34 & 0 & 0 \\ 0 & 577498,65 & 1443746,62 & 0 & -577498,65 & 1443746,62 \\ 0 & 1443746,62 & 4836551,19 & 0 & -1443746,62 & 2382181,93 \\ -78539816,34 & 0 & 0 & 78539816,34 & 0 & 0 \\ 0 & -577498,65 & -1443746,62 & 0 & 577498,65 & -1443746,62 \\ 0 & 1443746,62 & 2382181,93 & 0 & -1443746,62 & 4836551,19 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan global  $[K] = [R]^T [k] [R]$

$$[K] = \begin{bmatrix} 577498,65 & 0 & 1443746,62 & -577498,65 & 0 & 1443746,62 \\ 0 & 78539816,34 & 0 & 0 & -78539816,34 & 0 \\ 1443746,62 & 0 & 4836551,19 & -1443746,62 & 0 & 2382181,93 \\ -577498,65 & 0 & -1443746,62 & 577498,65 & 0 & -1443746,62 \\ 0 & -78539816,34 & 0 & 0 & 78539816,34 & 0 \\ 1443746,62 & 0 & 2382181,93 & -1443746,62 & 0 & 4836551,19 \end{bmatrix}$$

Setelah dilakukan *boundary condition*, dan penggabungan matriks ketiga elemen tersebut maka dihasilkan  $[K_S]$  sebagai berikut:

$$[K_S] = \begin{bmatrix} 60577498,65 & 0 & 1443746,62 & -60000000 & 0 & 0 \\ 0 & 79123020,09 & 1458009,38 & 0 & -583203,75 & 1458009,38 \\ 1443746,62 & 1458009,38 & 9731574,68 & 0 & -1458009,38 & 2395023,41 \\ -60000000 & 0 & 0 & 60577498,65 & 0 & 1443746,62 \\ 0 & -583203,75 & -1458009,38 & 0 & 79123020,09 & -1458009,38 \\ 0 & 1458009,38 & 2395023,41 & 1443746,62 & -1458009,38 & 9731574,68 \end{bmatrix}$$

Matriks displacement global didapat dari  $\{U\} = [K_S]^{-1}\{P\}$  yaitu:

$$\begin{Bmatrix} d_{2x} \\ d_{2y} \\ \phi_2 \\ d_{3x} \\ d_{3y} \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 60577498,65 & 0 & 1443746,62 & -60000000 & 0 & 0 \\ 0 & 79123020,09 & 1458009,38 & 0 & -583203,75 & 1458009,38 \\ 1443746,62 & 1458009,38 & 9731574,68 & 0 & -1458009,38 & 2395023,41 \\ -60000000 & 0 & 0 & 60577498,65 & 0 & 1443746,62 \\ 0 & -583203,75 & -1458009,38 & 0 & 79123020,09 & -1458009,38 \\ 0 & 1458009,38 & 2395023,41 & 1443746,62 & -1458009,38 & 9731574,68 \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} 500 \\ -12500 \\ -10416,7 \\ 0 \\ -12500 \\ 10716,7 \end{Bmatrix}$$

Penyelesaian persamaan menghasilkan *displacement* global:

$$\begin{Bmatrix} d_{2x} \\ d_{2y} \\ \phi_2 \\ d_{3x} \\ d_{3y} \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0,00059 \\ -0,00016 \\ -0,0015 \\ 0,00055 \\ -0,00016 \\ 0,0014 \end{Bmatrix}$$

Sehingga didapatkan pada reaksi perletakan:

$$\begin{Bmatrix} F_{X1} \\ F_{Y1} \\ M_{Z1} \\ F_{X4} \\ F_{Y4} \\ M_{Z4} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1823,7 \\ 12337,7 \\ -2717,8 \\ -2323,7 \\ 12662,3 \\ 4106,4 \end{Bmatrix}$$

Sedangkan pada tiap elemennya sebagai berikut:

Elemen 1	Elemen 2	Elemen 3
$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ m_{z1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 12337,7 \\ -1823,7 \\ -2717,8 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} f_{x2} \\ f_{y2} \\ m_{z2} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 2323,7 \\ 12337,7 \\ 6400,8 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} f_{x3} \\ f_{y3} \\ m_{z3} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 12662,3 \\ 2323,7 \\ 7512,1 \end{Bmatrix}$
$\begin{Bmatrix} f_{x2} \\ f_{y2} \\ m_{z2} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -12337,7 \\ 1823,7 \\ -6400,8 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} f_{x3} \\ f_{y3} \\ m_{z3} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -2323,7 \\ 12662,3 \\ -7212,1 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} f_{x4} \\ f_{y4} \\ m_{z4} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -12662,3 \\ -2323,7 \\ 4106,4 \end{Bmatrix}$

- Perhitungan analisa balok lentur

Case 1:

Apabila *user* menginginkan menggunakan tulangan ganda maka perhitungan tulangan pada elemen 2 adalah :

➤ Ujung tepi kiri :

$$M_u = 4,51 \times 10^7 \text{ N mm}$$

$$M_n = 5,64 \times 10^7 \text{ N mm}$$

$$d = 500 - 50 - \frac{19}{2} = 440,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{5,64 \times 10^7}{300 \times 440,5^2} = 1,05 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 17,4} = 27,04$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0028$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,014$$

Gunakan  $\rho = 0,0035$  maka  $A_{s \text{ perlu}} = 462,525 \text{ mm}^2$

maka tulangan tarik yang digunakan 2 D19

Asumsi *user* memberi input pada rasio sebesar 0,5 maka banyaknya tulangan tekan yang dibutuhkan sebanyak satu buah, namun dalam peraturan banyak tulangan tidak boleh satu maka menjadi 2 D19.

Dengan proses iterasi pada kesetimbangan gaya didapatkan :

$$c = 53,771 \text{ mm}$$

$$\sum H = 0$$

$$-C_c + A'_s f'_s + A_s f_s$$

$$\begin{aligned}
 & -\left(0,85 \times f'_c \times b \times a\right) + \left(2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times f'_s\right) + \left(2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times f_s\right) \\
 & -\left(0,85 \times 17,4 \times 300 \times 45,705\right) + \left(567,0575 \times -42,0784\right) + \left(567,0575 \times 400\right) \\
 \sum H & = 0 \text{ (terbukti)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n & = C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_s \left( d - \frac{h}{2} \right) \\
 & = 202961,116 \left( \frac{500}{2} - \frac{45,705}{2} \right) + 23860,9 \left( \frac{500}{2} - 59,5 \right) + 226823 \left( 440,5 - \frac{500}{2} \right) \\
 & = 93.857.355
 \end{aligned}$$

Nilai  $\phi$  diambil dari Gambar 2.17 didapat 0,8 sehingga  
 $\phi M_n = 75.085.883 \text{ N mm} = 75,09 \text{ KN m}$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{300 - 100 - 2 \times 19}{1} = 162 \text{ mm}$$

$$s' = \frac{300 - 100 - 2 \times 19}{1} = 162 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran

$$\text{Tarik} = \frac{l_d}{d_b} = \frac{9 f_y}{10 \sqrt{f'_c}} \left( \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{c + K_{tr}} \right)$$

$$\frac{l_d}{19} = \frac{9 \times 400}{10 \times \sqrt{17,4}} \left( \frac{1 \times 1 \times 0,8 \times 1}{\left( \frac{53,771 + 70}{19} \right)} \right)$$

$$l_d = 201,4 \text{ mm}$$

$$\text{Tekan} = \begin{cases} l_d = \frac{d_b f_y}{4 \sqrt{f'_c}} = \frac{19 \times 400}{4 \times \sqrt{17,4}} = 455,5 \text{ mm (menentukan)} \\ l_d = 0,04 d_b f_y = 0,04 \times 19 \times 400 = 304 \text{ mm} \end{cases}$$

➤ Tengah bentang :

$$M_u = 8,64 \times 10^7 \text{ N mm}$$

$$M_n = 1,08 \times 10^8 \text{ N mm}$$

$$d = 500 - 50 - \frac{19}{2} = 440,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{1,08 \times 10^8}{300 \times 440,5^2} = 1,89 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 17,4} = 27,04$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,005$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,014$$

Gunakan  $\rho = 0,005$  maka  $A_{s,\text{perlu}} = 660,75 \text{ mm}^2$  maka tulangan tarik yang digunakan 3 D19

Asumsi *user* memberi input pada rasio sebesar 0,5 maka banyaknya tulangan tekan yang dibutuhkan 2 D19.

Dengan proses iterasi pada kesetimbangan gaya didapat

$$c = 67,134 \text{ mm}$$

$$\sum H = 0$$

$$-C_c + A'_s f'_s + A_s f_s$$

$$-(0,85 \times f'_c \times b \times a) + \left(2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times f'_s\right) + \left(2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times f_s\right)$$

$$-(0,85 \times 17,4 \times 300 \times 57,0639) + (567,0575 \times -153,133) + (850,59 \times 400)$$

$$\sum H = 0 \text{ (terbukti)}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_s \left( d - \frac{h}{2} \right) \\
 &= 253400,4 \left( \frac{500}{2} - \frac{57,06}{2} \right) + 86835 \left( \frac{500}{2} - 59,5 \right) + 340234,5 \left( 440,5 - \frac{500}{2} \right) \\
 &= 137.476.815
 \end{aligned}$$

Nilai  $\phi$  diambil dari Gambar 2.17 didapat 0,8 sehingga  
 $\phi M_n = 109.981.451,6 \text{ N mm} = 109,98 \text{ KN m}$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{300 - 100 - 3 \times 19}{2} = 71,5 \text{ mm}$$

$$s' = 300 - 100 - 2 \times 19 = 162 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran

$$\text{Tarik} = \frac{l_d}{d_b} = \frac{9 f_y}{10 \sqrt{f'_c}} \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{\left( \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right)}$$

$$\frac{l_d}{19} = \frac{9 \times 400}{10 \times \sqrt{17,4}} \frac{1 \times 1 \times 0,8 \times 1}{\left( \frac{53,771 + 158,62}{19} \right)}$$

$$l_d = 117,35 \text{ mm} = 120 \text{ mm}$$

$$\text{Tekan} = \begin{cases} l_d = \frac{d_b f_y}{4 \sqrt{f'_c}} = \frac{19 \times 400}{4 \times \sqrt{17,4}} = 455,5 \text{ mm (menentukan)} \\ l_d = 0,04 d_b f_y = 0,04 \times 19 \times 400 = 304 \text{ mm} \end{cases}$$

➤ Ujung tepi kanan :

$$M_u = 5,26 \times 10^7 \text{ N mm}$$

$$M_n = 6,58 \times 10^7 \text{ N mm}$$

$$d = 500 - 50 - \frac{19}{2} = 440,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{6,58 \times 10^7}{300 \times 440,5^2} = 1,22 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 17,4} = 27,04$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0032$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,014$$

Gunakan  $\rho = 0,0035$  maka  $A_{s\text{perlu}} = 462,525 \text{ mm}^2$  maka tulangan tarik yang digunakan 2 D19

Asumsi *user* memberi input pada rasio sebesar 0,5 maka banyaknya tulangan tekan yang dibutuhkan sebanyak satu buah, namun dalam peraturan banyak tulangan tidak boleh satu maka menjadi 2 D19.

Dengan proses iterasi pada kesetimbangan gaya didapatkan :

$$c = 53,771 \text{ mm}$$

$$\sum H = 0$$

$$-C_c + A'_s f'_s + A_s f_s$$

$$-(0,85 \times f'_c \times b \times a) + \left(2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times f'_s\right) + \left(2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times f_s\right)$$

$$-(0,85 \times 17,4 \times 300 \times 45,705) + (567,0575 \times -42,0784) + (567,0575 \times 400)$$

$$\sum H = 0 \text{ (terbukti)}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_s \left( d - \frac{h}{2} \right) \\
 &= 202961,116 \left( \frac{500}{2} - \frac{45,705}{2} \right) + 23860,9 \left( \frac{500}{2} - 59,5 \right) + 226823 \left( 440,5 - \frac{500}{2} \right) \\
 &= 93.857.355
 \end{aligned}$$

Nilai  $\phi$  diambil dari Gambar 2.17 didapat 0,8 sehingga  $\phi M_n = 75.085.883 \text{ N mm} = 75,09 \text{ KN m}$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{300 - 100 - 2 \times 19}{1} = 162 \text{ mm}$$

$$s' = \frac{300 - 100 - 2 \times 19}{1} = 162 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran

$$\text{Tarik} = \frac{l_d}{d_b} = \frac{9 f_y}{10 \sqrt{f'_c}} \left( \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{d_b} \right)$$

$$\frac{l_d}{19} = \frac{9 \times 400}{10 \times \sqrt{17,4}} \left( \frac{1 \times 1 \times 0,8 \times 1}{19} \right)$$

$$l_d = 201,4 \text{ mm}$$

$$\text{Tekan} = \begin{cases} l_d = \frac{d_b f_y}{4 \sqrt{f'_c}} = \frac{19 \times 400}{4 \times \sqrt{17,4}} = 455,5 \text{ mm (menentukan)} \\ l_d = 0,04 d_b f_y = 0,04 \times 19 \times 400 = 304 \text{ mm} \end{cases}$$

Case 2:

Apabila *user* tidak menginginkan adanya tulangan rangkap maka perhitungan menjadi:

➤ Ujung tepi kiri :

$$M_u = 4,51 \times 10^7 \text{ N mm}$$

$$M_n = 5,64 \times 10^7 \text{ N mm}$$

$$d = 500 - 50 - \frac{19}{2} = 440,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{5,64 \times 10^7}{300 \times 440,5^2} = 1,05 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 17,4} = 27,04$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0028$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,014$$

Gunakan  $\rho = 0,0035$  maka  $A_{s\text{perlu}} = 462,525 \text{ mm}^2$

maka tulangan tarik yang digunakan 2 D19

Dengan proses iterasi pada kesetimbangan gaya didapatkan :

$$c = 60,093 \text{ mm}$$

$$\sum H = 0$$

$$-C_c + A'_s f'_s + A_s f_s$$

$$-(0,85 \times f'_c \times b \times a) + \left(0 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times f'_s\right) + \left(2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times f_s\right)$$

$$-(0,85 \times 17,4 \times 300 \times 51,079) + (0 \times -100,774) + (567,0575 \times 400)$$

$$\sum H = 0 \text{ (terbukti)}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_s \left( d - \frac{h}{2} \right) \\
 &= 226823,8 \left( \frac{500}{2} - \frac{51,08}{2} \right) + 0 \left( \frac{500}{2} - 59,5 \right) + 226823,8 \left( 440,5 - \frac{500}{2} \right) \\
 &= 94.122.757
 \end{aligned}$$

Nilai  $\phi$  diambil dari Gambar 2.17 didapat 0,8 sehingga

$$\phi M_n = 94.122.757 \text{ N mm} = 75,30 \text{ KN m}$$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{300 - 100 - 2 \times 19}{1} = 162 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran

$$\text{Tarik} = \frac{l_d}{d_b} = \frac{9 f_y}{10 \sqrt{f'_c}} \left( \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{c + K_{tr}} \right)$$

$$\frac{l_d}{19} = \frac{9 \times 400}{10 \times \sqrt{17,4}} \left( \frac{1 \times 1 \times 0,8 \times 1}{\left( \frac{60,093 + 70}{19} \right)} \right)$$

$$l_d = 191,5 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$$

➤ Tengah bentang :

$$M_u = 8,64 \times 10^7 \text{ N mm}$$

$$M_n = 1,08 \times 10^8 \text{ N mm}$$

$$d = 500 - 50 - \frac{19}{2} = 440,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{1,08 \times 10^8}{300 \times 440,5^2} = 1,89 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 17,4} = 27,04$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,005$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0035$$

Gunakan  $\rho = 0,005$  maka  $A_{s\text{perlu}} = 660,75 \text{ mm}^2$  maka tulangan tarik yang digunakan 3 D19

Dengan proses iterasi pada kesetimbangan gaya didapatkan :

$$c = 90,14 \text{ mm}$$

$$\sum H = 0$$

$$-C_c + A'_s f'_s + A_s f_s$$

$$-(0,85 \times f'_c \times b \times a) + \left(0 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times f'_s\right) + \left(2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times f_s\right)$$

$$-(0,85 \times 17,4 \times 300 \times 76,619) + (0 \times -267,184) + (850,5862 \times 400)$$

$$\sum H = 0 \text{ (terbukti)}$$

$$M_n = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + A'_s f'_s \left(\frac{h}{2} - d'\right) + A_s f_s \left(d - \frac{h}{2}\right)$$

$$= 340237,6 \left(\frac{500}{2} - \frac{76,62}{2}\right) + 0 \left(\frac{500}{2} - 59,5\right) + 340234,5 \left(440,5 - \frac{500}{2}\right)$$

$$= 136.839.733$$

Nilai  $\phi$  diambil dari Gambar 2.17 didapat 0,8 sehingga

$$\phi M_n = 109.471.786 \text{ N mm} = 109,47 \text{ KN m}$$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{300 - 100 - 3 \times 19}{2} = 71,5 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran

$$\text{Tarik} = \frac{l_d}{d_b} = \frac{9f_y}{10\sqrt{f'_c}} \left( \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{d_b} \right)$$

$$\frac{l_d}{19} = \frac{9 \times 400}{10 \times \sqrt{17,4}} \left( \frac{1 \times 1 \times 0,8 \times 1}{19} \right)$$

$$l_d = 100 \text{ mm}$$

➤ Ujung tepi kanan :

$$M_u = 5,26 \times 10^7 \text{ N mm}$$

$$M_n = 6,58 \times 10^7 \text{ N mm}$$

$$d = 500 - 50 - \frac{19}{2} = 440,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{6,58 \times 10^7}{300 \times 440,5^2} = 1,22 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 17,4} = 27,04$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0032$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,014$$

Gunakan  $\rho = 0,0035$  maka  $A_{s,\text{perlu}} = 462,525 \text{ mm}^2$  maka tulangan tarik yang digunakan 2 D19

Dengan proses iterasi pada kesetimbangan gaya didapatkan :

$$c = 60,093 \text{ mm}$$

$$\sum H = 0$$

$$-C_c + A'_s f'_s + A_s f_s$$

$$\begin{aligned}
 & - (0,85 \times f'_c \times b \times a) + \left( 0 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times f'_s \right) + \left( 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times f'_s \right) \\
 & - (0,85 \times 17,4 \times 300 \times 51,079) + (0 \times -100,774) + (567,0575 \times 400)
 \end{aligned}$$

$$\sum H = 0 \text{ (terbukti)}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_s \left( d - \frac{h}{2} \right) \\
 &= 226823,8 \left( \frac{500}{2} - \frac{51,08}{2} \right) + 0 \left( \frac{500}{2} - 59,5 \right) + 226823,8 \left( 440,5 - \frac{500}{2} \right) \\
 &= 94.122.757
 \end{aligned}$$

Nilai  $\phi$  diambil dari Gambar 2.17 didapat 0,8 sehingga  $\phi M_n = 94.122.757 \text{ N mm} = 75,30 \text{ KN m}$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{300 - 100 - 2 \times 19}{1} = 162 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran

$$\text{Tarik} = \frac{l_d}{d_b} = \frac{9f_y}{10\sqrt{f'_c}} \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{\left( \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right)}$$

$$\frac{l_d}{19} = \frac{9 \times 400}{10 \times \sqrt{17,4}} \frac{1 \times 1 \times 0,8 \times 1}{\left( \frac{60,093 + 70}{19} \right)}$$

$$l_d = 191,5 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$$

### 5.1.2. Perhitungan dengan SAP2000 ( lengkap lihat Lampiran)

Dengan menginputkan data-data yang ada, maka *output* yang ditampilkan pada program bantu professional SAP2000 yaitu:

*Displacement* pada *joint* atau titik nodal:

Joint	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$R_1$	$R_2$	$R_3$
1	0	0	0	0	0	0
2	0,00059	0	-0,00016	0	-0,0015	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0,00055	0	-0,00016	0	0,0014	0

Reaksi pada perletakan:

Joint	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$M_1$	$M_2$	$M_3$
1	1823,7	0	12337,7	0	-2717,8	0
3	-2323,7	0	12662,3	0	4106,4	0

Reaksi pada masing-masing elemen:

Elemen 1		Elemen 2		Elemen 3	
$f_{x1}$	12337,7	$f_{x1}$	2323,7	$f_{x1}$	12662,3
$f_{y1}$	-1823,7	$f_{y1}$	12337,7	$f_{y1}$	2323,7
$m_{z1}$	-2717,8	$m_{z1}$	6400,8	$m_{z1}$	7512,1
$f_{x2}$	-12337,7	$f_{x2}$	-2323,7	$f_{x2}$	-12662,3
$f_{y2}$	1823,7	$f_{y2}$	12662,3	$f_{y2}$	-2323,7
$m_{z2}$	-6400,8	$m_{z2}$	-7212,1	$m_{z2}$	4106,4

### 5.1.3. Perhitungan dengan SFAP

Terbagi menjadi dua proses yaitu proses *input* dan proses *output*. Dimana proses *input* itu adalah:

*Input 1: General Information (Input > General Information)*

*Project name* : Plane Frame

*Units* : kg, m

**Input 2: Material Properties (Input > Define Material Properties)**

Material name : Concrete

Modulus of elasticity : 2000000000

Poisson's ratio : 0.2

**Input 3: Section Properties (Input > Define Section Properties)**

Section name : Beam

Section wizard

Select frame section : Rectangular

Depth : 0.5

Width : 0.3

Section name : Column

Section wizard

Select frame section : Circular

Diameter : 0.5

**Input 4: Reinforcement Properties (Input > Assign Reinforcement List>Beam)**

Type : D-19

 $f_y$  : 400 $f_{yv}$  : 400

Ratio : 0,5 (pada case 1) dan 0 (pada case 2)

**Input 5: Reinforcement Properties (Input > Assign Reinforcement List>Column)**

Diameter of bar : 19

Decking : 40

 $f_y$  : 400 $E_s$  : 200000**Input 6: Nodal Coordinates (Input > Nodal Coordinates)**

Nodal 1: X = 0; Y = 0; Z = 0

Nodal 2: X = 0; Y = 5; Z = 0

Nodal 3: X = 5; Y = 5; Z = 0

Nodal 4: X = 5; Y = 0; Z = 0

**Input 7: Frame Properties (Input > Frame Properties)**

Frame 1: Start joint: 1; End joint: 2; Section: Column

Frame 2: Start joint: 2; End joint: 3; Section: Beam

Frame 3: Start joint: 3; End joint: 4; Section: Column

**Input 8: Joint Restraint (Input > Assign Joint Restraint)**

Label 1: Fast Restraint : Fixed

Label 4: Fast Restraint : Fixed

**Input 9: Joint Loads (Input > Assign Joint Loads)**

Joint label 2: Force global X : 500

Joint label 3: Moment global Z : 300

**Input 10: Distributed Loads (Input > Distributed Frame Loads)**

Frame label 2: Force global Y : -5000

Proses output: (lengkap lihat Lampiran)

**Output 1: Nodal Displacement**

Nodal 2: Translation X = 0.00059 m

Translation Y = -0.00016 m

Rotation Z = -0.0015 rad

Nodal 3: Translation X = 0.00055 m

Translation Y = -0.00016 m

Rotation Z = 0.0014 rad

**Output 2: Support Reaction**

Nodal 1:  $F_x$  = 1823.7 kg

$F_y$  = 12337.7 kg

$M_z$  = -2717.8 kgm

Nodal 4:  $F_x$  = -2323.7 kg

$F_y$  = 12662.3 kg

$M_z$  = 4106.4 kgm

**Output 3: Element Force**

<b>Frame 1:</b> $f_{x1}$	= 12337.7 kg
$f_{y1}$	= -1823.7 kg
$m_{z1}$	= -2717.8 kgm
$f_{x2}$	= -12337.7 kg
$f_{y2}$	= 1823.7 kg
$m_{z2}$	= -6400.8 kgm
<b>Frame 2:</b> $f_{x1}$	= 2323.7 kg
$f_{y1}$	= 12337.7 kg
$m_{z1}$	= 6400.8 kgm
$f_{x2}$	= -2323.7 kg
$f_{y2}$	= 12662.3 kg
$m_{z2}$	= -7212.1 kgm

<b>Frame 3:</b> $f_{x1}$	= 12662.3 kg
$f_{y1}$	= 2323.7 kg
$m_{z1}$	= 7512.1 kgm
$f_{x2}$	= -12662.3 kg
$f_{y2}$	= -2323.7 kg
$m_{z2}$	= 4106.4 kgm

**Output 4: Beam Reinforcement****Case 1**

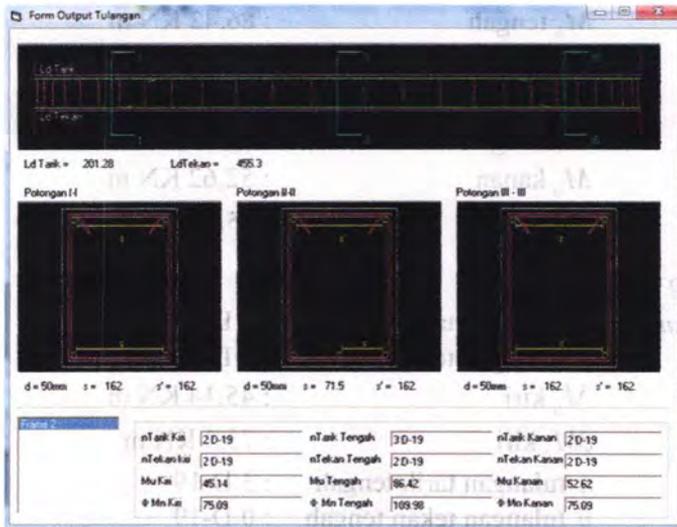
<b>Frame 2:</b> $n$ tulangan tarik kiri	: 2 D-19
$n$ tulangan tekan kiri	: 2 D-19
$M_u$ kiri	: 45,14 KN m
$\phi M_n$ kiri	: 75,09 KN m
$n$ tulangan tarik tengah	: 3 D-19
$n$ tulangan tekan tengah	: 2 D-19

$M_u$ tengah	: 86,42 KN m
$\phi M_n$ tengah	: 109,98 KN m
$n$ tulangan tarik kanan	: 2 D-19
$n$ tulangan tekan kanan	: 2 D-19
$M_u$ kanan	: 52,62 KN m
$\phi M_n$ kanan	: 75,09 KN m

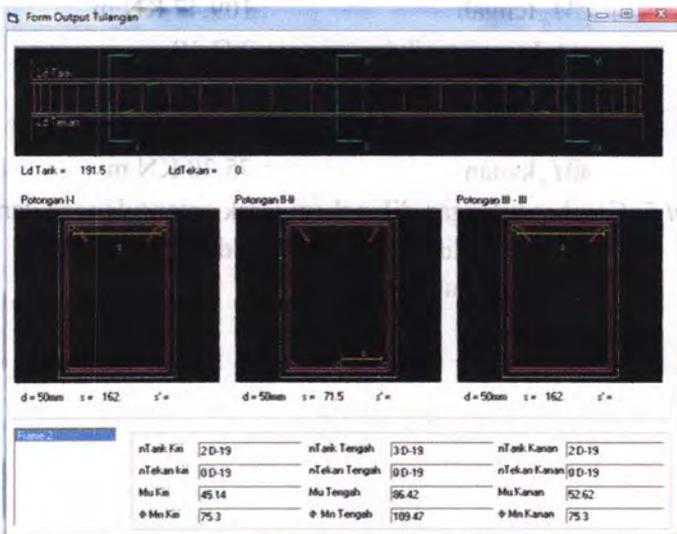
**Case 2**

<b>Frame 2:</b> $n$ tulangan tarik kiri	: 2 D-19
$n$ tulangan tekan kiri	: 0 D-19
$M_u$ kiri	: 45,14 KN m
$\phi M_n$ kiri	: 75,3 KN m
$n$ tulangan tarik tengah	: 3 D-19
$n$ tulangan tekan tengah	: 0 D-19
$M_u$ tengah	: 86,42 KN m
$\phi M_n$ tengah	: 109,47 KN m
$n$ tulangan tarik kanan	: 2 D-19
$n$ tulangan tekan kanan	: 0 D-19
$M_u$ kanan	: 52,62 KN m
$\phi M_n$ kanan	: 75,30 KN m

**Output 5:** Gambar tulangan dilengkapi jarak antar tulangan dan panjang penyaluran sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.2. dan Gambar 5.3



**Gambar 5.2.** Tampilan *output* pada kasus 1 case 1



**Gambar 5.3.** Tampilan *output* pada kasus 1 case 2

**Tabel 5.1.** Perbandingan hasil SFAP dengan hitungan manual dan program SAP 2000 kasus 1

Analisa Struktur	Parameter	SFAP	Manual	SAP 2000	Selisih	
<i>Displacement</i>	$d_{x2}$	0,00059 m	0,00059 m	0,00059 m	0	
	$d_{y2}$	-0,00016 m	-0,00016 m	-0,00016 m	0	
	$\theta_{z2}$	-0,0015 rad	-0,0015 rad	-0,0015 rad	0	
	$d_{x3}$	0,00055 m	0,00055 m	0,00055 m	0	
	$d_{y3}$	-0,00016 m	-0,00016 m	-0,00016 m	0	
	$\theta_{z3}$	0,0014 rad	0,0014 rad	0,0014 rad	0	
Reaksi Perletakan	$F_{x1}$	1.823,7 kg	1.823,7 kg	1.823,7 kg	0	
	$F_{y1}$	12.337,7 kg	12.337,7 kg	12.337,7 kg	0	
	$M_{z1}$	-2.717,8 kg m	-2.717,8 kg m	-2.717,8 kg m	0	
	$F_{x4}$	-2.323,7 kg	-2.323,7 kg	-2.323,7 kg	0	
	$F_{y4}$	12.662,3 kg	12.662,3 kg	12.662,3 kg	0	
	$M_{z4}$	4.106,4 kg m	4.106,4 kg m	4.106,4 kg m	0	
Reaksi Elemen	1	$f_{x1}$	12.337,7 kg	12.337,7 kg	12.337,7 kg	0
		$f_{y1}$	-1.823,7 kg	-1.823,7 kg	-1.823,7 kg	0
		$m_{z1}$	-2.717,8 kg m	-2.717,8 kg m	-2.717,8 kg m	0
		$f_{x2}$	-12.337,7 kg	-12.337,7 kg	-12.337,7 kg	0
		$f_{y2}$	1.823,7 kg	1.823,7 kg	1.823,7 kg	0
		$m_{z2}$	-6.400,8 kg m	-6.400,8 kg m	-6.400,8 kg m	0

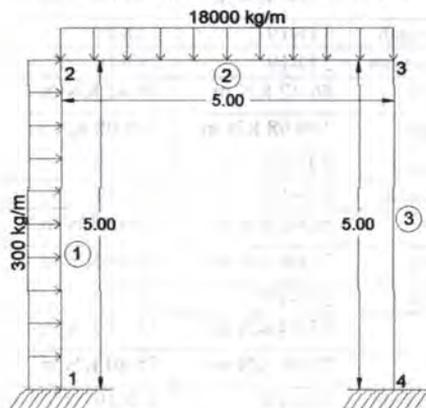
Analisa Struktur		Parameter	SFAP	Manual	SAP 2000	Selisih
Reaksi Elemen	2	$f_{x1}$	2.323,7 kg	2.323,7 kg	2.323,7 kg	0
		$f_{y1}$	12.337,7 kg	12.337,7 kg	12.337,7 kg	0
		$m_{z1}$	6.400,8 kg m	6.400,8 kg m	6.400,8 kg m	0
		$f_{x2}$	-2.323,7 kg	-2.323,7 kg	-2.323,7 kg	0
		$f_{y2}$	12.662,3 kg	12.662,3 kg	12.662,3 kg	0
		$m_{z2}$	-7.212,1 kg m	-7.212,1 kg m	-7.212,1 kg m	0
	3	$f_{x1}$	12.662,3 kg	12.662,3 kg	12.662,3 kg	0
		$f_{y1}$	2.323,7 kg	2.323,7 kg	2.323,7 kg	0
		$m_{z1}$	7.512,1 kg m	7.512,1 kg m	7.512,1 kg m	0
		$f_{x2}$	-12.662,3 kg	-12.662,3 kg	-12.662,3 kg	0
		$f_{y2}$	-2.323,7 kg	-2.323,7 kg	-2.323,7 kg	0
		$m_{z2}$	4.106,4 kg m	4.106,4 kg m	4.106,4 kg m	0

**Tabel 5.2.** Perbandingan hasil SFAP dengan hitungan manual kasus 1

Analisa Lentur	Parameter	SFAP	Manual	Selisih
<i>Frame 2 case 1</i>	n Tarik Kiri	2 D-19	2 D-19	0
	n Tekan Kiri	2 D-19	2 D-19	0
	$M_u$ Kiri	45,14 KN m	45,14 KN m	0
	$\phi M_n$ Kiri	75,09 KN m	75,09 KN m	0
	n Tarik Tengah	3 D-19	3 D-19	0
	n Tekan Tengah	2 D-19	2 D-19	0
	$M_u$ Tengah	86,42 KN m	86,42 KN m	0
	$\phi M_n$ Tengah	109,98 KN m	109,98 KN m	0
	n Tarik Kanan	2 D-19	2 D-19	0
	n Tekan Kanan	2 D-19	2 D-19	0
	$M_u$ Kanan	52,62 KN m	52,62 KN m	0
	$\phi M_n$ Kanan	75,09 KN m	75,09 KN m	0
<i>Frame 2 case 2</i>	n Tarik Kiri	2 D-19	2 D-19	0
	$M_u$ Kiri	45,14 KN m	45,14 KN m	0
	$\phi M_n$ Kiri	75,30 KN m	75,30 KN m	0
	n Tarik Tengah	3 D-19	3 D-19	0
	$M_u$ Tengah	86,42 KN m	86,42 KN m	0
	$\phi M_n$ Tengah	109,47 KN m	109,47 KN m	0
	n Tarik Kanan	2 D-19	2 D-19	0
	$M_u$ Kanan	52,62 KN m	52,62 KN m	0
$\phi M_n$ Kanan	75,30 KN m	75,30 KN m	0	

## 5.2. Kasus 2 – Plane Frame 2

Diambil contoh sederhana *plane frame* ini disebabkan agar perhitungan juga dapat dibandingkan dengan perhitungan manual dengan bantuan *Microsoft Excel* serta bentuk *plane frame* ini memiliki dua bentuk elemen yaitu balok dan kolom. Dimana pada kasus 2 (Gambar 5.4) ini pengaruh geser diperhitungkan.



Gambar 5.4. Kasus 2 – Plane Frame 2

Diketahui:

Modulus Young,  $E$  =  $2 \times 10^{10}$  kg/m<sup>2</sup>

Poisson Ratio,  $\nu$  = 0,2

Dimensi balok = 300 × 500 mm

Dimensi kolom = 500 mm (diameter)

Diameter tulangan longitudinal dan geser =  $D - 24$  dan  $\emptyset 10$

Kuat leleh tulangan,  $f_y$  = 400 MPa

Decking = 40 mm

### 5.2.1. Perhitungan Manual

- Perhitungan analisa struktur

Elemen 1

Pada elemen 1, sudut antara sumbu global struktur  $X$  dan sumbu lokal elemen  $x$  adalah  $90^0$ , sehingga:

Matriks transformasi  $[R]$ :

$$[R] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan lokal  $[k]$ :

Dimana:

$$\frac{EA}{L} = \frac{2 \times 10^9 \times 0,196349541}{5} = 78539816,34$$

$$\frac{12EI}{L^3(1+\Phi_y)} = \frac{12 \times 2 \times 10^9 \times 0,003067962}{5^3 \times (1+0,02)} = 577498,65$$

$$\frac{6EI}{L^2(1+\Phi)} = \frac{6 \times 2 \times 10^9 \times 0,003067962}{5^2 \times (1+0,02)} = 1443746,62$$

$$\frac{(4+\Phi_y)EI}{L(1+\Phi_y)} = \frac{(4+0,02) \times 2 \times 10^9 \times 0,003067962}{5 \times (1+0,02)} = 4836551,19$$

$$\frac{(2-\Phi_y)EI}{L(1+\Phi_y)} = \frac{(2-0,02) \times 2 \times 10^9 \times 0,003067962}{5 \times (1+0,02)} = 2382181,93$$

$$[k] = \begin{bmatrix} 78539816,34 & 0 & 0 & -78539816,34 & 0 & 0 \\ 0 & 577498,65 & 1443746,62 & 0 & -577498,65 & 1443746,62 \\ 0 & 1443746,62 & 4836551,19 & 0 & -1443746,62 & 2382181,93 \\ -78539816,34 & 0 & 0 & 78539816,34 & 0 & 0 \\ 0 & -577498,65 & -1443746,62 & 0 & 577498,65 & -1443746,62 \\ 0 & 1443746,62 & 2382181,93 & 0 & -1443746,62 & 4836551,19 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan global  $[K] = [R]^T [k] [R]$

$$[K] = \begin{bmatrix} 577498,65 & 0 & -1443746,62 & -577498,65 & 0 & -1443746,62 \\ 0 & 78539816,34 & 0 & 0 & -78539816,34 & 0 \\ -1443746,62 & 0 & 4836551,19 & 1443746,62 & 0 & 2382181,93 \\ -577498,65 & 0 & 1443746,62 & 577498,65 & 0 & 1443746,62 \\ 0 & -78539816,34 & 0 & 0 & 78539816,34 & 0 \\ -1443746,62 & 0 & 2382181,93 & 1443746,62 & 0 & 4836551,19 \end{bmatrix}$$

## Elemen 2

Pada elemen 2, sudut antara sumbu global struktur  $X$  dan sumbu lokal elemen  $x$  adalah  $0^0$ , sehingga:

Matriks transformasi  $[R]$ :

$$[R] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan lokal  $[k]$ :

Dimana:

$$\frac{EA}{L} = \frac{2 \times 10^9 \times 0,15}{5} = 60000000$$

$$\frac{12EI}{L^3(1+\Phi_y)} = \frac{12 \times 2 \times 10^9 \times 0,003125}{5^3 \times (1+0,0288)} = 583203,75$$

$$\frac{6EI}{L^2(1+\Phi)} = \frac{6 \times 2 \times 10^9 \times 0,003125}{5^2 \times (1+0,0288)} = 1458009,38$$

$$\frac{(4+\Phi_y)EI}{L(1+\Phi_y)} = \frac{(4+0,0288) \times 2 \times 10^9 \times 0,003125}{5 \times (1+0,0288)} = 4895023,49$$

$$\frac{(2-\Phi_y)EI}{L(1+\Phi_y)} = \frac{(2-0,0288) \times 2 \times 10^9 \times 0,003125}{5 \times (1+0,0288)} = 2395023,41$$

$$[k] = \begin{bmatrix} 60000000 & 0 & 0 & -60000000 & 0 & 0 \\ 0 & 583203,75 & 1458009,38 & 0 & -583203,75 & 1458009,38 \\ 0 & 1458009,38 & 4895023,49 & 0 & -1458009,38 & 2395023,41 \\ -60000000 & 0 & 0 & 60000000 & 0 & 0 \\ 0 & -583203,75 & -1458009,38 & 0 & 583203,75 & -1458009,38 \\ 0 & 1458009,38 & 2395023,41 & 0 & -1458009,38 & 4895023,49 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan global  $[K] = [R]^T [k] [R]$

$$[K] = \begin{bmatrix} 60000000 & 0 & 0 & -60000000 & 0 & 0 \\ 0 & 583203,75 & 1458009,38 & 0 & -583203,75 & 1458009,38 \\ 0 & 1458009,38 & 4895023,49 & 0 & -1458009,38 & 2395023,41 \\ -60000000 & 0 & 0 & 60000000 & 0 & 0 \\ 0 & -583203,75 & -1458009,38 & 0 & 583203,75 & -1458009,38 \\ 0 & 1458009,38 & 2395023,41 & 0 & -1458009,38 & 4895023,49 \end{bmatrix}$$

## Elemen 3

Pada elemen 3, sudut antara sumbu global struktur  $X$  dan sumbu lokal elemen  $x$  adalah  $270^0$ , sehingga:

Matriks transformasi  $[R]$ :

$$[R] = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan lokal  $[k]$ :

Dimana:

$$\frac{EA}{L} = \frac{2 \times 10^9 \times 0,196349541}{5} = 78539816,34$$

$$\frac{12EI}{L^3(1+\Phi_y)} = \frac{12 \times 2 \times 10^9 \times 0,003067962}{5^3 \times (1+0,02)} = 577498,65$$

$$\frac{6EI}{L^2(1+\Phi)} = \frac{6 \times 2 \times 10^9 \times 0,003067962}{5^2 \times (1+0,02)} = 1443746,62$$

$$\frac{(4+\Phi_y)EI}{L(1+\Phi_y)} = \frac{(4+0,02) \times 2 \times 10^9 \times 0,003067962}{5 \times (1+0,02)} = 4836551,19$$

$$\frac{(2-\Phi_y)EI}{L(1+\Phi_y)} = \frac{(2-0,02) \times 2 \times 10^9 \times 0,003067962}{5 \times (1+0,02)} = 2382181,93$$

$$[k] = \begin{bmatrix} 78539816,34 & 0 & 0 & -78539816,34 & 0 & 0 \\ 0 & 577498,65 & 1443746,62 & 0 & -577498,65 & 1443746,62 \\ 0 & 1443746,62 & 4836551,19 & 0 & -1443746,62 & 2382181,93 \\ -78539816,34 & 0 & 0 & 78539816,34 & 0 & 0 \\ 0 & -577498,65 & -1443746,62 & 0 & 577498,65 & -1443746,62 \\ 0 & 1443746,62 & 2382181,93 & 0 & -1443746,62 & 4836551,19 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan global  $[K] = [R]^T [k] [R]$

$$[K] = \begin{bmatrix} 577498,65 & 0 & 1443746,62 & -577498,65 & 0 & 1443746,62 \\ 0 & 78539816,34 & 0 & 0 & -78539816,34 & 0 \\ 1443746,62 & 0 & 4836551,19 & -1443746,62 & 0 & 2382181,93 \\ -577498,65 & 0 & -1443746,62 & 577498,65 & 0 & -1443746,62 \\ 0 & -78539816,34 & 0 & 0 & 78539816,34 & 0 \\ 1443746,62 & 0 & 2382181,93 & -1443746,62 & 0 & 4836551,19 \end{bmatrix}$$

Setelah dilakukan *boundary condition*, dan penggabungan matriks ketiga elemen tersebut maka dihasilkan  $[K_S]$  sebagai berikut:

$$[K_S] = \begin{bmatrix} 60577498,65 & 0 & 1443746,62 & -60000000 & 0 & 0 \\ 0 & 79123020,09 & 1458009,38 & 0 & -583203,75 & 1458009,38 \\ 1443746,62 & 1458009,38 & 9731574,68 & 0 & -1458009,38 & 2395023,41 \\ -60000000 & 0 & 0 & 60577498,65 & 0 & 1443746,62 \\ 0 & -583203,75 & -1458009,38 & 0 & 79123020,09 & -1458009,38 \\ 0 & 1458009,38 & 2395023,41 & 1443746,62 & -1458009,38 & 9731574,68 \end{bmatrix}$$

Matriks displacement global didapat dari  $\{U\} = [K_S]^{-1}\{P\}$  yaitu:

$$\begin{Bmatrix} d_{2x} \\ d_{2y} \\ \phi_2 \\ d_{3x} \\ d_{3y} \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 60577498,65 & 0 & 1443746,62 & -60000000 & 0 & 0 \\ 0 & 79123020,09 & 1458009,38 & 0 & -583203,75 & 1458009,38 \\ 1443746,62 & 1458009,38 & 9731574,68 & 0 & -1458009,38 & 2395023,41 \\ -60000000 & 0 & 0 & 60577498,65 & 0 & 1443746,62 \\ 0 & -583203,75 & -1458009,38 & 0 & 79123020,09 & -1458009,38 \\ 0 & 1458009,38 & 2395023,41 & 1443746,62 & -1458009,38 & 9731574,68 \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} 750 \\ -45000 \\ -36875 \\ 0 \\ -45000 \\ 37500 \end{Bmatrix}$$

Penyelesaian persamaan menghasilkan *displacement* global:

$$\begin{Bmatrix} d_{2x} \\ d_{2y} \\ \phi_2 \\ d_{3x} \\ d_{3y} \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0,0009 \\ -0,00057 \\ -0,0052 \\ 0,00077 \\ -0,00058 \\ 0,005 \end{Bmatrix}$$

Sehingga didapatkan pada reaksi perletakan:

$$\begin{Bmatrix} F_{X1} \\ F_{Y1} \\ M_{Z1} \\ F_{X4} \\ F_{Y4} \\ M_{Z4} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 6174,3 \\ 44786,5 \\ -10358,8 \\ -7674,3 \\ 45213,5 \\ 13041,1 \end{Bmatrix}$$

Sedangkan pada tiap elemennya sebagai berikut:

Elemen 1	Elemen 2	Elemen 3
$f_{x1} = 44786,5$	$f_{x2} = 7674,3$	$f_{x3} = 45213,5$
$f_{y1} = -6174,3$	$f_{y2} = 44786,5$	$f_{y3} = 7674,3$
$m_{z1} = -10358,8$	$m_{z2} = 24262,7$	$m_{z3} = 25330,4$
$f_{x2} = -44786,5$	$f_{x3} = -7674,3$	$f_{x4} = -45213,5$
$f_{y2} = 7674,3$	$f_{y3} = 45213,5$	$f_{y4} = -7674,3$
$m_{z2} = -24262,7$	$m_{z3} = -25330,3$	$m_{z4} = 13041,1$

- Perhitungan analisa balok lentur

Apabila *user* menginginkan menggunakan tulangan ganda maka perhitungan tulangan pada elemen 2 adalah :

➤ Ujung tepi kiri :

$$M_u = 1,74 \times 10^8 \text{ N mm}$$

$$M_n = 2,174 \times 10^8 \text{ N mm}$$

$$d = 500 - 50 - \frac{24}{2} = 437,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{2,35 \times 10^8}{300 \times 437,5^2} = 4,09 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 17,4} = 27,04$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,011$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0035$$

Gunakan  $\rho = 0,011$  maka  $A_{s,\text{perlu}} = 1462,5 \text{ mm}^2$  maka tulangan tarik yang digunakan 4 D-24. Asumsi *user* memberi input pada rasio sebesar 0,5 maka banyaknya tulangan tekan yang dibutuhkan sebanyak 2 D-24.

Dengan proses iterasi pada kesetimbangan gaya didapatkan :

$$c = 112,094 \text{ mm}$$

$$\sum H = 0$$

$$-C_c + A'_s f'_s + A_s f_s$$

$$-(0,85 \times f'_c \times b \times a) + \left(2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 24^2 \times f'_s\right) + \left(4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 24^2 \times f_s\right)$$

$$-(0,85 \times 17,4 \times 300 \times 95,28) + (904,78 \times -332,37) + (1809,56 \times 400)$$

$$\sum H = 0 \text{ (terbukti)}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_s \left( d - \frac{h}{2} \right) \\
 &= 423104 \left( \frac{500}{2} - \frac{95,28}{2} \right) + 300719 \left( \frac{500}{2} - 62 \right) + 723823 \left( 438 - \frac{500}{2} \right) \\
 &= 278.233.227
 \end{aligned}$$

Nilai  $\phi$  diambil dari Gambar 2.17 didapat 0,8 sehingga

$$\phi M_n = 222.586.581 \text{ N mm} = 222,59 \text{ KN m}$$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{300 - 100 - 4 \times 24}{3} = 34,7 \text{ mm}$$

$$s' = \frac{300 - 100 - 2 \times 24}{1} = 152 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran

$$\begin{aligned}
 \text{Tarik} &= \frac{l_d}{d_b} = \frac{9 f_y}{10 \sqrt{f'_c}} \left( \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{d_b} \right) \\
 \frac{l_d}{24} &= \frac{9 \times 400}{10 \times \sqrt{17,4}} \left( \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1}{24} \right)
 \end{aligned}$$

$$l_d = 78,46 \text{ mm}$$

$$\begin{cases}
 \text{Tekan} = \frac{l_d}{d_b} = \frac{d_b f_y}{4 \sqrt{f'_c}} = \frac{24 \times 400}{4 \times \sqrt{17,4}} = 575,35 \text{ mm (menentukan)} \\
 l_d = 0,04 d_b f_y = 0,04 \times 24 \times 400 = 384 \text{ mm}
 \end{cases}$$

➤ Tengah bentang :

$$M_u = 3,08 \times 10^8 \text{ N mm}$$

$$M_n = 3,85 \times 10^8 \text{ N mm}$$

$$d = 500 - 50 - \frac{24}{2} = 438 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{3,85 \times 10^8}{300 \times 438^2} = 6,7 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 17,4} = 27,04$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0256$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0035$$

Gunakan  $\rho = 0,0256$  maka  $A_{s,\text{perlu}} = 3368,3 \text{ mm}^2$  maka tulangan tarik yang digunakan 8 D-24. Asumsi *user* memberi input pada rasio sebesar 0,5 maka banyaknya tulangan tekan yang dibutuhkan sebanyak 4 D-24.

Karena apabila 8 tulangan jarak antar tulangan tidak memenuhi, maka dihitung sampai jarak antar tulangan memenuhi dan dibuat dalam dua baris sehingga ditemukan tulangan dalam dua baris tiap baris terdapat empat tulangan.

Dengan proses iterasi pada kesetimbangan gaya didapatkan :

$$c = 191,764 \text{ mm}$$

$$\sum H = 0$$

$$-C_c + A'_s f'_s + A_{s1} f_{s1} + A_{s2} f_{s2}$$

$$-(0,85 \times f'_c \times b \times a) + \left(4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 24^2 \times f'_s\right) + 2 \left(4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 24^2 \times f_{s1}\right)$$

$$-(0,85 \times 17,4 \times 300 \times 163) + (1809,557 \times -400) + 2(1809,56 \times 400)$$

$$\sum H = 0 \text{ (terbukti)}$$



$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_s \left( d - \frac{h}{2} \right) \\
 &= 423104 \left( \frac{500}{2} - \frac{95,28}{2} \right) + 300719 \left( \frac{500}{2} - 62 \right) + 723823 \left( 438 - \frac{500}{2} \right) + \\
 &\quad 723823 \left( 438 - \frac{500}{2} - 25 \right) \\
 &= 503.419.003
 \end{aligned}$$

Nilai  $\phi$  diambil dari Gambar 2.17 didapat 0,742 sehingga

$$\phi M_n = 373.843.292 \text{ N mm} = 373,84 \text{ KN m}$$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{300 - 100 - 4 \times 24}{3} = 34,7 \text{ mm}$$

$$s' = \frac{300 - 100 - 4 \times 24}{3} = 34,7 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran

$$\text{Tarik} = \frac{l_d}{d_b} = \frac{9f_y}{10\sqrt{f'_c}} \left( \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{c + K_{tr}} \right)$$

$$\frac{l_d}{24} = \frac{9 \times 400}{10 \times \sqrt{17,4}} \left( \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1}{191,764 + 521,5} \right)$$

$$l_d = 47,66 \text{ mm}$$

$$\text{Tekan} = \begin{cases} l_d = \frac{d_b f_y}{4\sqrt{f'_c}} = \frac{24 \times 400}{4 \times \sqrt{17,4}} = 575,35 \text{ mm (menentukan)} \\ l_d = 0,04 d_b f_y = 0,04 \times 24 \times 400 = 384 \text{ mm} \end{cases}$$

► Ujung tepi kanan :

$$M_u = 1,83 \times 10^8 \text{ N mm}$$

$$M_n = 2,29 \times 10^8 \text{ N mm}$$

$$d = 500 - 50 - \frac{24}{2} = 438 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{2,29 \times 10^8}{300 \times 438^2} = 3,98 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 17,4} = 27,04$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,012$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0035$$

Gunakan  $\rho = 0,012$  maka  $A_{s, \text{perlu}} = 1556,8 \text{ mm}^2$  maka tulangan tarik yang digunakan 4 D-24. Asumsi *user* memberi input pada rasio sebesar 0,5 maka banyaknya tulangan tekan yang dibutuhkan sebanyak 2 D-24.

Dengan proses iterasi pada kesetimbangan gaya didapatkan :

$$c = 112,094 \text{ mm}$$

$$\sum H = 0$$

$$-C_c + A'_s f'_s + A_s f_s$$

$$-(0,85 \times f'_c \times b \times a) + \left(2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 24^2 \times f'_s\right) + \left(4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 24^2 \times f_s\right)$$

$$-(0,85 \times 17,4 \times 300 \times 95,28) + (904,78 \times -332,37) + (1809,56 \times 400)$$

$$\sum H = 0 \text{ (terbukti)}$$

$$M_n = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + A'_s f'_s \left(\frac{h}{2} - d'\right) + A_s f_s \left(d - \frac{h}{2}\right)$$

$$= 423104 \left(\frac{500}{2} - \frac{95,28}{2}\right) + 300719 \left(\frac{500}{2} - 62\right) + 723823 \left(438 - \frac{500}{2}\right)$$

$$= 278.233.227$$

Nilai  $\phi$  diambil dari Gambar 2.17 didapat 0,8 sehingga  
 $\phi M_n = 222.586.581 \text{ N mm} = 222,59 \text{ KN m}$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{300 - 100 - 4 \times 24}{3} = 34,7 \text{ mm}$$

$$s' = \frac{300 - 100 - 2 \times 24}{1} = 152 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran

$$\text{Tarik} = \frac{l_d}{d_b} = \frac{9f_y}{10\sqrt{f'_c}} \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{\left(\frac{c + K_{tr}}{d_b}\right)}$$

$$\frac{l_d}{24} = \frac{9 \times 400}{10 \times \sqrt{17,4}} \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1}{\left(\frac{112,094 + 521,5}{24}\right)}$$

$$l_d = 78,46 \text{ mm}$$

$$\text{Tekan} = \begin{cases} l_d = \frac{d_b f_y}{4\sqrt{f'_c}} = \frac{24 \times 400}{4 \times \sqrt{17,4}} = 575,35 \text{ mm (menentukan)} \\ l_d = 0,04 d_b f_y = 0,04 \times 24 \times 400 = 384 \text{ mm} \end{cases}$$

### 5.2.2. Perhitungan dengan SAP2000 (lengkap lihat Lampiran)

Dengan menginputkan data-data yang ada, maka *output* yang ditampilkan pada program bantu professional SAP2000 yaitu:

*Displacement* pada *joint* atau titik nodal:

Joint	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$R_1$	$R_2$	$R_3$
1	0	0	0	0	0	0
2	0,0009	0	-0,00057	0	-0,0052	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0,00077	0	-0,00058	0	0,005	0

Reaksi pada perletakan:

Joint	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$M_1$	$M_2$	$M_3$
1	6174,3	0	44786,5	0	-10358,8	0
3	-7674,3	0	45213,5	0	13041,1	0

Reaksi pada masing-masing elemen:

Elemen 1		Elemen 2		Elemen 3	
$f_{x1}$	44786,5	$f_{x1}$	7674,3	$f_{x1}$	45213,5
$f_{y1}$	-6174,3	$f_{y1}$	44786,5	$f_{y1}$	7674,3
$m_{z1}$	-10358,8	$m_{z1}$	24262,7	$m_{z1}$	25330,3
$f_{x2}$	-44786,5	$f_{x2}$	-7674,3	$f_{x2}$	-45213,5
$f_{y2}$	7674,3	$f_{y2}$	45213,5	$f_{y2}$	-7674,3
$m_{z2}$	-24262,7	$m_{z2}$	-25330,3	$m_{z2}$	13041,1

### 5.2.3. Perhitungan dengan SFAP

Terbagi menjadi dua proses yaitu proses *input* dan proses *output*. Dimana proses *input* itu adalah: (Gambar lihat lampiran)

*Input 1: General Information (Input > General Information)*

Project name : Plane Frame2

Units : kg, m

*Input 2: Material Properties (Input > Define Material Properties)*

Material name : Concrete  
 Modulus of elasticity : 2000000000  
 Poisson's ratio : 0.2

*Input 3: Section Properties (Input > Define Section Properties)*

Section name : Beam  
 Section wizard  
 Select frame section : Rectangular  
 Depth : 0.5  
 Width : 0.3  
 Section name : Column  
 Section wizard  
 Select frame section : Circular  
 Diameter : 0.5

*Input 4: Reinforcement Properties (Input > Assign Reinforcement List>Beam)*

Type : D-24  
 $f_y$  : 400  
 $f_{yv}$  : 400  
 Ratio : 0,5

*Input 5: Reinforcement Properties (Input > Assign Reinforcement List>Column)*

Diameter of bar : 19  
 Decking : 40  
 $f_y$  : 400  
 $E_s$  : 200000

*Input 6: Nodal Coordinates (Input > Nodal Coordinates)*

Nodal 1: X = 0; Y = 0; Z = 0  
 Nodal 2: X = 0; Y = 5; Z = 0  
 Nodal 3: X = 5; Y = 5; Z = 0  
 Nodal 4: X = 5; Y = 0; Z = 0

**Input 7: Frame Properties (Input > Frame Properties)**

Frame 1: Start joint: 1; End joint: 2; Section: Column

Frame 2: Start joint: 2; End joint: 3; Section: Beam

Frame 3: Start joint: 3; End joint: 4; Section: Column

**Input 8: Joint Restraint (Input > Assign Joint Restraint)**

Label 1: Fast Restraint : Fixed

Label 4: Fast Restraint : Fixed

**Input 9: Distributed Load (Input > Distributed Frame Loads)**

Frame label 1: Force global X : 300

Frame label 2: Force global Y : -18000

**Proses output: (lengkap lihat Lampiran)****Output 1: Nodal Displacement**

Nodal 2: Translation X = 0,0009 m

Translation Y = -0,00057 m

Rotation Z = -0,0052 rad

Nodal 3: Translation X = 0,00077 m

Translation Y = -0,00058 m

Rotation Z = 0,005 rad

**Output 2: Support Reaction**

Nodal 1:  $F_X$  = 6.174,3 kg

$F_Y$  = 44.786,5 kg

$M_Z$  = -10.358,8 kgm

Nodal 4:  $F_X$  = -7.674,3 kg

$F_Y$  = 45.213,5 kg

$M_Z$  = 13.041,1 kgm

**Output 3: Element Force**

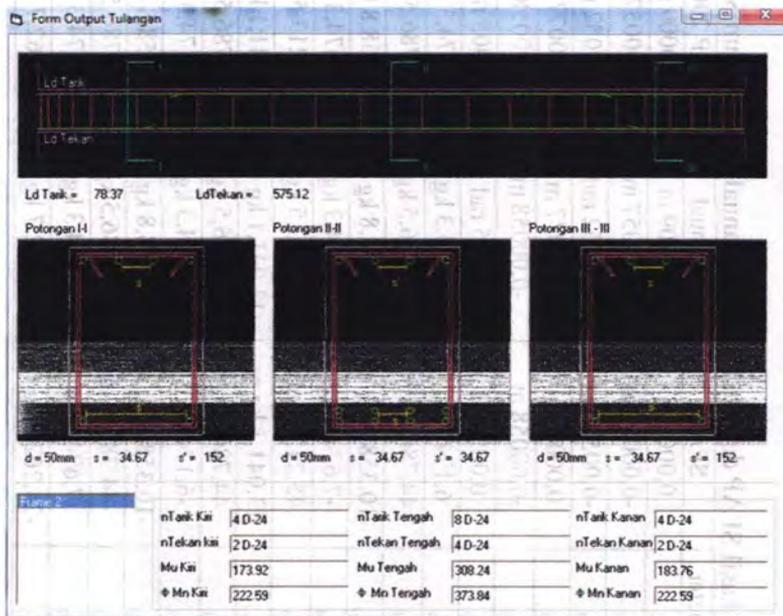
<b>Frame 1:</b>	$f_{x1}$	= 44.786,5 kg
	$f_{y1}$	= -6.174,3 kg
	$m_{z1}$	= -10.358,8 kgm
	$f_{x2}$	= -44.786,5 kg
	$f_{y2}$	= 7.674,3 kg
	$m_{z2}$	= -24.262,7 kgm
<b>Frame 2:</b>	$f_{x1}$	= 7.674,3 kg
	$f_{y1}$	= 44.786,5 kg
	$m_{z1}$	= 24.262,7 kgm
	$f_{x2}$	= -7.674,3 kg
	$f_{y2}$	= 45.213,5 kg
	$m_{z2}$	= -25.330,3 kgm
<b>Frame 3:</b>	$f_{x1}$	= 45.213,5 kg
	$f_{y1}$	= 7.674,3 kg
	$m_{z1}$	= 25.330,3 kgm
	$f_{x2}$	= -45.213,5 kg
	$f_{y2}$	= -7.674,3 kg
	$m_{z2}$	= 13.041,1 kgm

**Output 4: Beam Reinforcement****Case 1**

<b>Frame 2:</b>	$n$ tulangan tarik kiri	: 4 D-24
	$n$ tulangan tekan kiri	: 2 D-24
	$M_u$ kiri	: 173,92 KN m
	$\phi M_n$ kiri	: 222,59 KN m
	$n$ tulangan tarik tengah	: 8 D-24
	$n$ tulangan tekan tengah	: 4 D-24
	$M_u$ tengah	: 308,24 KN m

$\phi M_n$ tengah	: 373,84 KN m
$n$ tulangan tarik kanan	: 4 D-24
$n$ tulangan tekan kanan	: 2 D-24
$M_u$ kanan	: 183,76 KN m
$\phi M_n$ kanan	: 222,59 KN m

**Output 5:** Gambar tulangan dilengkapi jarak antar tulangan dan panjang penyaluran sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.5.



**Gambar 5.5.** Tampilan *output* pada kasus 2

**Tabel 5.3.** Perbandingan hasil SFAP dengan hitungan manual dan program SAP 2000 kasus 2

Analisa Struktur	Parameter	SFAP	Manual	SAP 2000	Selisih	
<i>Displacement</i>	$d_{x2}$	0,0009 m	0,0009 m	0,0009 m	0	
	$d_{y2}$	-0,00057 m	-0,00057 m	-0,00057 m	0	
	$\theta_{x2}$	-0,0052 rad	-0,0052 rad	-0,0052 rad	0	
	$d_{x3}$	0,00077 m	0,00077 m	0,00077 m	0	
	$d_{y3}$	-0,00058 m	-0,00058 m	-0,00058 m	0	
	$\theta_{x3}$	0,005 rad	0,005 rad	0,005 rad	0	
Reaksi Perletakan	$F_{x1}$	6.174,3 kg	6.174,3 kg	6.174,3 kg	0	
	$F_{y1}$	44.786,5 kg	44.786,5 kg	44.786,5 kg	0	
	$M_{z1}$	-10.358,8 kg m	-10.358,8 kg m	-10.358,8 kg m	0	
	$F_{x4}$	-7.674,3 kg	-7.674,3 kg	-7.674,3 kg	0	
	$F_{y4}$	45.213,5 kg	45.213,5 kg	45.213,5 kg	0	
	$M_{z4}$	13.041,1 kg m	13.041,1 kg m	13.041,1 kg m	0	
Reaksi Elemen	1	$f_{x1}$	44.786,5 kg	44.786,5 kg	44.786,5 kg	0
		$f_{y1}$	-6.174,3 kg	-6.174,3 kg	-6.174,3 kg	0
		$m_{z1}$	-10.358,8 kg m	-10.358,8 kg m	-10.358,8 kg m	0
		$f_{x2}$	-44.786,5 kg	-44.786,5 kg	-44.786,5 kg	0
		$f_{y2}$	7.674,3 kg	7.674,3 kg	7.674,3 kg	0
		$m_{z2}$	-24.262,7 kg m	-24.262,7 kg m	-24.262,7 kg m	0

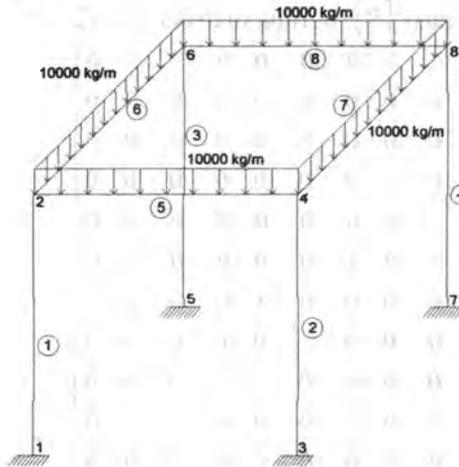
Analisa Struktur		Parameter	SFAP	Manual	SAP 2000	Selisih
Reaksi Elemen	2	$f_{x1}$	7.674,3 kg	7.674,3 kg	7.674,3 kg	0
		$f_{y1}$	44.786,5 kg	44.786,5 kg	44.786,5 kg	0
		$m_{z1}$	24.262,7 kg m	24.262,7 kg m	24.262,7 kg m	0
		$f_{x2}$	-7.674,3 kg	-7.674,3 kg	-7.674,3 kg	0
		$f_{y2}$	45.213,5 kg	45.213,5 kg	45.213,5 kg	0
		$m_{z2}$	-25.330,3 kg m	-25.330,3 kg m	-25.330,3 kg m	0
	3	$f_{x1}$	45.213,5 kg	45.213,5 kg	45.213,5 kg	0
		$f_{y1}$	7.674,3 kg	7.674,3 kg	7.674,3 kg	0
		$m_{z1}$	25.330,3 kg m	25.330,3 kg m	25.330,3 kg m	0
		$f_{x2}$	-45.213,5 kg	-45.213,5 kg	-45.213,5 kg	0
		$f_{y2}$	-7.674,3 kg	-7.674,3 kg	-7.674,3 kg	0
		$m_{z2}$	13.041,1 kg m	13.041,1 kg m	13.041,1 kg m	0

**Tabel 5.4.** Perbandingan hasil SFAP dengan hitungan manual kasus 2

Analisa Lentur	Parameter	SFAP	Manual	Selisih
<i>Frame 2</i>	n Tarik Kiri	4 D-24	4 D-24	0
	n Tekan Kiri	2 D-24	2 D-24	0
	$M_u$ Kiri	173,92 KN m	173,92 KN m	0
	$\phi M_n$ Kiri	222,59 KN m	222,59 KN m	0
	n Tarik Tengah	8 D-24	8 D-24	0
	n Tekan Tengah	4 D-24	4 D-24	0
	$M_u$ Tengah	308,24 KN m	308,24 KN m	0
	$\phi M_n$ Tengah	373,84 KN m	373,84 KN m	0
	n Tarik Kanan	4 D-24	4 D-24	0
	n Tekan Kanan	2 D-24	2 D-24	0
	$M_u$ Kanan	183,76 KN m	183,76 KN m	0
	$\phi M_n$ Kanan	222,59 KN m	222,59 KN m	0

### 5.3. Kasus 3 – Space Frame 1

Diambil contoh sederhana *space frame* ini disebabkan agar perhitungan juga dapat dibandingkan dengan perhitungan manual dengan bantuan *Microsoft Excel* dengan beban yang diberikan hanya berupa beban merata vertikal serta pengaruh geser diperhitungkan.



**Gambar 5.6.** Kasus 3 – *Space Frame 1*

Diketahui:

Kuat tekan beton,  $f'_c = 30 \text{ MPa}$

*Poisson Ratio*,  $\nu = 0,2$

Dimensi balok =  $400 \times 600 \text{ mm}$

Dimensi kolom =  $600 \times 600 \text{ mm}$

Diameter tulangan longitudinal dan geser =  $D-13$  dan  $\text{Ø}10$

Kuat leleh tulangan,  $f_y = 400 \text{ MPa}$

Decking =  $40 \text{ mm}$

### 5.3.1. Perhitungan manual

- Perhitungan analisa struktur

Elemen 1, 2, 3, dan 4

Pada elemen 1, 2, 3, dan 4, sudut antara sumbu global struktur  $X$  dan sumbu lokal elemen  $x$  adalah  $90^0$ , sehingga:

Matriks transformasi  $[R]$ : berupa matriks  $12 \times 12$

$$[R] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$I_z = I_y = \frac{1}{12} \times 0,6^4 = 0,0108$$

$$\Phi_z = \frac{12EI_z}{GA_{shr}L^2} = \frac{12 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0108}{1,09 \times 10^9 \times 0,3 \times 5^2} = 0,04$$

$$\Phi_y = \frac{12EI_y}{GA_{shr}L^2} = \frac{12 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0108}{1,09 \times 10^9 \times 0,3 \times 5^2} = 0,04$$

$$k_a = \frac{EA}{L} = \frac{2,625 \times 10^9 \times 0,36}{5} = 1,9 \times 10^8$$

$$k_t = \frac{GJ}{L} = \frac{1,09 \times 10^9 \times 0,018}{5} = 4 \times 10^6$$

$$k_{z1} = \frac{12EI_z}{L^3(1+\Phi_y)} = \frac{12 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0108}{5^3 \times (1+0,04)} = 2,6 \times 10^6$$

$$k_{z2} = \frac{6EI_z}{L^2(1+\Phi_y)} = \frac{6 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0108}{5^2 \times (1+0,04)} = 6,5 \times 10^6$$

$$k_{z3} = \frac{(4+\Phi_y)EI_z}{L(1+\Phi_y)} = \frac{(4+0,04) \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0108}{5 \times (1+0,04)} = 2,2 \times 10^7$$

$$k_{z4} = \frac{(2-\Phi_y)EI_z}{L(1+\Phi_y)} = \frac{(2-0,04) \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0108}{5 \times (1+0,04)} = 1,1 \times 10^7$$

$$k_{y1} = \frac{12EI_y}{L^3(1+\Phi_z)} = \frac{12 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0108}{5^3 \times (1+0,04)} = 2,6 \times 10^6$$

$$k_{y2} = \frac{6EI_y}{L^2(1+\Phi_z)} = \frac{6 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0108}{5^2 \times (1+0,04)} = 6,5 \times 10^6$$

$$k_{y3} = \frac{(4+\Phi_z)EI_y}{L(1+\Phi_z)} = \frac{(4+0,04) \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0108}{5 \times (1+0,04)} = 2,2 \times 10^7$$

$$k_{y4} = \frac{(2-\Phi_z)EI_y}{L(1+\Phi_z)} = \frac{(2-0,04) \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0108}{5 \times (1+0,04)} = 1,1 \times 10^7$$

Sehingga matriks kekakuan lokal  $[k]$  elemen 1, 2, 3, dan 4 serta matriks  $[K]$ nya adalah sebagai berikut:

$$[k] = \begin{bmatrix}
 1,9 \times 10^8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1,9 \times 10^8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 2,6 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 6,5 \times 10^6 & 0 & -2,6 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 6,5 \times 10^6 \\
 0 & 0 & 2,6 \times 10^6 & 0 & -6,5 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & -2,6 \times 10^6 & 0 & -6,5 \times 10^6 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 4 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -4 \times 10^6 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -6,5 \times 10^6 & 0 & 2,2 \times 10^7 & 0 & 0 & 0 & 6,5 \times 10^6 & 0 & 1,1 \times 10^7 & 0 \\
 0 & 6,5 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 2,2 \times 10^7 & 0 & -6,5 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 1,1 \times 10^7 \\
 -1,9 \times 10^8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,9 \times 10^8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -2,6 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & -6,5 \times 10^6 & 0 & 2,6 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & -6,5 \times 10^6 \\
 0 & 0 & -2,6 \times 10^6 & 0 & 6,5 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 2,6 \times 10^6 & 0 & 6,5 \times 10^6 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -4 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \times 10^6 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -6,5 \times 10^6 & 0 & 1,1 \times 10^7 & 0 & 0 & 0 & 6,5 \times 10^6 & 0 & 2,2 \times 10^7 & 0 \\
 0 & 6,5 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 1,1 \times 10^7 & 0 & -6,5 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 2,2 \times 10^7
 \end{bmatrix}$$
  

$$[K] = \begin{bmatrix}
 2,6 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6,5 \times 10^6 & -2,6 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6,5 \times 10^6 \\
 0 & 1,9 \times 10^8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1,9 \times 10^8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 2,6 \times 10^6 & 6,5 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2,6 \times 10^6 & 6,5 \times 10^6 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 6,5 \times 10^6 & 2,2 \times 10^7 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6,5 \times 10^6 & 1,1 \times 10^7 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 4,0 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -4 \times 10^6 & 0 \\
 -6,5 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2,2 \times 10^7 & 6,5 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,1 \times 10^7 \\
 -2,6 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6,5 \times 10^6 & 2,6 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6,5 \times 10^6 \\
 0 & -1,9 \times 10^8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,9 \times 10^8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -2,6 \times 10^6 & -6,5 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2,6 \times 10^6 & -6,5 \times 10^6 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 6,5 \times 10^6 & 1,1 \times 10^7 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6,5 \times 10^6 & 2,2 \times 10^7 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -4,0 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \times 10^6 & 0 \\
 -6,5 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,1 \times 10^7 & 6,5 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2,2 \times 10^7
 \end{bmatrix}$$

## Elemen 5 dan 8

Pada elemen 5 dan 8, sudut antara sumbu global struktur  $X$  dan sumbu lokal elemen  $x$  adalah  $90^\circ$  diputar terhadap sumbu  $Y$  sehingga:

Matriks transformasi  $[R]$ : berupa matriks  $12 \times 12$

$$[R] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$I_z = \frac{1}{12} \times 0,4 \times 0,6^3 = 0,0072$$

$$I_y = \frac{1}{12} \times 0,6 \times 0,4^3 = 0,0032$$

$$\Phi_z = \frac{12EI_z}{GA_{shr}L^2} = \frac{12 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0072}{1,09 \times 10^9 \times 0,2 \times 5^2} = 0,04$$

$$\Phi_y = \frac{12EI_y}{GA_{shr}L^2} = \frac{12 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0032}{1,09 \times 10^9 \times 0,2 \times 5^2} = 0,02$$

$$k_a = \frac{EA}{L} = \frac{2,625 \times 10^9 \times 0,24}{5} = 1,3 \times 10^8$$

$$k_t = \frac{GJ}{L} = \frac{1,09 \times 10^9 \times 0,0075}{5} = 1,6 \times 10^6$$

$$k_{z1} = \frac{12EI_z}{L^3(1+\Phi_y)} = \frac{12 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0072}{5^3 \times (1+0,02)} = 1,7 \times 10^6$$

$$k_{z2} = \frac{6EI_z}{L^2(1+\Phi_y)} = \frac{6 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0072}{5^2 \times (1+0,02)} = 4,4 \times 10^6$$

$$k_{z3} = \frac{(4+\Phi_y)EI_z}{L(1+\Phi_y)} = \frac{(4+0,02) \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0072}{5 \times (1+0,02)} = 1,5 \times 10^7$$

$$k_{z4} = \frac{(2-\Phi_y)EI_z}{L(1+\Phi_y)} = \frac{(2-0,02) \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0072}{5 \times (1+0,02)} = 7,1 \times 10^6$$

$$k_{y1} = \frac{12EI_y}{L^3(1+\Phi_z)} = \frac{12 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0032}{5^3 \times (1+0,04)} = 7,9 \times 10^5$$

$$k_{y2} = \frac{6EI_y}{L^2(1+\Phi_z)} = \frac{6 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0032}{5^2 \times (1+0,04)} = 2,0 \times 10^6$$

$$k_{y3} = \frac{(4+\Phi_z)EI_y}{L(1+\Phi_z)} = \frac{(4+0,04) \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0032}{5 \times (1+0,04)} = 6,6 \times 10^6$$

$$k_{y4} = \frac{(2-\Phi_z)EI_y}{L(1+\Phi_z)} = \frac{(2-0,04) \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0032}{5 \times (1+0,04)} = 3,3 \times 10^6$$

Sehingga matriks kekakuan lokal  $[k]$  elemen 5 dan 8 serta matriks  $[K]$ nya adalah sebagai berikut:

$$[k] = \begin{bmatrix} 1,3 \times 10^8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1,3 \times 10^8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1,7 \times 10^5 & 0 & 0 & 0 & 4,4 \times 10^6 & 0 & -1,7 \times 10^5 & 0 & 0 & 0 & 4,4 \times 10^6 \\ 0 & 0 & 7,9 \times 10^5 & 0 & -2,0 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & -7,9 \times 10^5 & 0 & -2,0 \times 10^6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1,6 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1,6 \times 10^6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2,0 \times 10^6 & 0 & 6,6 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 2,0 \times 10^6 & 0 & 3,3 \times 10^6 & 0 \\ 0 & 4,4 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 1,5 \times 10^7 & 0 & -4,4 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 7,1 \times 10^6 \\ -1,3 \times 10^8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,3 \times 10^8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1,7 \times 10^5 & 0 & 0 & 0 & -4,4 \times 10^6 & 0 & 1,7 \times 10^5 & 0 & 0 & 0 & -4,4 \times 10^6 \\ 0 & 0 & -7,9 \times 10^5 & 0 & 2,0 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 7,9 \times 10^5 & 0 & 2,0 \times 10^6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1,6 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,6 \times 10^6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2,0 \times 10^6 & 0 & 3,3 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 2,0 \times 10^6 & 0 & 6,6 \times 10^6 & 0 \\ 0 & 4,4 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 7,1 \times 10^6 & 0 & -4,4 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 1,5 \times 10^7 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 7,9 \times 10^5 & 0 & 0 & 0 & 2,0 \times 10^6 & 0 & -7,9 \times 10^5 & 0 & 0 & 0 & 2,0 \times 10^6 & 0 \\ 0 & 1,7 \times 10^5 & 0 & -4,4 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & -1,7 \times 10^5 & 0 & -4,4 \times 10^6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,3 \times 10^8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1,3 \times 10^8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4,4 \times 10^6 & 0 & 1,5 \times 10^7 & 0 & 0 & 0 & 4,4 \times 10^6 & 0 & 7,1 \times 10^6 & 0 & 0 \\ 2,0 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 6,6 \times 10^6 & 0 & -2,0 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 3,3 \times 10^6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,6 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1,6 \times 10^6 \\ -7,9 \times 10^5 & 0 & 0 & 0 & -2,0 \times 10^6 & 0 & 7,9 \times 10^5 & 0 & 0 & 0 & -2,0 \times 10^6 & 0 \\ 0 & -1,7 \times 10^5 & 0 & 4,4 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 1,7 \times 10^5 & 0 & 4,4 \times 10^6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1,3 \times 10^8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,3 \times 10^8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4,4 \times 10^6 & 0 & 7,1 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 4,4 \times 10^6 & 0 & 1,5 \times 10^7 & 0 & 0 \\ 2,0 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 3,3 \times 10^6 & 0 & -2,0 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 6,6 \times 10^6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,6 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,6 \times 10^6 \end{bmatrix}$$

## Elemen 6 dan 7

Pada elemen 6 dan 7, sudut antara sumbu global struktur  $X$  dan sumbu lokal elemen  $x$  adalah  $0^\circ$  diputar terhadap sumbu  $X$  sehingga:

Matriks transformasi  $[R]$ : berupa matriks  $12 \times 12$

$$[R] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$I_z = \frac{1}{12} \times 0,4 \times 0,6^3 = 0,0072$$

$$I_y = \frac{1}{12} \times 0,6 \times 0,4^3 = 0,0032$$

$$\Phi_z = \frac{12EI_z}{GA_{shr}L^2} = \frac{12 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0072}{1,09 \times 10^9 \times 0,2 \times 5^2} = 0,04$$

$$\Phi_y = \frac{12EI_y}{GA_{shr}L^2} = \frac{12 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0032}{1,09 \times 10^9 \times 0,2 \times 5^2} = 0,02$$

$$k_a = \frac{EA}{L} = \frac{2,625 \times 10^9 \times 0,24}{5} = 1,3 \times 10^8$$

$$k_t = \frac{GJ}{L} = \frac{1,09 \times 10^9 \times 0,0075}{5} = 1,6 \times 10^6$$

$$k_{z1} = \frac{12EI_z}{L^3(1+\Phi_y)} = \frac{12 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0072}{5^3 \times (1+0,02)} = 1,7 \times 10^6$$

$$k_{z2} = \frac{6EI_z}{L^2(1+\Phi_y)} = \frac{6 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0072}{5^2 \times (1+0,02)} = 4,4 \times 10^6$$

$$k_{z3} = \frac{(4+\Phi_y)EI_z}{L(1+\Phi_y)} = \frac{(4+0,02) \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0072}{5 \times (1+0,02)} = 1,5 \times 10^7$$

$$k_{z4} = \frac{(2-\Phi_y)EI_z}{L(1+\Phi_y)} = \frac{(2-0,02) \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0072}{5 \times (1+0,02)} = 7,1 \times 10^6$$

$$k_{y1} = \frac{12EI_y}{L^3(1+\Phi_z)} = \frac{12 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0032}{5^3 \times (1+0,04)} = 7,9 \times 10^5$$

$$k_{y2} = \frac{6EI_y}{L^2(1+\Phi_z)} = \frac{6 \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0032}{5^2 \times (1+0,04)} = 2,0 \times 10^6$$

$$k_{y3} = \frac{(4+\Phi_z)EI_y}{L(1+\Phi_z)} = \frac{(4+0,04) \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0032}{5 \times (1+0,04)} = 6,6 \times 10^6$$

$$k_{y4} = \frac{(2-\Phi_z)EI_y}{L(1+\Phi_z)} = \frac{(2-0,04) \times 2,625 \times 10^9 \times 0,0032}{5 \times (1+0,04)} = 3,3 \times 10^6$$

Sehingga matriks kekakuan lokal  $[k]$  elemen 6 dan 7 serta matriks  $[K]$  nya adalah sebagai berikut:



Setelah semua matriks  $[K]$  tiap elemen dijumlahkan dan dilakukan *boundary condition* maka menghasilkan matriks  $24 \times 24$ . Matriks *displacement* didapatkan dengan melakukan perkalian matriks  $[K]^{-1} \times \{p_s\}$  sehingga dihasilkan sebagai berikut :

$$[K]^{-1} \times \begin{Bmatrix} 0 \\ -5 \times 10^4 \\ 0 \\ -2,083 \times 10^4 \\ 0 \\ -2,083 \times 10^4 \\ 0 \\ -5 \times 10^4 \\ 0 \\ 2,083 \times 10^4 \\ 0 \\ -2,083 \times 10^4 \\ 0 \\ -5 \times 10^4 \\ 0 \\ -2,083 \times 10^4 \\ 0 \\ 2,083 \times 10^4 \\ 0 \\ -5 \times 10^4 \\ 0 \\ 2,083 \times 10^4 \\ 0 \\ 2,083 \times 10^4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1,8 \times 10^{-5} \\ -2,6 \times 10^{-4} \\ -1,8 \times 10^{-5} \\ -7,1 \times 10^{-4} \\ 0 \\ -7,1 \times 10^{-4} \\ 1,8 \times 10^{-5} \\ -2,6 \times 10^{-4} \\ 1,8 \times 10^{-5} \\ 7,1 \times 10^{-4} \\ 0 \\ -7,1 \times 10^{-4} \\ -1,8 \times 10^{-5} \\ -2,6 \times 10^{-4} \\ -1,8 \times 10^{-5} \\ -7,1 \times 10^{-4} \\ 0 \\ 7,1 \times 10^{-4} \\ -1,8 \times 10^{-5} \\ -2,6 \times 10^{-4} \\ 1,8 \times 10^{-5} \\ 7,1 \times 10^{-4} \\ 0 \\ 7,1 \times 10^{-4} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{x2} \\ d_{y2} \\ d_{z2} \\ \theta_{x2} \\ \theta_{y2} \\ \theta_{z2} \\ d_{x4} \\ d_{y4} \\ d_{z4} \\ \theta_{x4} \\ \theta_{y4} \\ \theta_{z4} \\ d_{x6} \\ d_{y6} \\ d_{z6} \\ \theta_{x6} \\ \theta_{y6} \\ \theta_{z6} \\ d_{x8} \\ d_{y8} \\ d_{z8} \\ \theta_{x8} \\ \theta_{y8} \\ \theta_{z8} \end{Bmatrix}$$

Dengan demikian gaya-gaya pada tiap-tiap elemen didapat. Hasil dari gaya-gaya dalam tiap elemen itu ditabelkan sebagai berikut:

Frame Reaksi	1	2	3	4	5	6	7	8
$f_{x1}$	$5 \times 10^4$	$5 \times 10^4$	$5 \times 10^4$	$5 \times 10^4$	$4,58 \times 10^3$	$4,58 \times 10^3$	$4,58 \times 10^3$	$4,58 \times 10^3$
$f_{y1}$	$-4,58 \times 10^3$	$-4,58 \times 10^3$	$4,58 \times 10^3$	$4,58 \times 10^3$	$2,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$
$f_{z1}$	$4,58 \times 10^3$	$-4,58 \times 10^3$	$4,58 \times 10^3$	$-4,58 \times 10^3$	0	0	0	0
$m_{x1}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$m_{y1}$	$-7,44 \times 10^3$	$7,44 \times 10^3$	$-7,44 \times 10^3$	$7,44 \times 10^3$	0	0	0	0
$m_{z1}$	$-7,44 \times 10^3$	$-7,44 \times 10^3$	$7,44 \times 10^3$	$7,44 \times 10^3$	$1,55 \times 10^4$	$1,55 \times 10^4$	$1,55 \times 10^4$	$1,55 \times 10^4$
$f_{x2}$	$-5 \times 10^4$	$-5 \times 10^4$	$-5 \times 10^4$	$-5 \times 10^4$	$-4,58 \times 10^3$	$-4,58 \times 10^3$	$-4,58 \times 10^3$	$-4,58 \times 10^3$
$f_{y2}$	$4,58 \times 10^3$	$4,58 \times 10^3$	$-4,58 \times 10^3$	$-4,58 \times 10^3$	$2,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$
$f_{z2}$	$-4,58 \times 10^3$	$4,58 \times 10^3$	$-4,58 \times 10^3$	$4,58 \times 10^3$	0	0	0	0
$m_{x2}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$m_{y2}$	$-1,55 \times 10^4$	$1,55 \times 10^4$	$-1,55 \times 10^4$	$1,55 \times 10^4$	0	0	0	0
$m_{z2}$	$-1,55 \times 10^4$	$-1,55 \times 10^4$	$1,55 \times 10^4$	$1,55 \times 10^4$	$-1,55 \times 10^4$	$-1,55 \times 10^4$	$-1,55 \times 10^4$	$-1,55 \times 10^4$

- Perhitungan analisa balok lentur

Pada model struktur *space frame* ini yang merupakan elemen balok adalah elemen 5, 6, 7, dan 8. Dimana semua momennya besarnya sama sehingga kebutuhan akan tulangnya juga sama besar. Apabila *user* menginginkan menggunakan tulangan ganda maka perhitungan tulangan pada elemen balok adalah :

➤ Ujung tepi kiri :

$$M_u = 1,05 \times 10^8 \text{ N mm}$$

$$M_n = 1,31 \times 10^8 \text{ N mm}$$

$$d = 600 - 50 - \frac{13}{2} = 543,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{1,31 \times 10^8}{400 \times 543,5^2} = 1,1 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0028$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0035$$

Gunakan  $\rho = 0,0028$  maka  $A_{s \text{ perlu}} = 608,72 \text{ mm}^2$  maka tulangan tarik yang digunakan 5 D-13. Asumsi *user* memberi input pada rasio sebesar 0,5 maka banyaknya tulangan tekan yang dibutuhkan sebanyak 3 D-13.

Dengan proses iterasi pada kesetimbangan gaya didapatkan :

$$c = 38,6818 \text{ mm}$$

$$\sum H = 0$$

$$-C_c + A'_s f'_s + A_s f_s$$

$$-(0,85 \times f'_c \times b \times a) + \left(3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times f'_s\right) + \left(5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times f'_s\right) \\ -(0,85 \times 30 \times 400 \times 32,88) + (398,2 \times 175,56) + (663,66 \times 400)$$

$$\sum H = 0 \text{ (terbukti)}$$

$$M_n = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + A'_s f'_s \left(\frac{h}{2} - d'\right) + A_s f_s \left(d - \frac{h}{2}\right) \\ = 335371 \left(\frac{600}{2} - \frac{32,88}{2}\right) + 69907 \left(\frac{600}{2} - 56,5\right) + 265464,6 \left(543,5 - \frac{600}{2}\right) \\ = 176.760.883$$

Nilai  $\phi$  diambil dari Gambar 2.17 didapat 0,8 sehingga  
 $\phi M_n = 141.408.706 \text{ N mm} = 141,41 \text{ KN m}$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{400 - 100 - 5 \times 13}{4} = 58,75 \text{ mm}$$

$$s' = \frac{400 - 100 - 3 \times 13}{2} = 130,5 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran

$$\text{Tarik} = \frac{l_d}{d_b} = \frac{9f_y}{10\sqrt{f'_c}} \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{\left(\frac{c + K_{tr}}{d_b}\right)}$$

$$\frac{l_d}{13} = \frac{9 \times 400}{10 \times \sqrt{30}} \frac{1 \times 1 \times 0,8 \times 1}{\left(\frac{38,682 + 90,37}{13}\right)}$$

$$l_d = 68,86 \text{ mm}$$

$$\text{Tekan} = \begin{cases} l_d = \frac{d_b f_y}{4\sqrt{f'_c}} = \frac{13 \times 400}{4 \times \sqrt{30}} = 237,35 \text{ mm (menentukan)} \\ l_d = 0,04 d_b f_y = 0,04 \times 13 \times 400 = 208 \text{ mm} \end{cases}$$

➤ Tengah bentang :

$$M_u = 1,546 \times 10^8 \text{ N mm}$$

$$M_n = 1,9325 \times 10^8 \text{ N mm}$$

$$d = 600 - 50 - \frac{13}{2} = 543,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{1,9325 \times 10^8}{400 \times 543,5^2} = 1,6 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,67$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0041$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0035$$

Gunakan  $\rho = 0,0041$  maka  $A_{s \text{ perlu}} = 899,7 \text{ mm}^2$  maka tulangan tarik yang digunakan 7 D-13. Asumsi user memberi input pada rasio sebesar 0,5 maka banyaknya tulangan tekan yang dibutuhkan sebanyak 4 D-13.

Dengan proses iterasi pada kesetimbangan gaya didapatkan :

$$c = 46,033 \text{ mm}$$

$$\sum H = 0$$

$$-C_c + A'_s f'_s + A_{s1} f_{s1} + A_{s2} f_{s2}$$

$$-(0,85 \times f'_c \times b \times a) + \left(4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times f'_s\right) + \left(7 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times f_{s1}\right)$$

$$-(0,85 \times 30 \times 400 \times 39,13) + (530,93 \times 51,7) + (929,126 \times 400)$$

$$\sum H = 0 \text{ (terbukti)}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_s \left( d - \frac{h}{2} \right) \\
 &= 399104 \left( \frac{600}{2} - \frac{39,13}{2} \right) + 27453,9 \left( \frac{600}{2} - 56,5 \right) + 371650,4 \left( 543,5 - \frac{600}{2} \right) \\
 &= 209.105.116
 \end{aligned}$$

Nilai  $\phi$  diambil dari Gambar 2.17 didapat 0,8 sehingga

$$\phi M_n = 167.284.133 \text{ N mm} = 167,28 \text{ KN m}$$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{400 - 100 - 7 \times 13}{6} = 34,83 \text{ mm}$$

$$s' = \frac{400 - 100 - 4 \times 13}{3} = 82,67 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran

$$\text{Tarik} = \frac{l_d}{d_b} = \frac{9 f_y}{10 \sqrt{f'_c}} \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{\left( \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right)}$$

$$\frac{l_d}{13} = \frac{9 \times 400}{10 \times \sqrt{30}} \frac{1 \times 1 \times 0,8 \times 1}{\left( \frac{46,033 + 152,43}{13} \right)}$$

$$l_d = 44,77 \text{ mm}$$

$$\text{Tekan} = \begin{cases} l_d = \frac{d_b f_y}{4 \sqrt{f'_c}} = \frac{13 \times 400}{4 \times \sqrt{30}} = 237,35 \text{ mm (menentukan)} \\ l_d = 0,04 d_b f_y = 0,04 \times 13 \times 400 = 208 \text{ mm} \end{cases}$$

► Ujung tepi kanan :

$$M_u = 1,0462 \times 10^8 \text{ N mm}$$

$$M_n = 1,30775 \times 10^8 \text{ N mm}$$

$$d = 600 - 50 - \frac{13}{2} = 543,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{1,30775 \times 10^8}{400 \times 543,5^2} = 1,1 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0028$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0035$$

Gunakan  $\rho = 0,0028$  maka  $A_{s,\text{perlu}} = 611,3 \text{ mm}^2$  maka tulangan tarik yang digunakan 5 D-13. Asumsi *user* memberi input pada rasio sebesar 0,5 maka banyaknya tulangan tekan yang dibutuhkan sebanyak 3 D-24.

Dengan proses iterasi pada kesetimbangan gaya didapatkan :

$$c = 38,6818 \text{ mm}$$

$$\sum H = 0$$

$$-C_c + A'_s f'_s + A_s f_s$$

$$-(0,85 \times f'_c \times b \times a) + \left(3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times f'_s\right) + \left(5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times f_s\right)$$

$$-(0,85 \times 30 \times 400 \times 32,88) + (398,2 \times 175,56) + (663,66 \times 400)$$

$$\sum H = 0 \text{ (terbukti)}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_s \left( d - \frac{h}{2} \right) \\
 &= 335371 \left( \frac{600}{2} - \frac{32,88}{2} \right) + 69906,8 \left( \frac{600}{2} - 56,5 \right) + 265464,6 \left( 543,5 - \frac{600}{2} \right) \\
 &= 176.760.883
 \end{aligned}$$

Nilai  $\phi$  diambil dari Gambar 2.17 didapat 0,8 sehingga

$$\phi M_n = 141.408.706 \text{ N mm} = 141,41 \text{ KN m}$$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{400 - 100 - 5 \times 13}{4} = 58,75 \text{ mm}$$

$$s' = \frac{400 - 100 - 3 \times 13}{2} = 130,5 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran

$$\text{Tarik} = \frac{l_d}{d_b} = \frac{9 f_y}{10 \sqrt{f'_c}} \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{\left( \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right)}$$

$$\frac{l_d}{13} = \frac{9 \times 400}{10 \times \sqrt{30}} \frac{1 \times 1 \times 0,8 \times 1}{\left( \frac{38,682 + 90,37}{13} \right)}$$

$$l_d = 68,86 \text{ mm}$$

$$\text{Tekan} = \begin{cases} l_d = \frac{d_b f_y}{4 \sqrt{f'_c}} = \frac{13 \times 400}{4 \times \sqrt{30}} = 237,35 \text{ mm (menentukan)} \\ l_d = 0,04 d_b f_y = 0,04 \times 13 \times 400 = 208 \text{ mm} \end{cases}$$

### 5.3.2. Perhitungan dengan SAP2000 (lengkap lihat Lampiran)

Dengan menginputkan data-data yang ada, maka *output* yang ditampilkan pada program bantu professional SAP2000 yaitu:

*Displacement* pada *joint* atau titik nodal:

	$u_1$ (m)	$u_2$ (m)	$u_3$ (m)	$\theta_1$ (rad)	$\theta_2$ (rad)	$\theta_3$ (rad)
1	0	0	0	0	0	0
2	0,000018	0,000018	-0,00026	-0,00071	0,00071	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0,000018	-0,000018	-0,00026	0,00071	0,00071	0
5	0	0	0	0	0	0
6	-0,000018	0,000018	-0,00026	-0,00071	-0,00071	0
7	0	0	0	0	0	0
8	-0,000018	-0,000018	-0,00026	0,00071	-0,00071	0

Reaksi pada perletakan:

	$F_1$ (kg)	$F_2$ (kg)	$F_3$ (kg)	$M_1$ (kgm)	$M_2$ (kgm)	$M_3$ (kgm)
1	4.582,7	4.582,7	50.000	-7.438,2	7.438,2	0
2	0	0	0	0	0	0
3	4.582,7	-4.582,7	50.000	7.438,2	7.438,2	0
4	0	0	0	0	0	0
5	-4.582,7	4.582,7	50.000	-7.438,2	-7.438,2	0
6	0	0	0	0	0	0
7	-4.582,7	-4.582,7	50.000	7.438,2	-7.438,2	0
8	0	0	0	0	0	0

Reaksi pada masing-masing elemen:

Elemen 1		Elemen 2	
$f_{x1}$	50.000	$f_{x1}$	50.000
$f_{y1}$	-4.582,7	$f_{y1}$	-4.582,7
$f_{z1}$	4.582,7	$f_{z1}$	-4.582,7
$m_{y1}$	-7.438,2	$m_{y1}$	7.438,2
$m_{z1}$	-7.438,2	$m_{z1}$	-7.438,2
$f_{x2}$	-50.000	$f_{x2}$	-50.000
$f_{y2}$	4.582,7	$f_{y2}$	4.582,7
$f_{z2}$	-4.582,7	$f_{z2}$	4.582,7
$m_{y2}$	-15.475,3	$m_{y2}$	15.475,3
$m_{z2}$	-15.475,3	$m_{z2}$	-15.475,3

Reaksi pada masing-masing elemen:

Elemen 3		Elemen 4		Elemen 5	
$f_{x1}$	50.000	$f_{x1}$	50.000	$f_{x1}$	4.582,7
$f_{y1}$	4.582,7	$f_{y1}$	4.582,7	$f_{y1}$	25.000
$f_{z1}$	4.582,7	$f_{z1}$	-4.582,7	$f_{z1}$	0
$m_{y1}$	-7.438,2	$m_{y1}$	7.438,2	$m_{y1}$	0
$m_{z1}$	7.438,2	$m_{z1}$	7.438,2	$m_{z1}$	15.475,3
$f_{x2}$	-50.000	$f_{x2}$	-50.000	$f_{x2}$	-4.582,7
$f_{y2}$	-4.582,7	$f_{y2}$	-4.582,7	$f_{y2}$	25.000
$f_{z2}$	-4.582,7	$f_{z2}$	4.582,7	$f_{z2}$	0
$m_{y2}$	-15.475,3	$m_{y2}$	15.475,3	$m_{y2}$	0
$m_{z2}$	15.475,3	$m_{z2}$	15.475,3	$m_{z2}$	-15.475,3
Elemen 6		Elemen 7		Elemen 8	
$f_{x1}$	4.582,7	$f_{x1}$	4.582,7	$f_{x1}$	4.582,7
$f_{y1}$	25.000	$f_{y1}$	25.000	$f_{y1}$	25.000
$f_{z1}$	0	$f_{z1}$	0	$f_{z1}$	0
$m_{y1}$	0	$m_{y1}$	0	$m_{y1}$	0
$m_{z1}$	15.475,3	$m_{z1}$	15.475,3	$m_{z1}$	15.475,3
$f_{x2}$	-4.582,7	$f_{x2}$	-4.582,7	$f_{x2}$	-4.582,7
$f_{y2}$	25.000	$f_{y2}$	25.000	$f_{y2}$	25.000
$f_{z2}$	0	$f_{z2}$	0	$f_{z2}$	0
$m_{y2}$	0	$m_{y2}$	0	$m_{y2}$	0
$m_{z2}$	-15.475,3	$m_{z2}$	-15.475,3	$m_{z2}$	-15.475,3

### 5.3.3. Perhitungan dengan SFAP

Terbagi menjadi dua proses yaitu proses *input* dan proses *output*. Dimana proses *input* itu adalah: (Gambar lihat lampiran)

*Input 1: General Information (Input > General Information)*

*Project name* : *Space Frame2*

*Units* : kg, m

*Input 2: Material Properties (Input > Define Material Properties)*

*Material name* : *Concrete*

*Modulus of elasticity* : 2000000000  
*Poisson's ratio* : 0.2

**Input 3: Section Properties (Input > Define Section Properties)**

*Section name* : Beam  
*Section wizard*  
*Select frame section* : Rectangular  
*Depth* : 0.6  
*Width* : 0.4  
*Section name* : Column  
*Section wizard*  
*Select frame section* : Rectangular  
*Depth* : 0.6  
*Width* : 0.6

**Input 4: Reinforcement Properties (Input > Assign Reinforcement  
 List>Beam)**

*Type* : D-13  
*f<sub>y</sub>* : 400  
*f<sub>yv</sub>* : 400  
*Ratio* : 0,5

**Input 5: Reinforcement Properties (Input > Assign Reinforcement  
 List>Column)**

*Diameter of bar* : 19  
*Decking* : 40  
*f<sub>y</sub>* : 400  
*E<sub>s</sub>* : 200000

**Input 6: Nodal Coordinates (Input > Nodal Coordinates)**

*Nodal 1: X = 0; Y = 0; Z = 0*  
*Nodal 2: X = 0; Y = 5; Z = 0*  
*Nodal 3: X = 0; Y = 0; Z = 5*  
*Nodal 4: X = 0; Y = 5; Z = 5*

*Nodal 5: X = 5; Y = 0; Z = 0*

*Nodal 6: X = 5; Y = 5; Z = 0*

*Nodal 7: X = 5; Y = 0; Z = 5*

*Nodal 8: X = 5; Y = 5; Z = 5*

*Input 7: Frame Properties (Input > Frame Properties)*

*Frame 1: Start joint: 1; End joint: 2; Section: Column*

*Frame 2: Start joint: 3; End joint: 4; Section: Column*

*Frame 3: Start joint: 5; End joint: 6; Section: Column*

*Frame 4: Start joint: 7; End joint: 8; Section: Column*

*Frame 5: Start joint: 2; End joint: 4; Section: Beam*

*Frame 6: Start joint: 2; End joint: 6; Section: Beam*

*Frame 7: Start joint: 4; End joint: 8; Section: Beam*

*Frame 8: Start joint: 6; End joint: 8; Section: Beam*

*Input 8: Joint Restraint (Input > Assign Joint Restraint)*

*Label 1: Fast Restraint : Fixed*

*Label 3: Fast Restraint : Fixed*

*Label 5: Fast Restraint : Fixed*

*Label 7: Fast Restraint : Fixed*

*Input 9: Distributed Load (Input > Distributed Frame Loads)*

*Frame label 5: Force global Y : -10000*

*Frame label 6: Force global Y : -10000*

*Frame label 7: Force global Y : -10000*

*Frame label 8: Force global Y : -10000*

Proses output: (lengkap lihat Lampiran)

**Output 1 : Displacement**

Node	$u_x$	$u_y$	$u_z$	$\theta_x$	$\theta_z$
2	0,000018	-0,00026	0,000018	0,00071	-0,00071
4	0,000018	-0,00026	-0,000018	-0,00071	-0,00071
6	-0,000018	-0,00026	0,000018	0,00071	0,00071
8	-0,000018	-0,00026	-0,000018	-0,00071	0,00071

**Output 2 : Support Reaction**

Node	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_z$
1	4.582,7	50.000	4.582,7	7.438,2	-7.438,2
3	4.582,7	50.000	-4.582,7	-7.438,2	-7.438,2
5	-4.582,7	50.000	4.582,7	7.438,2	7.438,2
7	-4.582,7	50.000	-4.582,7	-7.438,2	7.438,2

**Output 3 : Element Forces**

Elemen 1		Elemen 2	
$f_{x1}$	50.000	$f_{x1}$	50.000
$f_{y1}$	-4.582,7	$f_{y1}$	-4.582,7
$f_{z1}$	4.582,7	$f_{z1}$	-4.582,7
$m_{y1}$	-7.438,2	$m_{y1}$	7.438,2
$m_{z1}$	-7.438,2	$m_{z1}$	-7.438,2
$f_{x2}$	-50.000	$f_{x2}$	-50.000
$f_{y2}$	4.582,7	$f_{y2}$	4.582,7
$f_{z2}$	-4.582,7	$f_{z2}$	4.582,7
$m_{y2}$	-15.475,3	$m_{y2}$	15.475,3
$m_{z2}$	-15.475,3	$m_{z2}$	-15.475,3

Elemen 3		Elemen 4		Elemen 5	
$f_{x1}$	50.000	$f_{x1}$	50.000	$f_{x1}$	4.582,7
$f_{y1}$	4.582,7	$f_{y1}$	4.582,7	$f_{y1}$	25.000
$f_{z1}$	4.582,7	$f_{z1}$	-4.582,7	$f_{z1}$	0
$m_{y1}$	-7.438,2	$m_{y1}$	7.438,2	$m_{y1}$	0
$m_{z1}$	7.438,2	$m_{z1}$	7.438,2	$m_{z1}$	15.475,3
$f_{x2}$	-50.000	$f_{x2}$	-50.000	$f_{x2}$	-4.582,7
$f_{y2}$	-4.582,7	$f_{y2}$	-4.582,7	$f_{y2}$	25.000
$f_{z2}$	-4.582,7	$f_{z2}$	4.582,7	$f_{z2}$	0
$m_{y2}$	-15.475,3	$m_{y2}$	15.475,3	$m_{y2}$	0
$m_{z2}$	15.475,3	$m_{z2}$	15.475,3	$m_{z2}$	-15.475,3
Elemen 6		Elemen 7		Elemen 8	
$f_{x1}$	4.582,7	$f_{x1}$	4.582,7	$f_{x1}$	4.582,7
$f_{y1}$	25.000	$f_{y1}$	25.000	$f_{y1}$	25.000
$f_{z1}$	0	$f_{z1}$	0	$f_{z1}$	0
$m_{y1}$	0	$m_{y1}$	0	$m_{y1}$	0
$m_{z1}$	15.475,3	$m_{z1}$	15.475,3	$m_{z1}$	15.475,3
$f_{x2}$	-4.582,7	$f_{x2}$	-4.582,7	$f_{x2}$	-4.582,7
$f_{y2}$	25.000	$f_{y2}$	25.000	$f_{y2}$	25.000
$f_{z2}$	0	$f_{z2}$	0	$f_{z2}$	0
$m_{y2}$	0	$m_{y2}$	0	$m_{y2}$	0
$m_{z2}$	-15.475,3	$m_{z2}$	-15.475,3	$m_{z2}$	-15.475,3

**Tabel 5.5.** Perbandingan hasil SFAP dengan hitungan manual dan program SAP 2000 kasus 3

Analisa Struktur	Parameter	SFAP	Manual	SAP 2000	Selisih
<i>Displacement</i>	$u_{x2}$	0,000018	0,000018	0,000018	0
	$u_{y2}$	-0,00026	-0,00026	-0,00026	0
	$u_{z2}$	0,000018	0,000018	0,000018	0
	$\theta_{x2}$	0,00071	0,00071	0,00071	0
	$\theta_{z2}$	-0,00071	-0,00071	-0,00071	0
	$u_{x4}$	0,000018	0,000018	0,000018	0
	$u_{y4}$	-0,00026	-0,00026	-0,00026	0
	$u_{z4}$	-0,000018	-0,000018	-0,000018	0
	$\theta_{x4}$	-0,00071	-0,00071	-0,00071	0
	$\theta_{z4}$	-0,00071	-0,00071	-0,00071	0
	$u_{x6}$	-0,000018	-0,000018	-0,000018	0
	$u_{y6}$	-0,00026	-0,00026	-0,00026	0
	$u_{z6}$	0,000018	0,000018	0,000018	0
	$\theta_{x6}$	0,00071	0,00071	0,00071	0
	$\theta_{z6}$	0,00071	0,00071	0,00071	0
	$u_{x8}$	-0,000018	-0,000018	-0,000018	0
	$u_{y8}$	-0,00026	-0,00026	-0,00026	0
	$u_{z8}$	-0,000018	-0,000018	-0,000018	0
	$\theta_{x8}$	-0,00071	-0,00071	-0,00071	0
	$\theta_{z8}$	0,00071	0,00071	0,00071	0

Analisa Struktur	Parameter	SFAP	Manual	SAP 2000	Selisih
<i>Support Reaction</i>	$F_{x1}$	4.582,7	4.582,7	4.582,7	0
	$F_{y1}$	50.000	50.000	50.000	0
	$F_{z1}$	4.582,7	4.582,7	4.582,7	0
	$M_{x1}$	7.438,2	7.438,2	7.438,2	0
	$M_{z1}$	-7.438,2	-7.438,2	-7.438,2	0
	$F_{x3}$	4.582,7	4.582,7	4.582,7	0
	$F_{y3}$	50.000	50.000	50.000	0
	$F_{z3}$	-4.582,7	-4.582,7	-4.582,7	0
	$M_{x3}$	-7.438,2	-7.438,2	-7.438,2	0
	$M_{z3}$	-7.438,2	-7.438,2	-7.438,2	0
	$F_{x5}$	-4.582,7	-4.582,7	-4.582,7	0
	$F_{y5}$	50.000	50.000	50.000	0
	$F_{z5}$	4.582,7	4.582,7	4.582,7	0
	$M_{x5}$	7.438,2	7.438,2	7.438,2	0
	$M_{z5}$	7.438,2	7.438,2	7.438,2	0
	$F_{x7}$	-4.582,7	-4.582,7	-4.582,7	0
	$F_{y7}$	50.000	50.000	50.000	0
	$F_{z7}$	-4.582,7	-4.582,7	-4.582,7	0
	$M_{x7}$	-7.438,2	-7.438,2	-7.438,2	0
$M_{z7}$	7.438,2	7.438,2	7.438,2	0	

Analisa Struktur	Parameter	SFAP	Manual	SAP 2000	Selisih
<i>Element Forces Frame 1</i>	$f_{x1}$	50.000	50.000	50.000	0
	$f_{y1}$	-4.582,7	-4.582,7	-4.582,7	0
	$f_{z1}$	4.582,7	4.582,7	4.582,7	0
	$m_{y1}$	-7.438,2	-7.438,2	-7.438,2	0
	$m_{z1}$	-7.438,2	-7.438,2	-7.438,2	0
	$f_{x2}$	-50.000	-50.000	-50.000	0
	$f_{y2}$	4.582,7	4.582,7	4.582,7	0
	$f_{z2}$	-4.582,7	-4.582,7	-4.582,7	0
	$m_{y2}$	-15.475,3	-15.475,3	-15.475,3	0
	$m_{z2}$	-15.475,3	-15.475,3	-15.475,3	0
<i>Element Forces Frame 2</i>	$f_{x1}$	50.000	50.000	50.000	0
	$f_{y1}$	-4.582,7	-4.582,7	-4.582,7	0
	$f_{z1}$	-4.582,7	-4.582,7	-4.582,7	0
	$m_{y1}$	7.438,2	7.438,2	7.438,2	0
	$m_{z1}$	-7.438,2	-7.438,2	-7.438,2	0
	$f_{x2}$	-50.000	-50.000	-50.000	0
	$f_{y2}$	4.582,7	4.582,7	4.582,7	0
	$f_{z2}$	4.582,7	4.582,7	4.582,7	0
	$m_{y2}$	15.475,3	15.475,3	15.475,3	0
	$m_{z2}$	-15.475,3	-15.475,3	-15.475,3	0

Analisa Struktur	Parameter	SFAP	Manual	SAP 2000	Selisih
<i>Element Forces Frame 3</i>	$f_{x1}$	50.000	50.000	50.000	0
	$f_{y1}$	4.582,7	4.582,7	4.582,7	0
	$f_{z1}$	4.582,7	4.582,7	4.582,7	0
	$m_{y1}$	-7.438,2	-7.438,2	-7.438,2	0
	$m_{z1}$	7.438,2	7.438,2	7.438,2	0
	$f_{x2}$	-50.000	-50.000	-50.000	0
	$f_{y2}$	-4.582,7	-4.582,7	-4.582,7	0
	$f_{z2}$	-4.582,7	-4.582,7	-4.582,7	0
	$m_{y2}$	-15.475,3	-15.475,3	-15.475,3	0
	$m_{z2}$	15.475,3	15.475,3	15.475,3	0
<i>Element Forces Frame 4</i>	$f_{x1}$	50.000	50.000	50.000	0
	$f_{y1}$	4.582,7	4.582,7	4.582,7	0
	$f_{z1}$	-4.582,7	-4.582,7	-4.582,7	0
	$m_{y1}$	7.438,2	7.438,2	7.438,2	0
	$m_{z1}$	7.438,2	7.438,2	7.438,2	0
	$f_{x2}$	-50.000	-50.000	-50.000	0
	$f_{y2}$	-4.582,7	-4.582,7	-4.582,7	0
	$f_{z2}$	4.582,7	4.582,7	4.582,7	0
	$m_{y2}$	15.475,3	15.475,3	15.475,3	0
	$m_{z2}$	15.475,3	15.475,3	15.475,3	0

Analisa Struktur	Parameter	SFAP	Manual	SAP 2000	Selisih
<i>Element Forces Frame 5</i>	$f_{x1}$	4.582,7	4.582,7	4.582,7	0
	$f_{y1}$	25.000	25.000	25.000	0
	$f_{z1}$	0	0	0	0
	$m_{y1}$	0	0	0	0
	$m_{z1}$	15.475,3	15.475,3	15.475,3	0
	$f_{x2}$	-4.582,7	-4.582,7	-4.582,7	0
	$f_{y2}$	25.000	25.000	25.000	0
	$f_{z2}$	0	0	0	0
	$m_{y2}$	0	0	0	0
	$m_{z2}$	-15.475,3	-15.475,3	-15.475,3	0
<i>Element Forces Frame 6</i>	$f_{x1}$	4.582,7	4.582,7	4.582,7	0
	$f_{y1}$	25.000	25.000	25.000	0
	$f_{z1}$	0	0	0	0
	$m_{y1}$	0	0	0	0
	$m_{z1}$	15.475,3	15.475,3	15.475,3	0
	$f_{x2}$	-4.582,7	-4.582,7	-4.582,7	0
	$f_{y2}$	25.000	25.000	25.000	0
	$f_{z2}$	0	0	0	0
	$m_{y2}$	0	0	0	0
	$m_{z2}$	-15.475,3	-15.475,3	-15.475,3	0

Analisa Struktur	Parameter	SFAP	Manual	SAP 2000	Selisih
<i>Element Forces Frame 7</i>	$f_{x1}$	4.582,7	4.582,7	4.582,7	0
	$f_{y1}$	25.000	25.000	25.000	0
	$f_{z1}$	0	0	0	0
	$m_{y1}$	0	0	0	0
	$m_{z1}$	15.475,3	15.475,3	15.475,3	0
	$f_{x2}$	-4.582,7	-4.582,7	-4.582,7	0
	$f_{y2}$	25.000	25.000	25.000	0
	$f_{z2}$	0	0	0	0
	$m_{y2}$	0	0	0	0
	$m_{z2}$	-15.475,3	-15.475,3	-15.475,3	0
<i>Element Forces Frame 8</i>	$f_{x1}$	4.582,7	4.582,7	4.582,7	0
	$f_{y1}$	25.000	25.000	25.000	0
	$f_{z1}$	0	0	0	0
	$m_{y1}$	0	0	0	0
	$m_{z1}$	15.475,3	15.475,3	15.475,3	0
	$f_{x2}$	-4.582,7	-4.582,7	-4.582,7	0
	$f_{y2}$	25.000	25.000	25.000	0
	$f_{z2}$	0	0	0	0
	$m_{z2}$	-15.475,3	-15.475,3	-15.475,3	0

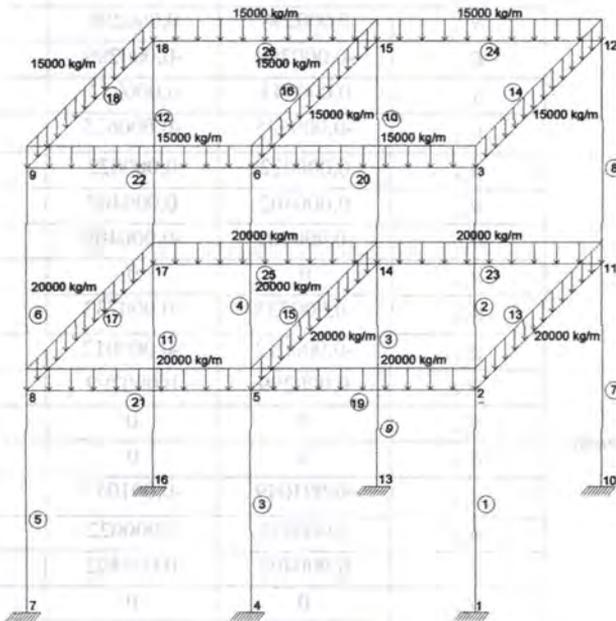
**Tabel 5.6.** Perbandingan hasil SFAP dengan hitungan manual kasus 3

Analisa Lentur	Parameter	SFAP	Manual	Selisih
Frame 5	n Tarik Kiri	5 D-13	5 D-13	0
	n Tekan Kiri	3 D-13	3 D-13	0
	$M_u$ Kiri	104,62 KN m	104,62 KN m	0
	$\phi M_n$ Kiri	141,41 KN m	141,41 KN m	0
	n Tarik Tengah	7 D-13	7 D-13	0
	n Tekan Tengah	4 D-13	4 D-13	0
	$M_u$ Tengah	154,59 KN m	154,59 KN m	0
	$\phi M_n$ Tengah	167,28 KN m	167,28 KN m	0
	n Tarik Kanan	5 D-13	5 D-13	0
	n Tekan Kanan	3 D-13	3 D-13	0
	$M_u$ Kanan	104,62 KN m	104,62 KN m	0
	$\phi M_n$ Kanan	141,41 KN m	141,41 KN m	0
Frame 6	n Tarik Kiri	5 D-13	5 D-13	0
	n Tekan Kiri	3 D-13	3 D-13	0
	$M_u$ Kiri	104,62 KN m	104,62 KN m	0
	$\phi M_n$ Kiri	141,41 KN m	141,41 KN m	0
	n Tarik Tengah	7 D-13	7 D-13	0
	n Tekan Tengah	4 D-13	4 D-13	0
	$M_u$ Tengah	154,59 KN m	154,59 KN m	0
	$\phi M_n$ Tengah	167,28 KN m	167,28 KN m	0
	n Tarik Kanan	5 D-13	5 D-13	0
	n Tekan Kanan	3 D-13	3 D-13	0
	$M_u$ Kanan	104,62 KN m	104,62 KN m	0
	$\phi M_n$ Kanan	141,41 KN m	141,41 KN m	0

Analisa Lentur	Parameter	SFAP	Manual	Selisih
<i>Frame 7</i>	n Tarik Kiri	5 D-13	5 D-13	0
	n Tekan Kiri	3 D-13	3 D-13	0
	$M_u$ Kiri	104,62 KN m	104,62 KN m	0
	$\phi M_n$ Kiri	141,41 KN m	141,41 KN m	0
	n Tarik Tengah	7 D-13	7 D-13	0
	n Tekan Tengah	4 D-13	4 D-13	0
	$M_u$ Tengah	154,59 KN m	154,59 KN m	0
	$\phi M_n$ Tengah	167,28 KN m	167,28 KN m	0
	n Tarik Kanan	5 D-13	5 D-13	0
	n Tekan Kanan	3 D-13	3 D-13	0
	$M_u$ Kanan	104,62 KN m	104,62 KN m	0
	$\phi M_n$ Kanan	141,41 KN m	141,41 KN m	0
<i>Frame 8</i>	n Tarik Kiri	5 D-13	5 D-13	0
	n Tekan Kiri	3 D-13	3 D-13	0
	$M_u$ Kiri	104,62 KN m	104,62 KN m	0
	$\phi M_n$ Kiri	141,41 KN m	141,41 KN m	0
	n Tarik Tengah	7 D-13	7 D-13	0
	n Tekan Tengah	4 D-13	4 D-13	0
	$M_u$ Tengah	154,59 KN m	154,59 KN m	0
	$\phi M_n$ Tengah	167,28 KN m	167,28 KN m	0
	n Tarik Kanan	5 D-13	5 D-13	0
	n Tekan Kanan	3 D-13	3 D-13	0
	$M_u$ Kanan	104,62 KN m	104,62 KN m	0
	$\phi M_n$ Kanan	141,41 KN m	141,41 KN m	0

#### 5.4. Kasus 4 – Space Frame 2

Diambil contoh *space frame* ini untuk menverifikasi apakah *software* yang dibuat ini mampu untuk menghitung gedung bertingkat. Pengecekan hanya dilakukan dengan program SAP 2000 tanpa hitungan manual.



Gambar 5.7. Kasus 4 – Space Frame 2

Diketahui:

Kuat tekan beton,  $f'_c$  = 30MPa

Poisson Ratio,  $\nu$  = 0,2

Dimensi balok = 300×500 mm

Dimensi kolom = 500×500 mm

Diameter tulangan longitudinal dan geser = D-13 dan Ø10

Kuat leleh tulangan,  $f_y$  = 400MPa

**Tabel 5.7.** Perbandingan hasil SFAP dengan hitungan manual dan program SAP 2000 kasus 4 (lengkap lihat Lampiran)

Analisa Struktur	Parameter	SFAP	SAP 2000	Selisih
<i>Displacement</i>	$u_{x2}$	-0,000023	-0,000023	0
	$u_{y2}$	-0,000473	-0,000473	0
	$u_{z2}$	-0,000012	-0,000012	0
	$\theta_{x2}$	0,000298	0,000298	0
	$\theta_{z2}$	-0,000299	-0,000299	0
	$u_{x3}$	0,000043	0,000043	0
	$u_{y3}$	-0,000675	-0,000675	0
	$u_{z3}$	0,000022	0,000022	0
	$\theta_{x3}$	0,000402	0,000402	0
	$\theta_{z3}$	-0,000409	-0,000409	0
	$u_{x5}$	0	0	0
	$u_{y5}$	-0,000733	-0,000733	0
	$u_{z5}$	-0,000012	-0,000012	0
	$\theta_{x5}$	0,000299	0,000299	0
	$\theta_{z5}$	0	0	0
	$u_{x6}$	0	0	0
	$u_{y6}$	-0,001049	-0,001049	0
	$u_{z6}$	0,000022	0,000022	0
	$\theta_{x6}$	0,000402	0,000402	0
	$\theta_{z6}$	0	0	0
	$u_{x8}$	0,000023	0,000023	0
	$u_{y8}$	-0,000473	-0,000473	0
	$u_{z8}$	-0,000012	-0,000012	0
	$\theta_{x8}$	0,000298	0,000298	0
	$\theta_{z8}$	0,000299	0,000299	0
	$u_{x9}$	-0,000043	-0,000043	0
	$u_{y9}$	-0,000675	-0,000675	0
	$u_{z9}$	0,000022	0,000022	0
$\theta_{x9}$	0,000402	0,000402	0	
$\theta_{z9}$	0	0	0	

Analisa Struktur	Parameter	SFAP	SAP 2000	Selisih
<i>Displacement</i>	$u_{x11}$	-0,000023	-0,000023	0
	$u_{y11}$	-0,000473	-0,000473	0
	$u_{z11}$	0,000012	-0,000023	0
	$\theta_{x11}$	-0,000299	-0,000473	0
	$\theta_{z11}$	-0,000299	0,000012	0
	$u_{x12}$	0,000043	-0,000299	0
	$u_{y12}$	-0,000675	-0,000299	0
	$u_{z12}$	-0,000022	0,000043	0
	$\theta_{x12}$	-0,000402	-0,000675	0
	$\theta_{z12}$	-0,000409	-0,000022	0
	$u_{x14}$	0	-0,000402	0
	$u_{y14}$	-0,000733	-0,000409	0
	$u_{z14}$	0,000012	0	0
	$\theta_{x14}$	-0,000299	-0,000733	0
	$\theta_{z14}$	0	0,000012	0
	$u_{x15}$	0	-0,000299	0
	$u_{y15}$	-0,00105	0	0
	$u_{z15}$	-0,000022	0	0
	$\theta_{x15}$	-0,000402	-0,00105	0
	$\theta_{z15}$	0	-0,000022	0
	$u_{x17}$	0,000023	-0,000402	0
	$u_{y17}$	-0,000473	0	0
	$u_{z17}$	0,000012	0,000023	0
	$\theta_{x17}$	-0,000299	-0,000473	0
$\theta_{z17}$	0,000299	0,000012	0	
$u_{x18}$	-0,0000427	-0,000299	0	
$u_{y18}$	-0,000675	0,000299	0	
$u_{z18}$	-0,000022	-0,0000427	0	
$\theta_{x18}$	-0,000402	-0,000675	0	
$\theta_{z18}$	0,000409	-0,000022	0	

Analisa Struktur	Parameter	SFAP	SAP 2000	Selisih
<i>Support Reaction</i>	$F_{x1}$	2.645,71	2.645,71	0
	$F_{y1}$	103.554,94	103.554,94	0
	$F_{z1}$	2.590,32	2.590,32	0
	$M_{x1}$	2.522,97	2.522,97	0
	$M_{z1}$	-2.608,41	-2.608,41	0
	$F_{x4}$	0	0	0
	$F_{y4}$	160.390,12	160.390,12	0
	$F_{z4}$	2.590,32	2.590,32	0
	$M_{x4}$	2.522,97	2.522,97	0
	$M_{z4}$	0	0	0
	$F_{x7}$	-2.645,71	-2.645,71	0
	$F_{y7}$	103.554,94	103.554,94	0
	$F_{z7}$	2.590,32	2.590,32	0
	$M_{x7}$	2.522,97	2.522,97	0
	$M_{z7}$	2.608,41	2.608,41	0
	$F_{x10}$	2.645,71	2.645,71	0
	$F_{y10}$	103.554,94	103.554,94	0
	$F_{z10}$	-2.590,32	-2.590,32	0
	$M_{x10}$	-2.522,97	-2.522,97	0
	$M_{z10}$	-2.608,41	-2.608,41	0
	$F_{x13}$	0	0	0
	$F_{y13}$	160.390,12	160.390,12	0
	$F_{z13}$	-2.590,32	-2.590,32	0
	$M_{x13}$	-2.522,97	-2.522,97	0
$M_{z13}$	0	0	0	
$F_{x16}$	-2.645,71	-2.645,71	0	
$F_{y16}$	103.554,94	103.554,94	0	
$F_{z16}$	-2.590,32	-2.590,32	0	
$M_{x16}$	-2.522,97	-2.522,97	0	
$M_{z16}$	2.608,41	2.608,41	0	

## Untuk reaksi pada elemen selengkanya lihat lampiran

Analisa Struktur	Parameter	SFAP	SAP 2000	Selisih
<i>Element Forces Frame 1</i>	$f_{x1}$	103.554,94	103.554,94	0
	$f_{y1}$	-2.645,71	-2.645,71	0
	$f_{z1}$	2.590,32	2.590,32	0
	$m_{y1}$	-2.522,97	-2.522,97	0
	$m_{z1}$	-2.608,41	-2.608,41	0
	$f_{x2}$	-103.554,94	-103.554,94	0
	$f_{y2}$	2.645,71	2.645,71	0
	$f_{z2}$	-2.590,32	-2.590,32	0
	$m_{y2}$	-5.247,99	-5.247,99	0
	$m_{z2}$	-5.328,73	-5.328,73	0
<i>Element Forces Frame 13</i>	$f_{x1}$	-3.133,09	-3.133,09	0
	$f_{y1}$	30.000,00	30.000,00	0
	$f_{z1}$	0	0	0
	$m_{y1}$	0	0	0
	$m_{z1}$	13.364,99	13.364,99	0
	$f_{x2}$	3.133,09	3.133,09	0
	$f_{y2}$	30.000,00	30.000,00	0
	$f_{z2}$	0	0	0
	$m_{y2}$	0	0	0
	$m_{z2}$	-13.364,99	-13.364,99	0
<i>Element Forces Frame 19</i>	$f_{x1}$	-2.960,39	-2.960,39	0
	$f_{y1}$	29.365,80	29.365,80	0
	$f_{z1}$	0	0	0
	$m_{y1}$	0	0	0
	$m_{z1}$	13.232,61	13.232,61	0
	$f_{x2}$	2.960,39	2.960,39	0
	$f_{y2}$	30.634,20	30.634,20	0
	$f_{z2}$	0	0	0
	$m_{y2}$	0	0	0
	$m_{z2}$	-15.135,21	-15.135,21	0

Analisa Lentur	Parameter	SFAP	Manual	Selisih
<i>Frame 13</i>	n Tarik Kiri	5 D-13	5 D-13	0
	n Tekan Kiri	3 D-13	3 D-13	0
	$M_u$ Kiri	89,08 KN m	89,08 KN m	0
	$\phi M_n$ Kiri	99,24 KN m	99,24 KN m	0
	n Tarik Tengah	5 D-13	5 D-13	0
	n Tekan Tengah	3 D-13	3 D-13	0
	$M_u$ Tengah	89,52 KN m	89,52 KN m	0
	$\phi M_n$ Tengah	99,24 KN m	99,24 KN m	0
	n Tarik Kanan	5 D-13	5 D-13	0
	n Tekan Kanan	3 D-13	3 D-13	0
	$M_u$ Kanan	89,08 KN m	89,08 KN m	0
	$\phi M_n$ Kanan	99,24 KN m	99,24 KN m	0
<i>Frame 19</i>	n Tarik Kiri	5 D-13	5 D-13	0
	n Tekan Kiri	3 D-13	3 D-13	0
	$M_u$ Kiri	88,72 KN m	88,72 KN m	0
	$\phi M_n$ Kiri	99,24 KN m	99,24 KN m	0
	n Tarik Tengah	5 D-13	5 D-13	0
	n Tekan Tengah	3 D-13	3 D-13	0
	$M_u$ Tengah	81,5 KN m	81,5 KN m	0
	$\phi M_n$ Tengah	99,24 KN m	99,24 KN m	0
	n Tarik Kanan	6 D-13	6 D-13	0
	n Tekan Kanan	3 D-13	3 D-13	0
	$M_u$ Kanan	105,50 KN m	105,50 KN m	0
	$\phi M_n$ Kanan	108,60 KN m	108,60 KN m	0

## BAB 6

### PENUTUP

#### 6.1 Kesimpulan

Setelah membandingkan hasil perhitungan dari program *SFAP 2011* dengan *SAP 2000* dan hitungan manual dalam beberapa kasus, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari beberapa contoh studi kasus yang telah dianalisa pada bab sebelumnya, maka untuk mendapatkan gaya-gaya dalam pada suatu struktur dapat dilakukan dengan menggunakan aplikasi program bantu *SFAP 2011*. Selain itu, hasil perhitungan telah divalidasi dengan program *SAP 2000* dan hitungan manual ternyata menghasilkan perhitungan yang sama persis.
2. Dari beberapa contoh studi kasus yang telah dianalisa pada bab sebelumnya, maka untuk mendapatkan tulangan longitudinal yang diperlukan pada elemen balok dalam suatu struktur yang kompleks dapat dilakukan dengan menggunakan aplikasi program bantu *SFAP 2011*. Selain itu, hasil perhitungan telah divalidasi dengan hitungan manual ternyata menghasilkan perhitungan yang sama persis.
3. Dari beberapa contoh studi kasus yang telah dianalisa pada bab sebelumnya, maka untuk mengetahui gambar desain dari tulangan longitudinal yang dibutuhkan dapat dilakukan dengan menggunakan aplikasi program bantu *SFAP 2011*.
4. Kelemahan dari verifikasi keperluan tulangan longitudinal yang diperlukan pada elemen balok adalah belum adanya program bantu sejenis yang menganalisa hingga komponen lentur dari suatu elemen struktur hingga menampilkan gambar desain dari tulangan longitudinal yang dibutuhkan.
5. Dalam analisa lentur pada hitungan manual dan hitungan pada program *SFAP* terdapat sedikit selisih disebabkan karena pada hitungan manual angka di belakang koma yang dihitung dibulatkan.

## 6.2 Saran

Setelah melakukan analisa struktur serta perencanaan tulangan longitudinal dengan menggunakan program *SFAP 2011* di atas maka penulis memberikan beberapa saran antara lain :

1. Perlu digunakan metoda iterasi yang lebih cepat dari metoda Bolzano dalam mendapatkan nilai titik kesetimbangan gaya agar siapapun user program ini tidak perlu menunggu beberapa waktu saat menjalankan program tersebut.
2. Perlu dikembangkan lagi sehingga menjadi suatu program yang dapat digunakan pada kondisi apapun sebab pada pengerjaan tugas akhir ini tidak memperhitungkan beban gempa serta bentuk balok lain selain persegi.
3. Diperlukan suatu studi analisis lentur dengan program bantu yang lain karena verifikasi hanya dilakukan dengan hitungan manual.

## DAFTAR PUSTAKA

Cook, R.D.; Malkus, D.S.; Plesha, M.E.; dan Witt, R.J., **“Concepts and Applications of Finite Element Analysis”**. John Wiley & Sons, Inc, Edisi ke-4, 2001, 736 halaman.

Dewobroto, W, **“Aplikasi Sains dan Teknik dengan Visual Basic 6.0”**.PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 2003, 317 halaman..

Reddy, J.N., **“Solutions Manual for An Introduction to The Finite Element Method”**, Mc-Graw Hill International Edition, New York, 2005, 423 halaman.

Liu, G.R.; dan Quek, S.S., **“The Finite Element Method: A Practical Course”**, Butterworth Heinemann, 2003, 365 halaman.

Logan, D, **“A First Course in the Finite Element Method”**, SDC Publication, Edisi ke-4, 2007, 818 halaman.

McCormac, J, **“Design of Reinforced Concrete”**, John Wiley & Sons, Inc, Edisi ke-7, 2006, 717 halaman.

Nawy, E.G.; Tavio; dan Kusuma, B., **“Beton Bertulang Sebuah Pendekatan Mendasar Jilid 1”**, ITS Press, Surabaya, 2010, 893 halaman.

Nilson, A.H.; Darwin, D.; dan Dolan, C.W., **“Design of Concrete Structures”**, The McGraw-Hill Companies, Edisi ke-13, 2004, 783 halaman.

Purwono, R.; Tavio; Imran, I.; dan Raka, I.G.P., **“Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI**

**03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002)", ITS Press, Surabaya, 2007, 408 halaman.**

**Weaver, W. dan Gere, J.M., "Analisa Matriks untuk Struktur Rangka", Erlangga, Jakarta, 2007, 428 halaman.**

Cook, R.D.: *Matrix Analysis: Concepts and Applications in Finite Element Analysis*, Wiley & Sons, Inc. Edisi ke-4, 2001, 736 halaman

Dewantara, W.: *Aplikasi Sistem dan Teknik dengan Visual Basic 6.0*, PT. Ilex Media Komputindo, Jakarta, 2003, 317 halaman.

Robb, J.: "Solutions Manual for An Introduction to the Finite Element Method", McGraw-Hill International Edition, New York, 2002, 423 halaman.

Lee, C.R. dan Cook, R.D.: "The Finite Element Method: Practical Course", Butterworth-Heinemann, 2001, 767 halaman.

Lyons, D.: "A First Course in the Finite Element Method", SDC Publications, Edisi ke-4, 2007, 818 halaman.

McCorquodale, J.: "Design of Reinforced Concrete", John Wiley & Sons, Inc. Edisi ke-2, 2006, 747 halaman.

Nury, E.S.: *Teori dan Kalkulus B. Beton Bertulang Sekolah Pendidikan Teknik Sipil*, ITS Press, Surabaya, 2010, 307 halaman.

Nixon, A.H.; Dowell, D.; dan Dolan, C.W.: "Design of Concrete Structures", The McGraw-Hill Companies, Edisi ke-13, 2001, 787 halaman.

Purwand, R.; Fawid, Imam, I.; dan Raska, D.G.P.: *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI*

**Lampiran A**  
Hakikat ini sangat disayangkan  
**LISTING CODE**  
**DIRECT STIFFNESS METHOD**

Lampiran A  
**Halaman ini sengaja dikosongkan**  
DIRECT ADDRESS METHOD  
LISTING CODE

## Option Base 1

Pendefinisian seluruh variabel yang digunakan dalam perhitungan struktur

Type **data\_node** 'Nodal Coordinates Data

X As Double

Y As Double

Z As Double

End Type

Type **data\_frame**

ji As Integer 'Start joint

jk As Integer 'End joint

Lf As Double 'Frame length

Alpha As Double 'Local Axes Angle (rad)

secprop As Integer 'Frame Section

type As Integer 'Section type: 1 Rectangular 2 Circular 3 Square

BorR As Double 'B if rectangular or R if circular

d As Double

ec As Double

End Type

Type **data\_material**

mname As String 'Material Name

E As Double 'Young's Modulus

G As Double 'Shear Modulus

f1 As Double

B As Double

End Type

Type **data\_tulangan**

type As Integer

d As Double

a As Double

fy As Double

decking As Double

fyv As Double

dv1 As Integer

fy2 As Integer

Es As Double

```

    dia As Integer
    rasio As Double
End Type
Type data_sectionproperties
    sname As String 'Section Name
    Af As Double 'Section area
    Ashr As Double 'Shear area
    I2 As Double 'Moment of inertia about 2-axis
    I3 As Double 'Moment of inertia about 2-axis
    Jx As Double 'Moment of inertia about 1-axis
    mat As Integer 'Section material
    type As Integer 'Section type: 1 Rectangular 2 Circular 3 Square
    BorR As Double 'B if rectangular or R if circular
    d As Double
    ec As Double
End Type
Type data_reinforcementforce
    frame As Integer
    ntarik As Integer 'n Tulangan Tarik
    ntekan As Integer 'n Tulangan Tekan
    Mn As Double
    phiMnTekan As Double
    nTarikKiri As Integer 'n Tulangan Tarik Kiri
    nTekanKiri As Integer 'n Tulangan Tekan Kiri
    mnKiri As Double
    phiMnTekanKiri As Double
    nTarikKanan As Integer 'n Tulangan Tarik Kanan
    nTekanKanan As Integer 'n Tulangan Tekan Kanan
    mnKanan As Double
    phiMnTekanKanan As Double
    B As Double
    ldTarik As Double
    ldTekan As Double
End Type

```

```

Public Title As String 'Project Title
Public material() As data_material 'Array data material
Public section() As data_sectionproperties 'Array section
properties
Public node() As data_node 'Array data node
Public frame() As data_frame 'Array data frame
Public tulangan As data_tulangan 'data tulangan
Public beamRe() As data_reinforcementforce 'data beam
reinforcement force
Public No, jm, jsp, jn, jf, js, jc, jbr, id(), idm() As Integer
Public jl, jl1, jl2, jl3, jl4, fl, fl1, fl2, fl3, fl4 As Integer
Public BM, BMR As Integer 'Bandwith global matrix, Bandwith
global reduced matrix
Public jrl() As Integer 'Joint Restraint List
Public M_trans() As Double, M_transt() As Double, M_temp()
As Double
Public M_kLokal() As Double, M_kGlobale() As Double,
M_kGlobals() As Double
Public M_JLoad() As Double, M_JLoad1() As Double,
M_JLoad2() As Double, M_JLoad3() As Double, M_JLoad4() As
Double
Public M_FLoad() As Double, M_FLoad1() As Double,
M_FLoad2() As Double, M_FLoad3() As Double, M_FLoad4()
As Double
Public M_lclFLoadEq() As Double, M_FLoadEq() As Double
Public disp() As Double, frmdisp() As Double
Public localeforce() As Double, globalforce() As Double
Public fy, fc, Es, fcmay, b11, ec, d1, D_tul, Alpha As Double
Public kg, meter, newton As Double
Public labelM, labelKg As String
Public M_kGlobalsR() As Double
Public M_LoadR() As Double
Public dispR() As Double

Dim Ao, bo, mo, tes As Double

```

Prosedur perhitungan matriks transformasi

**Sub TransformMatrix()**

**ReDim M\_trans(12, 12, jf) As Double**

'-----clean matriks-----

**For i = 1 To 12**

**For j = 1 To 12**

**For k = 1 To jf**

**M\_trans(i, j, k) = 0#**

**Next k**

**Next j**

**Next i**

**For i = 1 To jf**

**With frame(i)**

**alpharad = .Alpha \* 3.14159265358979 / 180 'alpha in radian**

**l = (node(jk).X - node(ji).X) / .Lf**

**m = (node(jk).Y - node(ji).Y) / .Lf**

**n = (node(jk).Z - node(ji).Z) / .Lf**

**If l = 0 And n = 0 Then**

**O = -m \* Cos(alpharad)**

**P = 0**

**q = Sin(alpharad)**

**r = m \* Sin(alpharad)**

**S = 0**

**T = Cos(alpharad)**

**Else**

**d = Sqr(1 \* l + n \* n)**

**O = (-1 \* m \* Cos(alpharad) - n \* Sin(alpharad)) / d**

**P = d \* Cos(alpharad)**

**q = (-m \* n \* Cos(alpharad) + l \* Sin(alpharad)) / d**

**r = (l \* m \* Sin(alpharad) - n \* Cos(alpharad)) / d**

**S = (-d \* Sin(alpharad))**

**T = (m \* n \* Sin(alpharad) + l \* Cos(alpharad)) / d**

```

End If
For tt = 1 To 4
    M_trans((-2 + (tt * 3)), (-2 + (tt * 3)), i) = l
    M_trans((-2 + (tt * 3)), (-1 + (tt * 3)), i) = m
    M_trans((-2 + (tt * 3)), (0 + (tt * 3)), i) = n
    M_trans((-1 + (tt * 3)), (-2 + (tt * 3)), i) = o
    M_trans((-1 + (tt * 3)), (-1 + (tt * 3)), i) = p
    M_trans((-1 + (tt * 3)), (0 + (tt * 3)), i) = q
    M_trans((0 + (tt * 3)), (-2 + (tt * 3)), i) = r
    M_trans((0 + (tt * 3)), (-1 + (tt * 3)), i) = s
    M_trans((0 + (tt * 3)), (0 + (tt * 3)), i) = T
Next tt
End With
progress "Calculating Transform Matrix...", jf, i
Next i
End Sub

```

Prosedur perhitungan beban nodal ekuivalen akibat beban merata pd batang (frame load)

```

Sub FrameLoadProc()
ReDim M_lclFLoadEq(12, jf) As Double
ReDim M_temp(12) As Double
ReDim M_trans(12, 12) As Double
ReDim id(12)
For i = 1 To jf
    'global>>local frame load
    For ti = 1 To 3
        Sum = 0
        For tj = 1 To 3
            Sum = Sum + M_trans(ti, tj, i) * M_FLoad(tj, i)
        Next tj
        M_temp(ti) = Sum
    Next ti
    With frame(i)
        'equivalent load for qx
        pxi = M_temp(1) * .Lf / 2
    End With
Next i
End Sub

```

```

pxk = pxi
'equivalent load for qy
pyi = M_temp(2) * .Lf / 2
pyk = pyi
mzi = M_temp(2) * .Lf ^ 2 / 12
mzk = -mzi
'equivalent load for qz
pzi = M_temp(3) * .Lf / 2
pzk = pzi
myi = -M_temp(3) * .Lf ^ 2 / 12
myk = -myi
'Local Frame load matrix
M_lclFLoadEq(1, i) = pxi
M_lclFLoadEq(2, i) = pyi
M_lclFLoadEq(3, i) = pzi
M_lclFLoadEq(4, i) = mxk
M_lclFLoadEq(5, i) = myi
M_lclFLoadEq(6, i) = mzi
M_lclFLoadEq(7, i) = pxk
M_lclFLoadEq(8, i) = pyk
M_lclFLoadEq(9, i) = pzk
M_lclFLoadEq(10, i) = mxk
M_lclFLoadEq(11, i) = myk
M_lclFLoadEq(12, i) = mzk

'transformation transpose
For ti = 1 To 12
  For tj = 1 To 12
    M_trans(tj, ti) = M_trans(ti, tj, i)
  Next tj
Next ti
'Global Frame load matrix
For ti = 1 To 12
  Sum = 0
  For tj = 1 To 12

```

```

Sum = Sum + M_transt(ti, tj) * M_lclFLoadEq(tj, i)
Next tj
M_temp(ti) = Sum
Next ti
'superpositioning
id(1) = 6 * ji - 5
id(2) = 6 * ji - 4
id(3) = 6 * ji - 3
id(4) = 6 * ji - 2
id(5) = 6 * ji - 1
id(6) = 6 * ji
id(7) = 6 * jk - 5
id(8) = 6 * jk - 4
id(9) = 6 * jk - 3
id(10) = 6 * jk - 2
id(11) = 6 * jk - 1
id(12) = 6 * jk
For mi = 1 To 12
M_FLoadEq(id(mi)) = M_FLoadEq(id(mi)) + M_temp(mi)
Next mi
End With
Next i
End Sub
Prosedur perhitungan matriks kekakuan
Sub StiffnessMatrix()
ReDim M_transt(12, 12) As Double
ReDim M_temp(12, 12) As Double
ReDim M_kLokal(12, 12, jf) As Double
ReDim M_kGlobale(12, 12) As Double
ReDim id(12)
'-----clean matriks-----
For i = 1 To 12
For j = 1 To 12
For k = 1 To jf
M_kLokal(i, j, k) = 0

```

```

Next k
Next j
Next i
For i = 1 To BM
  For j = 1 To BM
    M_kGlobals(i, j) = 0
  Next j
Next i
'-----

For i = 1 To jf
  With frame(i)
    'transformation
    For ti = 1 To 12
      For tj = 1 To 12
        M_transt(tj, ti) = M_trans(ti, tj, i)
      Next tj
    Next ti

    'local stiffness matrix
    If section(.secprop).Ashr <> 0 Then
      phiz = 12 * material(section(.secprop).mat).E *
        section(.secprop).I2 / (material(section(.secprop).mat).G *
          section(.secprop).Ashr * .Lf ^ 2)
      phiy = 12 * material(section(.secprop).mat).E *
        section(.secprop).I3 / (material(section(.secprop).mat).G *
          section(.secprop).Ashr * .Lf ^ 2)
    End If
    ka = material(section(.secprop).mat).E *
      section(.secprop).Af / .Lf
    kt = material(section(.secprop).mat).G * section(.secprop).Jx
      / .Lf
    kz1 = 12 * material(section(.secprop).mat).E *
      section(.secprop).I3 / (.Lf ^ 3 * (1 + phiy))
    kz2 = 6 * material(section(.secprop).mat).E *

```

```

section(.secprop).I3 / (.Lf ^ 2 * (1 + phiy))
kz3 = (4 + phiy) * material(section(.secprop).mat).E *
section(.secprop).I3 / (.Lf * (1 + phiy))
kz4 = (2 - phiy) * material(section(.secprop).mat).E *
section(.secprop).I3 / (.Lf * (1 + phiy))
ky1 = 12 * material(section(.secprop).mat).E *
section(.secprop).I2 / (.Lf ^ 3 * (1 + phiz))
ky2 = 6 * material(section(.secprop).mat).E *
section(.secprop).I2 / (.Lf ^ 2 * (1 + phiz))
ky3 = (4 + phiz) * material(section(.secprop).mat).E *
section(.secprop).I2 / (.Lf * (1 + phiz))
ky4 = (2 - phiz) * material(section(.secprop).mat).E *
section(.secprop).I2 / (.Lf * (1 + phiz))
M_kLokal(1, 1, i) = ka
M_kLokal(1, 7, i) = -ka
M_kLokal(2, 2, i) = kz1
M_kLokal(2, 6, i) = kz2
M_kLokal(2, 8, i) = -kz1
M_kLokal(2, 12, i) = kz2
M_kLokal(3, 3, i) = ky1
M_kLokal(3, 5, i) = -ky2
M_kLokal(3, 9, i) = -ky1
M_kLokal(3, 11, i) = -ky2
M_kLokal(4, 4, i) = kt
M_kLokal(4, 10, i) = -kt
M_kLokal(5, 3, i) = -ky2
M_kLokal(5, 5, i) = ky3
M_kLokal(5, 9, i) = ky2
M_kLokal(5, 11, i) = ky4
M_kLokal(6, 2, i) = kz2
M_kLokal(6, 6, i) = kz3
M_kLokal(6, 8, i) = -kz2
M_kLokal(6, 12, i) = kz4
M_kLokal(7, 1, i) = -ka
M_kLokal(7, 7, i) = ka

```

```

M_kLokal(8, 2, i) = -kz1
M_kLokal(8, 6, i) = -kz2
M_kLokal(8, 8, i) = kz1
M_kLokal(8, 12, i) = -kz2
M_kLokal(9, 3, i) = -ky1
M_kLokal(9, 5, i) = ky2
M_kLokal(9, 9, i) = ky1
M_kLokal(9, 11, i) = ky2
M_kLokal(10, 4, i) = -kt
M_kLokal(10, 10, i) = kt
M_kLokal(11, 3, i) = -ky2
M_kLokal(11, 5, i) = ky4
M_kLokal(11, 9, i) = ky2
M_kLokal(11, 11, i) = ky3
M_kLokal(12, 2, i) = kz2
M_kLokal(12, 6, i) = kz4
M_kLokal(12, 8, i) = -kz2
M_kLokal(12, 12, i) = kz3

```

#### 'global element stiffness matrix

```

For ti = 1 To 12
  For tj = 1 To 12
    Sum = 0
    For tk = 1 To 12
      Sum = Sum + M_transt(ti, tk) * M_kLokal(tk, tj, i)
    Next tk
    M_temp(ti, tj) = Sum
  Next tj
Next ti
For ti = 1 To 12
  For tj = 1 To 12
    Sum = 0
    For tk = 1 To 12
      Sum = Sum + M_temp(ti, tk) * M_trans(tk, tj, i)
    Next tk

```

```

    M_kGlobale(ti, tj) = Sum
    Next tj
Next ti

'superpositioning >> Global Structure Stiffness Matrix
id(1) = 6 * .ji - 5
id(2) = 6 * .ji - 4
id(3) = 6 * .ji - 3
id(4) = 6 * .ji - 2
id(5) = 6 * .ji - 1
id(6) = 6 * .ji
id(7) = 6 * .jk - 5
id(8) = 6 * .jk - 4
id(9) = 6 * .jk - 3
id(10) = 6 * .jk - 2
id(11) = 6 * .jk - 1
id(12) = 6 * .jk
For mi = 1 To 12
    For mj = 1 To 12
        M_kGlobals(id(mi), id(mj)) = M_kGlobals(id(mi),
            id(mj)) + M_kGlobale(mi, mj)
    Next mj
Next mi
End With
progress "Calculating Stiffness Matrix...", jf, i
Next i
End Sub

```

Prosedur reduksi matriks kekakuan dan beban berdasar kondisi batas yg diinputkan

**Sub Boundary\_cond()**

'indexing reduced matrix

**BMR = 0**

**For i = 1 To BM**

**If jrl(i) = 0 Then**

**BMR = BMR + 1**

```

    End If
Next i
ReDim idm(BMR) As Integer
m = 0
For i = 1 To BM
    If jrl(i) = 0 Then
        m = m + 1
        idm(m) = i
    End If
Next i

'reducing matrix
ReDim M_kGlobalsR(BMR, BMR) As Double
ReDim M_LoadR(BMR) As Double
ReDim M_temp(BM) As Double
For m = 1 To BMR
    M_LoadR(m) = M_JLoad(idm(m)) + M_FLoadEq(idm(m))
    For n = 1 To BMR
        M_kGlobalsR(m, n) = M_kGlobals(idm(m), idm(n))
    Next n
    progress "Applying Boundary Condition...", BMR, m
Next m
End Sub

```

Prosedur analisa

Sub Analysis()

structureparam

tableformat

viewdata

TransformMatrix

FrameLoadProc

StiffnessMatrix

Boundary\_cond

Call gauss\_jordan(M\_kGlobalsR, M\_LoadR, dispR, BMR)

LocalForces

```

GlobalForces
'TODO: Call Function to Calculate Tulangan Balok
Call formsetting(True)
viewresult
cekColumn
torsiReinforcement
beamReinforcement
preplot
plotgraph

progress "Analysis Complete", 1, 1
FormLoading.Command1.Visible = True
End Sub

Prosedur perhitungan gaya (sb lokal batang)
Sub LocalForces()
ReDim disp(BM) As Double
ReDim frmdisp(12, jf) As Double
ReDim localeforce(12, jf) As Double
ReDim M_temp(12)

'all node displacement
idmred = BMR + 1
For i = 1 To BM
    idmn = BM - i + 1
    If jrl(idmn) = 0 Then
        idmred = idmred - 1
        disp(idmn) = dispR(idmred)
    Else
        disp(idmn) = 0#
    End If
Next i
For i = 1 To jf
    With frame(i)
        id(1) = 6 * ji - 5

```

```

id(2) = 6 * .ji - 4
id(3) = 6 * .ji - 3
id(4) = 6 * .ji - 2
id(5) = 6 * .ji - 1
id(6) = 6 * .ji
id(7) = 6 * .jk - 5
id(8) = 6 * .jk - 4
id(9) = 6 * .jk - 3
id(10) = 6 * .jk - 2
id(11) = 6 * .jk - 1
id(12) = 6 * .jk
For j = 1 To 12
    frmdisp(j, i) = disp(id(j)) 'displacement vector per element
Next j
End With
' {f} = [k] [T] {D}
For ti = 1 To 12
    Sum = 0
    For tj = 1 To 12
        Sum = Sum + M_trans(ti, tj, i) * frmdisp(tj, i)
    Next tj
    M_temp(ti) = Sum
Next ti
For ti = 1 To 12
    Sum = 0
    For tj = 1 To 12
        Sum = Sum + M_kLokal(ti, tj, i) * M_temp(tj)
    Next tj
    localeforce(ti, i) = Sum - M_lclFLoadEq(ti, i)
Next ti
Next i
End Sub
Prosedur perhitungan gaya (sb global)
Sub GlobalForces()
ReDim globalforce(BM)

```

```

'F]=[Ks]{D}
For ti = 1 To BM
  Sum = 0
  For tj = 1 To BM
    Sum = Sum + M_kGlobals(ti, tj) * disp(tj)
  Next tj
  globalforce(ti) = Sum - M_FLoadEq(ti)
Next ti
End Sub

```

Prosedur perhitungan penyelesaian persamaan linier dg metode gauss

Sub gauss\_jordan(c() As Double, V() As Double, X() As Double, n As Integer)

ReDim X(n) As Double

For k = 1 To n

If c(k, k) = 0 Then GoTo 220

'normalization

200: For j = k + 1 To n

c(k, j) = c(k, j) / c(k, k)

Next j

V(k) = V(k) / c(k, k)

If i = n Then GoTo 300 Else GoTo 250

'pivoting

220: For i = k + 1 To n

If c(i, k) < 0 Then GoTo 230

Next i

'matrix is singular

GoTo 300

230: For j = k + 1 To n

T = c(k, j)

c(k, j) = c(i, j)

c(i, j) = T

Next j

T = V(k)

```

V(k) = V(i)
V(i) = T
GoTo 200

```

'elimination

```

250: For i = 1 To n
      If i = k Then GoTo 265
      For j = k + 1 To n
          c(i, j) = c(i, j) - c(i, k) * c(k, j)
      Next j
      V(i) = V(i) - c(i, k) * V(k)
265: Next i
      progress "Solving Equations..." & " (" & k & "/" & n & ")",
      n, k
      Next k
      X = V
      Exit Sub
300:
MsgBox ("Warning: Structure is unstable")
End Sub

```

Prosedur perhitungan gaya dalam elemen

Sub ElemenForces(ByVal member As Integer, ByVal location As Single, VY, MZ, VZ, MY, FX, Mx)

i = member

l = location

'global2local frame load

```

For ti = 1 To 3
  Sum = 0
  For tj = 1 To 3
      Sum = Sum + M_trans(ti, tj, i) * M_FLoad(tj, i)
  Next tj
  M_temp(ti) = Sum
Next ti

```

'Calculation for element force/stress diagram

$$VY = -\text{localeforce}(2, i) - 1 * M\_temp(2)$$

$$MZ = -\text{localeforce}(6, i) + \text{localeforce}(2, i) * 1 + 0.5 * 1^2 * M\_temp(2)$$

$$VZ = -\text{localeforce}(3, i) - 1 * M\_temp(3)$$

$$MY = \text{localeforce}(5, i) + \text{localeforce}(3, i) * 1 + 0.5 * 1^2 * M\_temp(3)$$

$$FX = -\text{localeforce}(1, i) - 1 * M\_temp(1)$$

$$Mx = -\text{localeforce}(4, i)$$

End Sub

**Lampiran B**

**LISTING CODE**  
**THE DESIGN OF BEAM REINFORCED**  
**CONCRETE FLEXURAL**



Perhitungan tulangan lentur pada elemen balok

**Sub beamReinforcement()**

```

tes = 1
Dim rasionya As Double
rasionya = Val(MainForm.Text14.text)
jbr = 0
Dim x1, y1, z1, x2, y2, z2, nTekanTemp As Integer

For i = 1 To jf
    x1 = node(frame(i).ji).X
    y1 = node(frame(i).ji).Y
    z1 = node(frame(i).ji).Z
    x2 = node(frame(i).jk).X
    y2 = node(frame(i).jk).Y
    z2 = node(frame(i).jk).Z
    If section(frame(i).secprop).type = 1 Or
        section(frame(i).secprop).type = 3 And x1 <> x2 And
        y1 = y2 And z1 = z2 Then
        jbr = jbr + 1
    End If
Next i
If jbr <> 0 Then
    ReDim beamRe(jbr) As data_reinforcementforce
    Dim countBeam As Integer
    countBeam = 1
    For i = 1 To jf
        x1 = node(frame(i).ji).X
        y1 = node(frame(i).ji).Y
        z1 = node(frame(i).ji).Z
        x2 = node(frame(i).jk).X
        y2 = node(frame(i).jk).Y
        z2 = node(frame(i).jk).Z
        If section(frame(i).secprop).type = 1 Or
            section(frame(i).secprop).type = 3 And x1 <> x2 And
            y1 = y2 And z1 = z2 Then

```

### Calculate Tulangan Balok TENGAH

Dim length As Double

length = frame(i).Lf

length = length / 2

Call ElemenForces(i, length, VY, MZ, VZ, MY, FX, Mx)

Dim mz1, mz2 As Double 'Bandingkan Mz dan My di  
tengah sebagai Mn

mz1 = Abs(MZ) 'Abs(localeforce(6, i))

mz2 = Abs(MY) 'Abs(localeforce(12, i))

If mz1 < mz2 Then

    mz1 = mz2

End If

mz1 = mz1 \* 9800

Dim Rn, Mn, B, d, m, fy, fc, pperlu, AsPerlu, a, teT As  
Double

Dim idMat, ntarik, ntekan, dimensi As Integer

dimensi = tulangan.type + 13

Mn = mz1 / 0.8

B = section(frame(i).secprop).BorR \* 1000

d = (section(frame(i).secprop).d \* 1000) - 50 - (0.5 \*  
dimensi)

Rn = Mn / (B \* d \* d)

fy = tulangan.fy

idMat = section(frame(i).secprop).mat

fc = material(idMat).fl

m = fy / (0.85 \* fc)

If (2 \* m \* Rn) / fy > 1 Then

    MsgBox ("Perbesar Diameter Penampang")

Else

    teT = (2 \* m \* Rn) / fy

    pperlu = (1 - Sqr(1 - teT)) / m

    AsPerlu = pperlu \* B \* d

```

Val(MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 25))
a = tulangan.a
If AsPerlu / a = Int(AsPerlu / a) Then
    ntarik = AsPerlu / a
Else
    ntarik = Int(AsPerlu / a) + 1
End If
If ntarik < 2 Then ntarik = 2
MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 22) = (Int((ntarik -
1) / 4) + 1) * 4
Dim X, keluar As Integer
Dim temp, A1s, A2s, P1, P2, b1, d1 As Double
Dim Es, E1s, F1s, aKecil, MnTekan, es1 As Double
Dim ratio, et, c, phii As Double
X = 2
d1 = 50 + dimensi / 2
b1 = material(idMat).B
Es = 200000
keluar = 0
temp = rasionya * ntarik
If temp = Int(temp) Then
    ntekan = temp
Else
    ntekan = Int(temp) + 1
End If
If ntekan = 1 Then
    ntekan = ntekan + 1
End If
Dim ind As Integer
Ao = 1
bo = d
For ind = 1 To 1000
Call cariMn(fc, B, Ao, bo, ntekan, dimensi, Es,
ntarik, d, 0)

```

```

Next ind
es1 = ((mo - 50) * 0.003 / mo) * -1
fs1 = es1 * Es
fs2 = (Es * ((0.003 * d / mo) - 0.003))
If fs1 < -400 Then fs1 = -400
If fs2 > 400 Then fs2 = 400
MnTekan = Abs(0.85 * fc * B * 0.85 * mo) * (H / 2 -
0.85 * mo / 2) + Abs(ntekan * phi * dimensi ^ 2 * fs1
/ 4) * (H / 2 - d1) + Abs(ntarik * phi * dimensi ^ 2 *
fs2 / 4) * (d - H / 2)
et = 0.003 * (d / mo - 1)
If et <= 0.002 Then
  phii = 0.65
ElseIf et >= 0.005 Then
  phii = 0.8
Else
  phii = 0.65 + (et - 0.002) * (150 / 3)
End If
If phii * MnTekan - mz1 >= 0 Then
  With beamRe(countBeam)
    .frame = i
    If ntekan = 1 Then
      ntekan = ntekan + 1
    End If
    Dim str, nUp, nDown As Double
    str = (B - 100 - ntarik * dimensi) / (ntarik - 1)
    If str < dimensi Or str <= 25 Then
      d1 = 50 + dimensi
      'Hitung nUp & nDown
      nUp = 2
      nDown = ntarik - 2
      str = (B - 100 - nDown * dimensi) /
      (nDown - 1)
      Do Until str >= dimensi And str >= 25
        nDown = nDown - 1
      Loop
    End With
  End If

```

```

nUp = nUp + 1
str = (B - 100 - nDown * dimensi) /
(nDown - 1)
Loop
Ao = 1
bo = d
For ind = 1 To 1000
Call cariMn(fc, B, Ao, bo, ntekan, dimensi,
Es, ntarik, d, nUp)
Next ind
es1 = ((mo - 50) * 0.003 / mo) * -1
fs1 = es1 * Es
fs2 = (Es * ((0.003 * d / mo) - 0.003))
If fs1 < -400 Then fs1 = -400
If fs2 > 400 Then fs2 = 400
MnTekan = Abs(0.85 * fc * B * 0.85 * mo) *
(H / 2 - 0.85 * mo / 2) + Abs(ntekan * phi *
dimensi ^ 2 * fs1 / 4) * (H / 2 - d1) +
Abs((ntarik - nUp) * phi * dimensi ^ 2 * fs2 /
4) * (d - H / 2) + Abs(nUp * phi * dimensi ^ 2
* fs2 / 4) * (d - H / 2 - 25)
End If
.ntarik = ntarik
.ntekan = ntekan
.Mn = mz1
.phiMnTekan = phii * MnTekan
.B = B
Dim ktr, ld, Pi, gamma As Double
Pi = 4 * Atn(1)
ktr = (ntarik * 0.25 * Pi * dimensi * dimensi *
fy) / (10 * str * ntarik)
If dimensi >= 22 Then
gamma = 1
Else
gamma = 0.8

```

```

End If
ld = (9 * fy * 1 * 1 * gamma * 1 * dimensi) /
(10 * Sqr(fc) * ((mo + ktr) / dimensi))
.ldTarik = ld
.ldTarikTengah = ld
If rasionya < 0 Then
    ldTkn1 = dimensi * fy / (4 * Sqr(fc))
    ldTkn2 = 0.04 * dimensi * fy
    If ldTkn1 > ldTkn2 Then
        .ldTekan = ldTkn1
        .ldTekanTengah = ldTkn1
    Else
        .ldTekan = ldTkn2
        .ldTekanTengah = ldTkn2
    End If
Else: .ldTekan = 0
End If
End With
Else
    MsgBox ("(Center) Enlarge the ratio or load too
big")
End If
End If

'Calculate Tulangan Balok KIRI
length = 0.5 * section(frame(i).secprop).BorR
Call ElemenForces(i, length, VY, MZ, VZ, MY, FX, Mx)
'Bandingkan Mz dan My di kiri sebagai Mn
mz1 = Abs(MZ) 'Abs(localeforce(6, i))
mz2 = Abs(MY) 'Abs(localeforce(12, i))
If mz1 < mz2 Then
    mz1 = mz2
End If
dimensi = tulangan.type + 13
mz1 = mz1 * 9800

```

```

Mn = mz1 / 0.8
B = section(frame(i).secprop).BorR * 1000
d = (section(frame(i).secprop).d * 1000) - 50 - (0.5 *
dimensi)
Rn = Mn / (B * d * d)
fy = tulangan.fy
idMat = section(frame(i).secprop).mat
fc = material(idMat).fl
m = fy / (0.85 * fc)
If (2 * m * Rn) / fy > 1 Then
    pperlu = 0
Else
    teT = (2 * m * Rn) / fy
    pperlu = (1 - Sqr(1 - teT)) / m
    AsPerlu = pperlu * B * d +
Val(MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 23))
    a = tulangan.a
    If AsPerlu / a = Int(AsPerlu / a) Then
        ntarik = AsPerlu / a
    Else
        ntarik = Int(AsPerlu / a) + 1
    End If
    If ntarik < 2 Then ntarik = 2
    MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 19) = (Int((ntarik -
1) / 4) + 1) * 4
    X = 2
    d1 = 50 + dimensi / 2
    b1 = material(idMat).B
    Es = 200000
    keluar = 0
    temp = rasionya * ntarik
    If temp = Int(temp) Then
        ntekan = temp
    Else
        ntekan = Int(temp) + 1

```

```

End If
If ntekan = 1 Then
  ntekan = ntekan + 1
End If
Ao = 1
bo = d
For ind = 1 To 1000
  Call cariMn(fc, B, Ao, bo, ntekan, dimensi, Es,
    ntarik, d, 0)
Next ind
es1 = ((mo - 50) * 0.003 / mo) * -1
fs1 = es1 * Es
fs2 = (Es * ((0.003 * d / mo) - 0.003))
If fs1 < -400 Then fs1 = -400
If fs2 > 400 Then fs2 = 400
MnTekan = Abs(0.85 * fc * B * 0.85 * mo) * (H / 2 -
  0.85 * mo / 2) + Abs(ntekan * phi * dimensi ^ 2 * fs1
  / 4) * (H / 2 - d1) + Abs(ntarik * phi * dimensi ^ 2 *
  fs2 / 4) * (d - H / 2)
et = 0.003 * (d / mo - 1)
If et <= 0.002 Then
  phii = 0.65
ElseIf et >= 0.005 Then
  phii = 0.8
Else
  phii = 0.65 + (et - 0.002) * (150 / 3)
End If
If phii * MnTekan - mz1 >= 0 Or ntekan = 1 Then
  With beamRe(countBeam)
    .frame = i
    If ntekan = 1 Then
      ntekan = ntekan + 1
    End If
    str = (B - 100 - ntarik * dimensi) / (ntarik - 1)
    If str < dimensi Or str <= 25 Then

```

```

d1 = 50 + dimensi
'Hitung nUp & nDown
nUp = 2
nDown = ntarik - 2
str = (B - 100 - nDown * dimensi) /
(nDown - 1)
Do Until str >= dimensi And str >= 25
    nDown = nDown - 1
    nUp = nUp + 1
    str = (B - 100 - nDown * dimensi) /
(nDown - 1)
Loop
Ao = 1
bo = d
For ind = 1 To 1000
    Call cariMn(fc, B, Ao, bo, ntekan, dimensi,
    Es, ntarik, d, nUp)
Next ind
es1 = ((mo - 50) * 0.003 / mo) * -1
fs1 = es1 * Es
fs2 = (Es * ((0.003 * d / mo) - 0.003))
If fs1 < -400 Then fs1 = -400
If fs2 > 400 Then fs2 = 400
MnTekan = Abs(0.85 * fc * B * 0.85 * mo) *
(H / 2 - 0.85 * mo / 2) + Abs(ntekan * phi *
dimensi ^ 2 * fs1 / 4) * (H / 2 - d1) +
Abs((ntarik - nUp) * phi * dimensi ^ 2 * fs2 /
4) * (d - H / 2) + Abs(nUp * phi * dimensi ^ 2
* fs2 / 4) * (d - H / 2)
End If
.nTarikKiri = ntarik
.nTekanKiri = ntekan
.mnKiri = mz1
.phiMnTekanKiri = phii * MnTekan
Pi = 4 * Atn(1)

```

```

ktr = (ntarik * 0.25 * Pi * dimensi * dimensi *
fy) / (10 * str * ntarik)
If dimensi >= 22 Then
    gamma = 1
Else
    gamma = 0.8
End If
ld = (9 * fy * 1 * 1 * gamma * 1 * dimensi) /
(10 * Sqr(fc) * ((mo + ktr) / dimensi))
.ldTarik = ld
.ldTarikKiri = ld
If rasonya < 0 Then
    ldTkn1 = dimensi * fy / (4 * Sqr(fc))
    ldTkn2 = 0.04 * dimensi * fy
    If ldTkn1 > ldTkn2 Then
        .ldTekan = ldTkn1
        .ldTekanKiri = ldTkn1
    Else
        .ldTekan = ldTkn2
        .ldTekanKiri = ldTkn2
    End If
Else: .ldTekan = 0
End If
End With
keluar = 1
Else
    MsgBox ("(Left) Enlarge the ratio or load too big")
End If
End If

```

**'Calculate Tulangan Balok KANAN**

```

length = frame(i).Lf - (0.5 * section(frame(i).secprop).BorR)
Call ElemenForces(i, length, VY, MZ, VZ, MY, FX, Mx)
'Bandingkan Mz dan My di kiri sebagai Mn
mz1 = Abs(MZ) 'Abs(localeforce(6, i))

```

```

mz2 = Abs(MY) 'Abs(localeforce(12, i))
If mz1 < mz2 Then
    mz1 = mz2
End If
mz1 = mz1 * 9800
Mn = mz1 / 0.8
dimensi = tulangan.type + 13
B = section(frame(i).secprop).BorR * 1000
d = (section(frame(i).secprop).d * 1000) - 50 - (0.5 *
dimensi)
Rn = Mn / (B * d * d)
fy = tulangan.fy
idMat = section(frame(i).secprop).mat
fc = material(idMat).fl
m = fy / (0.85 * fc)
If (2 * m * Rn) / fy > 1 Then
    pperlu = 0
Else
    teT = (2 * m * Rn) / fy
    pperlu = (1 - Sqr(1 - teT)) / m
    AsPerlu = pperlu * B * d +
Val(MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 24))
    a = tulangan.a
    If AsPerlu / a = Int(AsPerlu / a) Then
        ntarik = AsPerlu / a
    Else
        ntarik = Int(AsPerlu / a) + 1
    End If
    If ntarik < 2 Then ntarik = 2
    MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 20) = (Int((ntarik -
1) / 4) + 1) * 4
    X = 2
    d1 = 50 + dimensi / 2
    b1 = material(idMat).B
    Es = 200000

```

```

temp = rasionya * ntarik
If temp = Int(temp) Then
    ntekan = temp
Else
    ntekan = Int(temp) + 1
End If
If ntekan = 1 Then
    ntekan = ntekan + 1
End If
Ao = 1
bo = d
For ind = 1 To 1000
    Call cariMn(fc, B, Ao, bo, ntekan, dimensi, Es,
    ntarik, d, 0)
Next ind
es1 = ((mo - 50) * 0.003 / mo) * -1
fs1 = es1 * Es
fs2 = (Es * ((0.003 * d / mo) - 0.003))
If fs1 < -400 Then fs1 = -400
If fs2 > 400 Then fs2 = 400
MnTekan = Abs(0.85 * fc * B * 0.85 * mo) * (H / 2 -
0.85 * mo / 2) + Abs(ntekan * phi * dimensi ^ 2 * fs1
/ 4) * (H / 2 - d1) + Abs(ntarik * phi * dimensi ^ 2 *
fs2 / 4) * (d - H / 2)
et = 0.003 * (d / mo - 1)
If et <= 0.002 Then
    phii = 0.65
Elseif et >= 0.005 Then
    phii = 0.8
Else
    phii = 0.65 + (et - 0.002) * (150 / 3)
End If
If phii * MnTekan - mz1 >= 0 Or ntekan = 1 Then
    With beamRe(countBeam)
        .frame = i
    End With

```

```

str = (B - 100 - ntarik * dimensi) / (ntarik - 1)
If str < dimensi Or str <= 25 Then
d1 = 50 + dimensi
'Hitung nUp & nDown
nUp = 2
nDown = ntarik - 2
str = (B - 100 - nDown * dimensi) / (nDown - 1)
Do Until str >= dimensi And str >= 25
nDown = nDown - 1
nUp = nUp + 1
str = (B - 100 - nDown * dimensi) /
(nDown - 1)
Loop
Ao = 1
bo = d
For ind = 1 To 1000
Call cariMn(fc, B, Ao, bo, ntekan, dimensi,
Es, ntarik, d, nUp)
Next ind
es1 = ((mo - 50) * 0.003 / mo) * -1
fs1 = es1 * Es
fs2 = (Es * ((0.003 * d / mo) - 0.003))
If fs1 < -400 Then fs1 = -400
If fs2 > 400 Then fs2 = 400
MnTekan = Abs(0.85 * fc * B * 0.85 * mo) *
(H / 2 - 0.85 * mo / 2) + Abs(ntekan * phi *
dimensi ^ 2 * fs1 / 4) * (H / 2 - d1) +
Abs(ntarik - nUp) * phi * dimensi ^ 2 * fs2 / 4)
* (d - H / 2) + Abs(nUp * phi * dimensi ^ 2 *
fs2 / 4) * (d - H / 2)
End If
.nTarikKanan = ntarik
.nTekanKanan = ntekan
.mnKanan = mz1
.phiiMnTekanKanan = phii * MnTekan

```

```

Pi = 4 * Atn(1)
ktr = (ntarik * 0.25 * Pi * dimensi * dimensi *
fy) / (10 * str * ntarik)
If dimensi >= 22 Then
    gamma = 1
Else
    gamma = 0.8
End If
ld = (9 * fy * 1 * 1 * gamma * 1 * dimensi) /
(10 * Sqr(fc) * ((mo + ktr) / dimensi))
.ldTarik = ld
.ldTarikKanan = ld
If rasionya < 0 Then
    ldTkn1 = dimensi * fy / (4 * Sqr(fc))
    ldTkn2 = 0.04 * dimensi * fy
    If ldTkn1 > ldTkn2 Then
        .ldTekan = ldTkn1
        .ldTekanKanan = ldTkn1
    Else
        .ldTekan = ldTkn2
        .ldTekanKanan = ldTkn2
    End If
Else: .ldTekan = 0
End If
End With
countBeam = countBeam + 1
keluar = 1
Else
    X = X + 1
    nTekanTemp = ntekan
End If
End If
End If
Next i

```

**With MainForm.ListBeamReinforcement**

```

.Rows = jbr + 1
For i = 1 To jbr
.TextMatrix(i, 0) = beamRe(i).frame
.TextMatrix(i, 1) = beamRe(i).ntarik
.TextMatrix(i, 2) = beamRe(i).ntekan
.TextMatrix(i, 3) = CStr(beamRe(i).ntarik) + " D-" +
CStr(tulangan.type + 13)
.TextMatrix(i, 4) = CStr(beamRe(i).ntekan) + " D-" +
CStr(tulangan.type + 13)
.TextMatrix(i, 5) = FormatNumber(beamRe(i).Mn, 3,
vbUseDefault, vbUseDefault, vbUseDefault)
.TextMatrix(i, 6) = FormatNumber(beamRe(i).phiMnTekan,
3, vbUseDefault, vbUseDefault, vbUseDefault)
.TextMatrix(i, 7) = beamRe(i).nTarikKiri
.TextMatrix(i, 8) = beamRe(i).nTekanKiri
.TextMatrix(i, 9) = CStr(beamRe(i).nTarikKiri) + " D-" +
CStr(tulangan.type + 13)
.TextMatrix(i, 10) = CStr(beamRe(i).nTekanKiri) + " D-" +
CStr(tulangan.type + 13)
.TextMatrix(i, 11) = FormatNumber(beamRe(i).mnKiri, 3,
vbUseDefault, vbUseDefault, vbUseDefault)
.TextMatrix(i, 12) =
FormatNumber(beamRe(i).phiMnTekanKiri, 3,
vbUseDefault, vbUseDefault, vbUseDefault)
.TextMatrix(i, 13) = beamRe(i).nTarikKanan
.TextMatrix(i, 14) = beamRe(i).nTekanKanan
.TextMatrix(i, 15) = CStr(beamRe(i).nTarikKanan) + " D-"
+ CStr(tulangan.type + 13)
.TextMatrix(i, 16) = CStr(beamRe(i).nTekanKanan) + " D-"
+ CStr(tulangan.type + 13)
.TextMatrix(i, 17) = FormatNumber(beamRe(i).mnKanan, 3,
vbUseDefault, vbUseDefault, vbUseDefault)
.TextMatrix(i, 18) =

```

```

FormatNumber(beamRe(i).phiMnTekanKanan, 3,
vbUseDefault, vbUseDefault, vbUseDefault)
.TextMatrix(i, 19) = beamRe(i).B
.TextMatrix(i, 20) = beamRe(i).ldTarik
.TextMatrix(i, 21) = beamRe(i).ldTekan
.TextMatrix(i, 22) = beamRe(i).ldTarikKiri
.TextMatrix(i, 23) = beamRe(i).ldTekanKiri
.TextMatrix(i, 24) = beamRe(i).ldTarikTengah
.TextMatrix(i, 25) = beamRe(i).ldTekanTengah
.TextMatrix(i, 26) = beamRe(i).ldTarikKanan
.TextMatrix(i, 27) = beamRe(i).ldTekanKanan
Next i
End With
Else
MainForm.mnAFlexure.Enabled = False
MainForm.mnATorsi.Enabled = False
End If
End Sub

```

Perhitungan dengan metoda Bolzano mencari nilai  $c$

```

Sub cariC(fc, B, Ao, bo, ntekan, dimensi, Es, ntarik, d, nUp)
Dim ind As Integer
Dim ci, cy, cek, m1, m2, Cc, cs, ttt, fs1, fs2, es1 As Double

mo = (Ao + bo) / 2
ci = mo
es1 = ((ci - 50) * 0.003 / ci) * -1
fs1 = es1 * Es
fs2 = (Es * (((0.003 * d / ci) - 0.003)))
If fs1 < -400 Then fs1 = -400
If fs2 > 400 Then fs2 = 400
m1 = -(0.85 * fc * B * 0.85 * ci) + (ntekan * phi * dimensi ^ 2
* fs1 / 4) + ((ntarik - nUp) * phi * dimensi ^ 2 * fs2 / 4) + (nUp
* phi * dimensi ^ 2 * fs2 / 4)

```

```

cy = bo
fs1 = ((cy - 50) * 0.003 / cy * Es) * -1
fs2 = (Es * ((0.003 * d / cy) - 0.003))
If fs1 < -400 Then fs1 = -400
If fs2 > 400 Then fs2 = 400
m2 = -(0.85 * fc * B * 0.85 * cy) + (ntekan * phi * dimensi ^ 2
* fs1 / 4) + ((ntarik - nUp) * phi * dimensi ^ 2 * fs2 / 4) + (nUp
* phi * dimensi ^ 2 * fs2 / 4)

If tes = 1000 Then tes = 0
tes = tes + 1
If m1 * m2 <= 0 Then
  Ao = mo
Else:
  bo = mo
End If
End Sub

```

**Lampiran C**  
**LISTING CODE**  
**MODUL FILE MANAGER**

Pendefinisian seluruh variabel yang digunakan dalam perhitungan struktur

**Public filedata As New FileSystemObject**

**Public filestream As TextStream**

**Public str, xfile As String**

**Public tabletoexport As MSFlexGrid**

**Public objWorkbook, objExcel**

Fungsi untuk membuka file

**Function openfile() As String**

**With MainForm.CommonDialog1**

.CancelError = True

On Error GoTo errhandler

.Filter = "SFAP Input File (\*.sif)|\*.sif|Text File (\*.txt)|\*.txt"

.ShowOpen

openfile = .FileName

**End With**

**errhandler:**

**End Function**

Fungsi untuk menyimpan file

**Function savefile() As String**

**With MainForm.CommonDialog1**

.CancelError = True

On Error GoTo errhandler

.Filter = "SFAP File (\*.sif)|\*.sif"

.Flags = cdIOFNOOverwritePrompt

.ShowSave

savefile = .DialogTitle

**End With**

**errhandler:**

**End Function**

Prosedur membaca data

**Sub dataread(success As Boolean)**

success = True

**On Error GoTo inputerrorhandler**

Open xfile For Input As #1

Input #1, Title

Input #1, sep

Input #1, jm, jsp, jn, jf, js

FormLoading.Show

ReDim material(jm) As data\_material

ReDim section(jsp) As data\_sectionproperties

ReDim node(jn) As data\_node

ReDim frame(jf) As data\_frame

BM = 6 \* jn

ReDim M\_kGlobals(BM, BM) As Double

ReDim jrf(BM) As Integer

ReDim M\_JLoad(BM) As Double

ReDim M\_FLoadEq(BM) As Double

Input #1, sep

'material properties

For i = 1 To jm

    With material(i)

        Input #1, No, .mname, .E, .G, .f1, .B

    End With

        progress "Read Material Properties...", jm, i

Next i

Input #1, sep

'section properties

For i = 1 To jsp

    With section(i)

        Input #1, No, .sname, .Af, .Ashr, .I3, .I2, .Jx, .mat, .type,  
        .BorR, .d, .ec

    End With

        progress "Read Section Properties...", jsp, i

Lampiran C

```

Next i

Input #1, sep
'node coordinate
For i = 1 To jn
  With node(i)
    Input #1, No, .X, .Y, .Z
  End With
  progress "Read Node Coordinates...", jn, i
Next i

Input #1, sep
'frame properties
For i = 1 To jf
  With frame(i)
    Input #1, No, .ji, .jk, .Alpha, .secprop, .type, .BorR, .d, .ec
    lx = node(.jk).X - node(.ji).X
    ly = node(.jk).Y - node(.ji).Y
    lz = node(.jk).Z - node(.ji).Z
    .Lf = Sqr(lx * lx + ly * ly + lz * lz)
  End With
  progress "Read Frame Properties...", jf, i
Next i

Input #1, sep
'joint restraint
For i = 1 To js
  Input #1, nodal, xdx, xdy, xdz, xtx, xty, xtz
  jrl(6 * nodal - 5) = xdx
  jrl(6 * nodal - 4) = xdy
  jrl(6 * nodal - 3) = xdz
  jrl(6 * nodal - 2) = xtx
  jrl(6 * nodal - 1) = xty
  jrl(6 * nodal) = xtz
  progress "Read Joint Restraint...", js, i

```

Next i

Input #1, sep

'joint loads

Input #1, jl

For i = 1 To jl

Input #1, nodal, PX, PY, PZ, Mx, MY, MZ

M\_JLoad(6 \* nodal - 5) = PX

M\_JLoad(6 \* nodal - 4) = PY

M\_JLoad(6 \* nodal - 3) = PZ

M\_JLoad(6 \* nodal - 2) = Mx

M\_JLoad(6 \* nodal - 1) = MY

M\_JLoad(6 \* nodal) = MZ

progress "Read Joint Loads...", jl, i

Next i

Input #1, sep

'frame loads

ReDim M\_FLoad(3, jf)

Input #1, fl

For i = 1 To fl

Input #1, member, qx, qy, qz

M\_FLoad(1, member) = qx

M\_FLoad(2, member) = qy

M\_FLoad(3, member) = qz

progress "Read Frame Loads...", fl, i

Next i

Input #1, sep

With tulangan

Input #1, .type, .d, .a, .fy, .decking, .fyv, .dv1, .dia, .fy2, .Es,  
.rasio

End With

success = True

Lampiran C

Close #1

Exit Sub

inputerrorhandler:

success = False

Close #1

End Sub

Prosedur tampilan data input pada tabel jendela utama SFAP

Sub viewdata()

On Error Resume Next

With MainForm.ListMaterial

For i = 1 To jm

On Error Resume Next

.TextMatrix(i, 0) = i

.TextMatrix(i, 1) = material(i).mname

.TextMatrix(i, 2) = material(i).E

.TextMatrix(i, 3) = material(i).G

.TextMatrix(i, 4) = material(i).fl

.TextMatrix(i, 5) = material(i).B

Next i

End With

With MainForm.ListFrameSect

For i = 1 To jsp

.TextMatrix(i, 1) = section(i).sname

.TextMatrix(i, 2) = section(i).Af

.TextMatrix(i, 3) = section(i).Ashr

.TextMatrix(i, 4) = section(i).I3

.TextMatrix(i, 5) = section(i).I2

.TextMatrix(i, 6) = section(i).Jx

.TextMatrix(i, 7) = material(section(i).mat).mname

.TextMatrix(i, 8) = section(i).mat

.TextMatrix(i, 9) = section(i).type

.TextMatrix(i, 10) = section(i).BorR

.TextMatrix(i, 11) = section(i).d

.TextMatrix(i, 12) = section(i).ec

```

Next i
End With
With MainForm.ListNode
  For i = 1 To jn
    On Error Resume Next
    .TextMatrix(i, 1) = node(i).X
    .TextMatrix(i, 2) = node(i).Y
    .TextMatrix(i, 3) = node(i).Z
  Next i
End With
With MainForm.ListFrame
  For i = 1 To jf
    On Error Resume Next
    .TextMatrix(i, 1) = frame(i).ji
    .TextMatrix(i, 2) = frame(i).jk
    .TextMatrix(i, 3) = frame(i).Lf
    .TextMatrix(i, 4) = frame(i).Alpha
    .TextMatrix(i, 5) = section(frame(i).secprop).sname
    .TextMatrix(i, 6) = frame(i).secprop
    .TextMatrix(i, 7) = frame(i).type
    .TextMatrix(i, 8) = frame(i).BorR
    .TextMatrix(i, 9) = frame(i).d
    .TextMatrix(i, 10) = frame(i).ec
  Next i
End With

No = 0
For i = 1 To jn
  j1 = 6 * i - 5
  j2 = 6 * i - 4
  j3 = 6 * i - 3
  j4 = 6 * i - 2
  j5 = 6 * i - 1
  j6 = 6 * i
  njn = jrl(j1) + jrl(j2) + jrl(j3) + jrl(j4) + jrl(j5) + jrl(j6)

```

```

If njn < 0 Then
  No = No + 1
  With MainForm.ListRestraint
    .TextMatrix(No, 0) = No
    .TextMatrix(No, 1) = i
    .TextMatrix(No, 2) = jrl(j1)
    .TextMatrix(No, 3) = jrl(j2)
    .TextMatrix(No, 4) = jrl(j3)
    .TextMatrix(No, 5) = jrl(j4)
    .TextMatrix(No, 6) = jrl(j5)
    .TextMatrix(No, 7) = jrl(j6)
  End With
  End If
Next i

No = 0
For i = 1 To jn
  j1 = 6 * i - 5
  j2 = 6 * i - 4
  j3 = 6 * i - 3
  j4 = 6 * i - 2
  j5 = 6 * i - 1
  j6 = 6 * i
  nld = M_JLoad(j1) + M_JLoad(j2) + M_JLoad(j3) +
  M_JLoad(j4) + M_JLoad(j5) + M_JLoad(j6)
  If nld < 0 Then
    No = No + 1
    With MainForm.ListJointLoad
      .TextMatrix(No, 0) = No
      .TextMatrix(No, 1) = i
      .TextMatrix(No, 2) = M_JLoad(j1)
      .TextMatrix(No, 3) = M_JLoad(j2)
      .TextMatrix(No, 4) = M_JLoad(j3)
      .TextMatrix(No, 5) = M_JLoad(j4)
      .TextMatrix(No, 6) = M_JLoad(j5)
    End With
  End If

```

```

        .TextMatrix(No, 7) = M_JLoad(j6)
    End With
    End If
Next i

With MainForm.ListFrameLoad
    No = 0
    For i = 1 To jf
        If M_FLoad(1, i) + M_FLoad(2, i) + M_FLoad(3, i) < 0
Then
            No = No + 1
            .TextMatrix(No, 0) = No
            .TextMatrix(No, 1) = i
            .TextMatrix(No, 2) = M_FLoad(1, i)
            .TextMatrix(No, 3) = M_FLoad(2, i)
            .TextMatrix(No, 4) = M_FLoad(3, i)
        End If
    Next i
End With

With MainForm
    .txtTulanganTypeIndex.text = tulangan.type
    .txtTulanganD.text = tulangan.d
    .txtTulanganA.text = tulangan.a
    .txtTulanganType.text = "D-" + CStr(tulangan.type + 1)
    .txtFy.text = tulangan.fy
    .Text8.text = tulangan.decking
    .Text9.text = tulangan.dv1
    .Text10.text = tulangan.fyv
    .Text11.text = tulangan.dia
    .Text12.text = tulangan.fy2
    .Text13.text = tulangan.Es
    .Text14.text = tulangan.rasio
End With
End Sub

```

Prosedur tampilkan data output pada tabel jendela utama SFAP

**Sub viewresult()**

**With MainForm.ListDisplacement**

**For i = 1 To jn**

.TextMatrix(i, 0) = i

j1 = 6 \* i - 5

j2 = 6 \* i - 4

j3 = 6 \* i - 3

j4 = 6 \* i - 2

j5 = 6 \* i - 1

j6 = 6 \* i

.TextMatrix(i, 1) = Format(displ(j1), "#0.#####")

.TextMatrix(i, 2) = Format(displ(j2), "#0.#####")

.TextMatrix(i, 3) = Format(displ(j3), "#0.#####")

.TextMatrix(i, 4) = Format(displ(j4), "#0.#####")

.TextMatrix(i, 5) = Format(displ(j5), "#0.#####")

.TextMatrix(i, 6) = Format(displ(j6), "#0.#####")

**Next i**

**End With**

**Dim** fyMax, mzKiri, mzTengah, mzKanan, mMinZ, mMinY,

mMin As Double

fMax = 0

mmax = 0

mmax2 = 0

fzmax = 0

mzKiri = 0

mzTengah = 0

mzKanan = 0

mMin = 999999999999#

mMinY = 999999999999#

mMinZ = 999999999999#

fyMax = 0

**With MainForm.ListElementForces**

**For i = 1 To jf**

```

.TextMatrix(i, 0) = i
For j = 1 To 12
.TextMatrix(i, j) = FormatNumber(localeforce(j, i), 3,
vbUseDefault, vbUseDefault, vbUseDefault)
'Format(localeforce(j, i), "#0.#####")
If j Mod 6 = 1 Then
If fMax < Abs(.TextMatrix(i, j)) Then fMax =
Abs(Round((.TextMatrix(i, j)), 3))
End If
If j Mod 6 = 3 Then
If fzmax < Abs(.TextMatrix(i, j)) Then fzmax =
Abs(Round((.TextMatrix(i, j)), 3))
End If
If j Mod 6 = 5 Then
If mmax < Abs(.TextMatrix(i, j)) Then mmax =
Abs(Round((.TextMatrix(i, j)), 3))
If mMinY > Abs(.TextMatrix(i, j)) Then mMinY =
Abs(Round((.TextMatrix(i, j)), 3))
End If
If j Mod 6 = 0 Then
If mmax2 < Abs(.TextMatrix(i, j)) Then mmax2 =
Abs(Round((.TextMatrix(i, j)), 3))
If mMinZ > Abs(.TextMatrix(i, j)) Then mMinZ =
Abs(Round((.TextMatrix(i, j)), 3))
End If
If j Mod 6 = 2 Then
If fyMax < Abs(.TextMatrix(i, j)) Then fyMax =
Abs(Round((.TextMatrix(i, j)), 3))
End If
Next j
MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 13) = mmax
MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 14) = mmax2
MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 26) = mmax
MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 27) = mmax2

```

```

If mmax < mmax2 Then mmax = mmax2
  mMin = Sqr(((mMinY) ^ 2) + ((mMinZ) ^ 2))
  MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 11) = fMax
  MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 12) = mmax
  MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 15) = fzmax
  If fyMax > fzmax Then
    MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 28) = fyMax
  Else
    MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 28) = fzmax
  End If
  Call ElemenForces(i, 0, VY, MZ, VZ, MY, FX, Mx)
  MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 16) = Abs(Mx)
  Call ElemenForces(i, 2.5, VY, MZ, VZ, MY, FX, Mx)
  MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 21) = Abs(Mx)
  Call ElemenForces(i, 5, VY, MZ, VZ, MY, FX, Mx)
  MainForm.ListFrame.TextMatrix(i, 17) = Abs(Mx)

  fMax = 0
  mmax = 0
  mmax2 = 0
  fzmax = 0
  fyMax = 0
  mMin = 999999999999#
  mMinY = 999999999999#
  mMinZ = 999999999999#
Next i
End With

No = 0
For i = 1 To jn
  j1 = 6 * i - 5
  j2 = 6 * i - 4
  j3 = 6 * i - 3
  j4 = 6 * i - 2

```

```

j5 = 6 * i - 1
j6 = 6 * i
njn = jrl(j1) + jrl(j2) + jrl(j3) + jrl(j4) + jrl(j5) + jrl(j6)
If njn < 0 Then
  No = No + 1
  With MainForm.ListSupportReaction
    .TextMatrix(No, 0) = i
    .TextMatrix(No, 1) = Format(globalforce(j1), "#0.####")
    .TextMatrix(No, 2) = Format(globalforce(j2), "#0.####")
    .TextMatrix(No, 3) = Format(globalforce(j3), "#0.####")
    .TextMatrix(No, 4) = Format(globalforce(j4), "#0.####")
    .TextMatrix(No, 5) = Format(globalforce(j5), "#0.####")
    .TextMatrix(No, 6) = Format(globalforce(j6), "#0.####")
  End With
End If
Next i
End Sub

```

Prosedur penataan format tabel pada jendela utama SFAP

**Sub tableformat()**

On Error Resume Next

With MainForm.ListMaterial

```

.Cols = 6
.ColWidth(-1) = 1500
.ColWidth(0) = 495
.ColAlignment(-1) = flexAlignRightCenter
.ColAlignment(0) = flexAlignCenterCenter
.ColAlignment(1) = flexAlignCenterCenter
.TextMatrix(0, 0) = "No."
.TextMatrix(0, 1) = "Name"
.TextMatrix(0, 2) = "E" & Space(16)
.TextMatrix(0, 3) = "G" & Space(16)
.TextMatrix(0, 4) = "F"C"
.TextMatrix(0, 5) = "B"
.Rows = jm + 1
For i = 1 To jm

```

```

        .TextMatrix(i, 0) = i
    Next i
End With

With MainForm.ListFrameSect
    .Cols = 13
    .ColWidth(-1) = 1500
    .ColWidth(0) = 495
    .ColWidth(8) = 0
    .ColWidth(10) = 0
    .ColWidth(11) = 0
    .ColWidth(12) = 0
    .ColAlignment(-1) = flexAlignRightCenter
    .ColAlignment(0) = flexAlignCenterCenter
    .ColAlignment(1) = flexAlignCenterCenter
    .ColAlignment(7) = flexAlignCenterCenter
    .TextMatrix(0, 0) = "No"
    .TextMatrix(0, 1) = "Name"
    .TextMatrix(0, 2) = "Area" & Space(12)
    .TextMatrix(0, 3) = "Shr Area" & Space(10)
    .TextMatrix(0, 4) = "I3" & Space(15)
    .TextMatrix(0, 5) = "I2" & Space(15)
    .TextMatrix(0, 6) = "J1" & Space(15)
    .TextMatrix(0, 7) = "Material"
    .TextMatrix(0, 9) = "Section Type"
    .TextMatrix(0, 10) = "BorR"
    .TextMatrix(0, 11) = "D"
    .Rows = jsp + 1
    For i = 1 To jsp
        .TextMatrix(i, 0) = i
    Next i
End With

```

**With MainForm.ListNode**

```
.Cols = 4
```

```
If jn >= 18 Then
```

```
    .ColWidth(-1) = (.width - 780) / 3
```

```
Else
```

```
    .ColWidth(-1) = (.width - 510) / 3
```

```
End If
```

```
.ColWidth(0) = 495
```

```
.ColAlignment(-1) = flexAlignRightCenter
```

```
.ColAlignment(0) = flexAlignCenterCenter
```

```
.TextMatrix(0, 0) = "No."
```

```
.TextMatrix(0, 1) = "X" & Space(13)
```

```
.TextMatrix(0, 2) = "Y" & Space(13)
```

```
.TextMatrix(0, 3) = "Z" & Space(13)
```

```
.Rows = jn + 1
```

```
For i = 1 To jn
```

```
    .TextMatrix(i, 0) = i
```

```
Next i
```

```
End With
```

**With MainForm.ListFrame**

```
.Cols = 32
```

```
.ColWidth(-1) = 1500
```

```
.ColWidth(0) = 495
```

```
.ColWidth(1) = 795
```

```
.ColWidth(2) = 795
```

```
.ColWidth(6) = 500
```

```
.ColWidth(7) = 0
```

```
.ColWidth(8) = 0
```

```
.ColWidth(9) = 0
```

```
.ColWidth(10) = 0
```

```
.ColWidth(11) = 0
```

```
.ColWidth(12) = 0
```

```
.ColWidth(13) = 0
```

```
.ColWidth(14) = 0
```

```

.ColWidth(15) = 0
.ColWidth(16) = 0
.ColWidth(17) = 0
.ColWidth(18) = 0
.ColWidth(19) = 0
.ColWidth(20) = 0
.ColWidth(21) = 0
.ColWidth(22) = 0
.ColWidth(23) = 0
.ColWidth(24) = 0
.ColWidth(25) = 0
.ColWidth(26) = 0
.ColWidth(27) = 0
.ColWidth(28) = 0
.ColWidth(29) = 0
.ColWidth(30) = 0
.ColWidth(31) = 0
.ColAlignment(-1) = flexAlignRightCenter
.ColAlignment(0) = flexAlignCenterCenter
.ColAlignment(1) = flexAlignCenterCenter
.ColAlignment(2) = flexAlignCenterCenter
.ColAlignment(4) = flexAlignCenterCenter
.TextMatrix(0, 0) = "No."
.TextMatrix(0, 1) = "Node 1"
.TextMatrix(0, 2) = "Node 2"
.TextMatrix(0, 3) = "Length" & Space(11)
.TextMatrix(0, 4) = "Rot"
.TextMatrix(0, 5) = "Section Properties"
.TextMatrix(0, 6) = "Section Id"
.Rows = jf + 1
For i = 1 To jf
    .TextMatrix(i, 0) = i
Next i
End With

```

**With MainForm.ListRestraint**

```

.Cols = 8
If js >= 18 Then
.ColWidth(-1) = (.width - 495) / 7
Else
.ColWidth(-1) = (.width - 525) / 7
End If
.ColWidth(0) = 495
.ColWidth(1) = 713
.ColAlignment(-1) = flexAlignCenterCenter
.TextMatrix(0, 0) = "No."
.TextMatrix(0, 1) = "Node"
.TextMatrix(0, 2) = "Trans X"
.TextMatrix(0, 3) = "Trans Y"
.TextMatrix(0, 4) = "Trans Z"
.TextMatrix(0, 5) = "Rot X"
.TextMatrix(0, 6) = "Rot Y"
.TextMatrix(0, 7) = "Rot Z"
.Rows = js + 1
For i = 1 To js
.TextMatrix(i, 0) = i
Next i
End With

```

**With MainForm.ListJointLoad**

```

.Cols = 8
If jl >= 18 Then
.ColWidth(-1) = (.width - 495) / 7
Else
.ColWidth(-1) = (.width - 525) / 7
End If
.ColWidth(0) = 495
.ColWidth(1) = 713
.ColAlignment(-1) = flexAlignCenterCenter
.TextMatrix(0, 0) = "No."

```

```

.TextMatrix(0, 1) = "Node"
.TextMatrix(0, 2) = "P X"
.TextMatrix(0, 3) = "P Y"
.TextMatrix(0, 4) = "P Z"
.TextMatrix(0, 5) = "M X"
.TextMatrix(0, 6) = "M Y"
.TextMatrix(0, 7) = "M Z"
.Rows = jl + 1
For i = 1 To jl
    .TextMatrix(i, 0) = i
Next i
End With

With MainForm.ListFrameLoad
    .Cols = 5
    If jl >= 18 Then
        .ColWidth(-1) = (.width - 495) / 4
    Else
        .ColWidth(-1) = (.width - 525) / 4
    End If
    .ColWidth(0) = 495
    .ColWidth(1) = 713
    .ColAlignment(-1) = flexAlignCenterCenter
    .TextMatrix(0, 0) = "No."
    .TextMatrix(0, 1) = "Frame"
    .TextMatrix(0, 2) = "Q X"
    .TextMatrix(0, 3) = "Q Y"
    .TextMatrix(0, 4) = "Q Z"
    .Rows = fl + 1
    For i = 1 To fl
        .TextMatrix(i, 0) = i
    Next i
End With

```

**With MainForm.ListDisplacement**

```

.Cols = 7
.ColWidth(-1) = 2000
.ColWidth(0) = 713
.ColAlignment(-1) = flexAlignRightCenter
.ColAlignment(0) = flexAlignCenterCenter
.TextMatrix(0, 0) = "Node"
.TextMatrix(0, 1) = "Trans X" & Space(15)
.TextMatrix(0, 2) = "Trans Y" & Space(15)
.TextMatrix(0, 3) = "Trans Z" & Space(15)
.TextMatrix(0, 4) = "Rot X" & Space(17)
.TextMatrix(0, 5) = "Rot Y" & Space(17)
.TextMatrix(0, 6) = "Rot Z" & Space(17)
.Rows = jn + 1

```

**End With****With MainForm.ListElementForces**

```

.Cols = 13
.ColWidth(-1) = 2000
.ColWidth(0) = 713
.ColAlignment(-1) = flexAlignRightCenter
.ColAlignment(0) = flexAlignCenterCenter
.TextMatrix(0, 0) = "Frame"
.TextMatrix(0, 1) = "fx1" & Space(18)
.TextMatrix(0, 2) = "fy1" & Space(18)
.TextMatrix(0, 3) = "fz1" & Space(18)
.TextMatrix(0, 4) = "mx1" & Space(18)
.TextMatrix(0, 5) = "my1" & Space(18)
.TextMatrix(0, 6) = "mz1" & Space(18)
.TextMatrix(0, 7) = "fx2" & Space(18)
.TextMatrix(0, 8) = "fy2" & Space(18)
.TextMatrix(0, 9) = "fz2" & Space(18)
.TextMatrix(0, 10) = "mx2" & Space(18)
.TextMatrix(0, 11) = "my2" & Space(18)
.TextMatrix(0, 12) = "mz2" & Space(18)

```

```
.Rows = jf + 1
End With
```

```
With MainForm.ListBoxReinforcement
```

```
.Cols = 28
.ColWidth(-1) = 2000
.ColWidth(0) = 713
.ColWidth(1) = 0
.ColWidth(2) = 0
.ColWidth(7) = 0
.ColWidth(8) = 0
.ColWidth(13) = 0
.ColWidth(14) = 0
.ColWidth(19) = 0
.ColWidth(20) = 0
.ColWidth(21) = 0
.ColAlignment(-1) = flexAlignRightCenter
.ColAlignment(0) = flexAlignCenterCenter
.TextMatrix(0, 0) = "Frame"
.TextMatrix(0, 1) = "n Tulangan Tarik"
.TextMatrix(0, 2) = "n Tulangan Tekan"
.TextMatrix(0, 3) = "n Tulangan Tarik Tengah"
.TextMatrix(0, 4) = "n Tulangan Tekan Tengah"
.TextMatrix(0, 5) = "Mu Tengah"
.TextMatrix(0, 6) = "Phi Mn Tengah"
.TextMatrix(0, 7) = "n Tulangan Tarik"
.TextMatrix(0, 8) = "n Tulangan Tekan"
.TextMatrix(0, 9) = "n Tulangan Tarik Kiri"
.TextMatrix(0, 10) = "n Tulangan Tekan Kiri"
.TextMatrix(0, 11) = "Mu Kiri"
.TextMatrix(0, 12) = "Phi Mn Kiri"
.TextMatrix(0, 13) = "n Tulangan Tarik"
.TextMatrix(0, 14) = "n Tulangan Tekan"
.TextMatrix(0, 15) = "n Tulangan Tarik Kanan"
.TextMatrix(0, 16) = "n Tulangan Tekan Kanan"
```

```

.TextMatrix(0, 17) = "Mu Kanan"
.TextMatrix(0, 18) = "Phi Mn Kanan"
.TextMatrix(0, 19) = "B"
.TextMatrix(0, 20) = "Ld Tarik"
.TextMatrix(0, 21) = "Ld Tekan"
.Rows = 1
End With

With MainForm.ListColumnReinforcement
.Cols = 5
.ColWidth(-1) = 2000
.ColWidth(0) = 713
.ColWidth(1) = 0
.ColWidth(2) = 0
.ColAlignment(-1) = flexAlignRightCenter
.ColAlignment(0) = flexAlignCenterCenter
.TextMatrix(0, 0) = "Frame"
.TextMatrix(0, 1) = "n Tulangan Tarik"
.TextMatrix(0, 2) = "n Tulangan Tekan"
.TextMatrix(0, 3) = "n Tulangan Tarik"
.TextMatrix(0, 4) = "n Tulangan Tekan"
.Rows = 1
End With

With MainForm.ListSupportReaction
.Cols = 7
.ColWidth(-1) = 2000
.ColWidth(0) = 713
.ColAlignment(-1) = flexAlignRightCenter
.ColAlignment(0) = flexAlignCenterCenter
.TextMatrix(0, 0) = "Node"
.TextMatrix(0, 1) = "FX" & Space(18)
.TextMatrix(0, 2) = "FY" & Space(18)
.TextMatrix(0, 3) = "FZ" & Space(18)
.TextMatrix(0, 4) = "MX" & Space(18)

```

```

.TextMatrix(0, 5) = "MY" & Space(18)
.TextMatrix(0, 6) = "MZ" & Space(18)
.Rows = js + 1
End With
End Sub

```

Prosedur tampilan parameter struktur

**Sub structureparam()**

**On Error Resume Next**

**With MainForm**

.Text1.text = xfile

.Text2.text = jn

.Text3.text = jf

.Text4.text = js

.Text5.text = jl

.Text6.text = Title

.Text7.text = fl

**End With**

**End Sub**

**Sub formsetting(enableordisable As Boolean)**

**With MainForm**

.mnTools.Enabled = enableordisable

.SSTab3.Enabled = enableordisable

.SSTab1.Enabled = enableordisable

.TextElev.Enabled = enableordisable

.TextPlan.Enabled = enableordisable

.TextX.Enabled = enableordisable

.TextY.Enabled = enableordisable

.TextZoom.Enabled = enableordisable

.TextDeformFactor.Enabled = enableordisable

.CmdElevMin.Enabled = enableordisable

.CmdElevPlus.Enabled = enableordisable

.CmdPlanMin.Enabled = enableordisable

.CmdPlanPlus.Enabled = enableordisable

.CmdXMin.Enabled = enableordisable

.CmdXPlus.Enabled = enableordisable

```

.CmdYMin.Enabled = enableordisable
.CmdYPlus.Enabled = enableordisable
.CmdZoomMin.Enabled = enableordisable
.CmdZoomPlus.Enabled = enableordisable
.CheckDeform.Enabled = enableordisable

```

End With

End Sub

Fungsi export ke MS Excell

**Function** export2excell(**tablename** As String, **ByVal** row As Integer, **ByVal** col As Integer, **tabletoexport** As Object)

objWorkbook.Worksheets.Add

objWorkbook.Worksheets(1).Name = tablename

For i = 0 To row

For j = 0 To col

objWorkbook.Worksheets(1).Cells(i + 1, j + 1) = tabletoexport.TextMatrix(i, j)

Next j

Next i

objExcel.Application.Visible = True

End Function

Fungsi tampilkan progress bar

**Function** progress(**progresslabel** As String, **ByVal** maxval As Double, **ByVal** curval As Double)

FormLoading.Caption = Space(1) & progresslabel

FormLoading.ProgressBar1.max = maxval

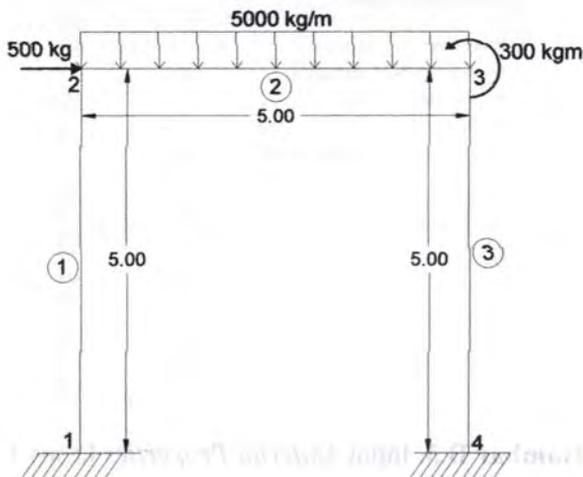
FormLoading.ProgressBar1.Value = curval

End Function

**Lampiran D**

**GAMBAR PROSES INPUT DAN OUTPUT  
BEBERAPA STUDI KASUS**

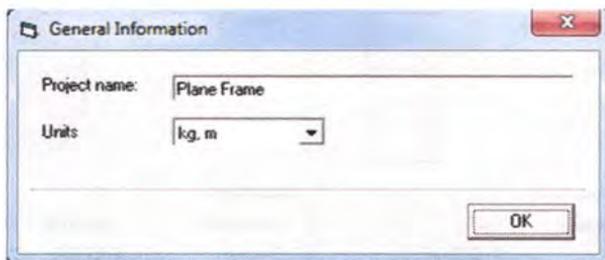
### Studi Kasus 1 dengan SFAP 2011



**Gambar D.1.** Studi Kasus 1 *Plane Frame*

Gambar proses input SFAP 2011

*Input 1 : General Information*



**Gambar D.2.** Input *General Information* kasus 1

**Input 2 : Material Properties**

Define Material Properties

Material Name: Concrete

Modulus of elasticity, E: 2000000000 kg/m<sup>2</sup>

Poisson's Ratio, U: 0.2

Shear modulus, G: 833333333.333333 kg/m<sup>2</sup>

fc: 17.4142841510666 MPa

B1: 0.95

No.	Name	E

Buttons: Add, OK

**Gambar D.3. Input Material Properties kasus 1****Input 3 : Section Properties**

Section Wizard (Left: Rectangular)

Select frame section: Rectangular

Dimension: Depth 0.5 m, Width 0.3 m

Section Properties:

Cross-section Area	0.15	m <sup>2</sup>
Shear Area	0.12500000496	m <sup>2</sup>
Torsional Constant	2.81737107191	
Moment of Inertia about 3-axis	3.12500012417	m <sup>4</sup>
Moment of Inertia about 2-axis	1.12500013411	m <sup>4</sup>

Buttons: OK, Cancel

Section Wizard (Right: Circular)

Select frame section: Circular

Dimension: Diameter 0.5 m

Section Properties:

Cross-section Area	0.19634954375	m <sup>2</sup>
Shear Area	0.17671458937	m <sup>2</sup>
Torsional Constant	6.13592324218	
Moment of Inertia about 3-axis	3.06796162109	m <sup>4</sup>
Moment of Inertia about 2-axis	3.06796162109	m <sup>4</sup>

Buttons: OK, Cancel

**Gambar D.4. Input Section Properties kasus 1**

### Input 4 dan 5: Reinforcement Properties

**Assign Reinforcement Properties**

Type: D-19

Fy: 400

Fyv: 400

Diameter: 19

Dv: 10

Section Area: 283.528736986479

Ratio of reinforcement: 0.5

**COLUMN REINFORCEMENT**

Diameter of Bars: 19 mm

Decking: 40 mm

fy, Strength: 400 MPa

Es, Elasticity: 200000 MPa

**Gambar D.5. Input Reinforced Properties kasus 1**

### Input 6 : Nodal Coordinates

**Input Nodal Coordinates**

Label 5

X: \_\_\_\_\_ m

Y: \_\_\_\_\_ m

Z: \_\_\_\_\_ m

Label	X	Y	Z
1	0	0	0
2	0	5	0
3	5	5	0
4	5	0	0

Add

Remove

OK

**Gambar D.6. Input Nodal Coordinates kasus 1**

**Input 7 : Frame Properties**

Assign Frame Location and Section Properties

Label: 4

Start joint  Rotation  deg

End joint  Section

Label	Node 1	Node 2	Rot
1	1	2	0
2	2	3	0
3	3	4	0

Add Remove

OK

**Gambar D.7. Input Frame Properties kasus 1****Input 8 : Joint Restraint**

Assign Joint Restraint

Joint label

Fast Restraints

Restraints in Joint Direction

Translation 1  Rotation 1

Translation 2  Rotation 2

Translation 3  Rotation 3

Node	Trans X	Trans Y	Trans Z	Rot X	Rot Y
1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1

Add Remove

OK

**Gambar D.8. Input Joint Restraint kasus 1**

**Input 9 : Joint Loads**

Assign Joint Load

Joint label

Force Global X  kg    Moment About Global X  kgm

Force Global Y  kg    Moment About Global Y  kgm

Force Global Z  kg    Moment About Global Z  kgm

Node	P-X	P-Y	P-Z	▲
2	500	0	0	
3	0	0	0	

Add

Remove

OK

**Gambar D.9. Input Joint Loads kasus 1****Input 10 : Distributed Loads**

Assign Frame Distributed Load

Frame label

Force Global X  kg/m

Force Global Y  kg/m

Force Global Z  kg/m

Node	Q-X	Q-Y	Q-Z	▲
2	0	-5000	0	

Add

Remove

OK

**Gambar D.10. Input Distributed Loads kasus 1**

*Output 1 : Nodal Displacement*

Displacement	Sup. Reaction	Elmt Forces	Beam Re-	Col. Re-		
Node	Trans X	Trans Y	Trans Z	Rot X	Rot Y	Rot Z
1	0	0	0	0	0	0
2	0.000593	-0.00016	0	0	0	-0.0015
3	0.000555	-0.00016	0	0	0	0.001388
4	0	0	0	0	0	0

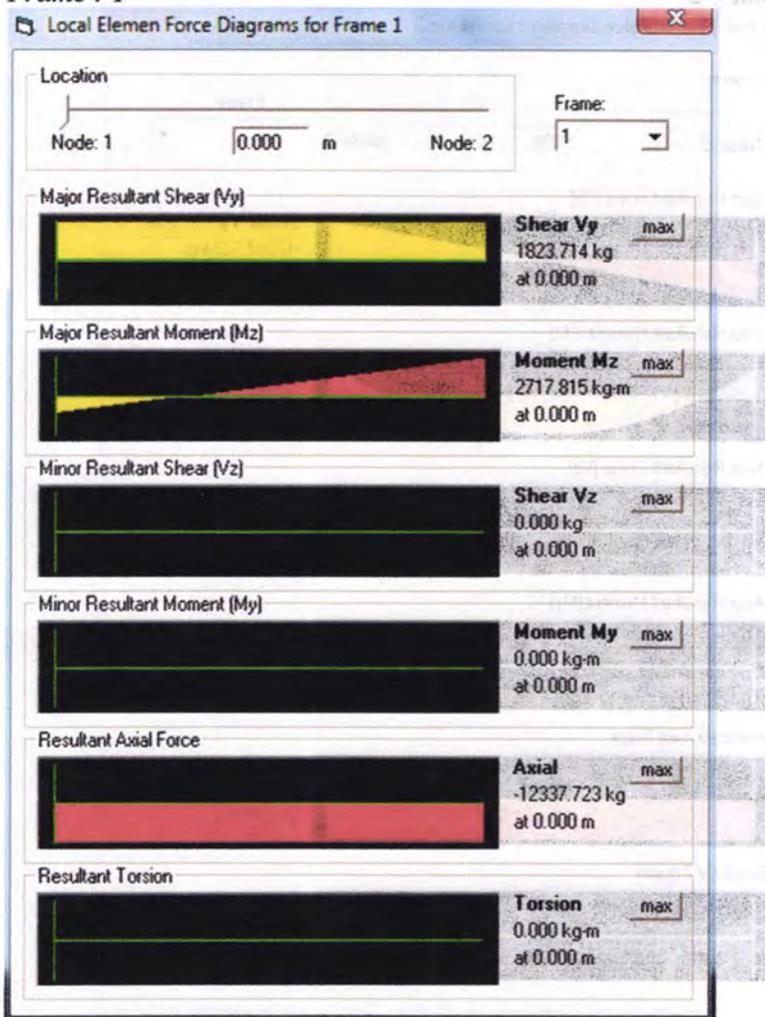
**Gambar D.11. Output Nodal Displacement kasus 1***Output 2 : Support Reaction*

Displacement	Sup. Reaction	Elmt Forces	Beam Re-	Col. Re-		
Node	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	1823.714	12337.72	0	0	0	-2717.82
4	-2323.71	12662.28	0	0	0	4106.43

**Gambar D.12. Output Support Reaction kasus 1**

### Output 3 : Elemen Forces

Frame : 1

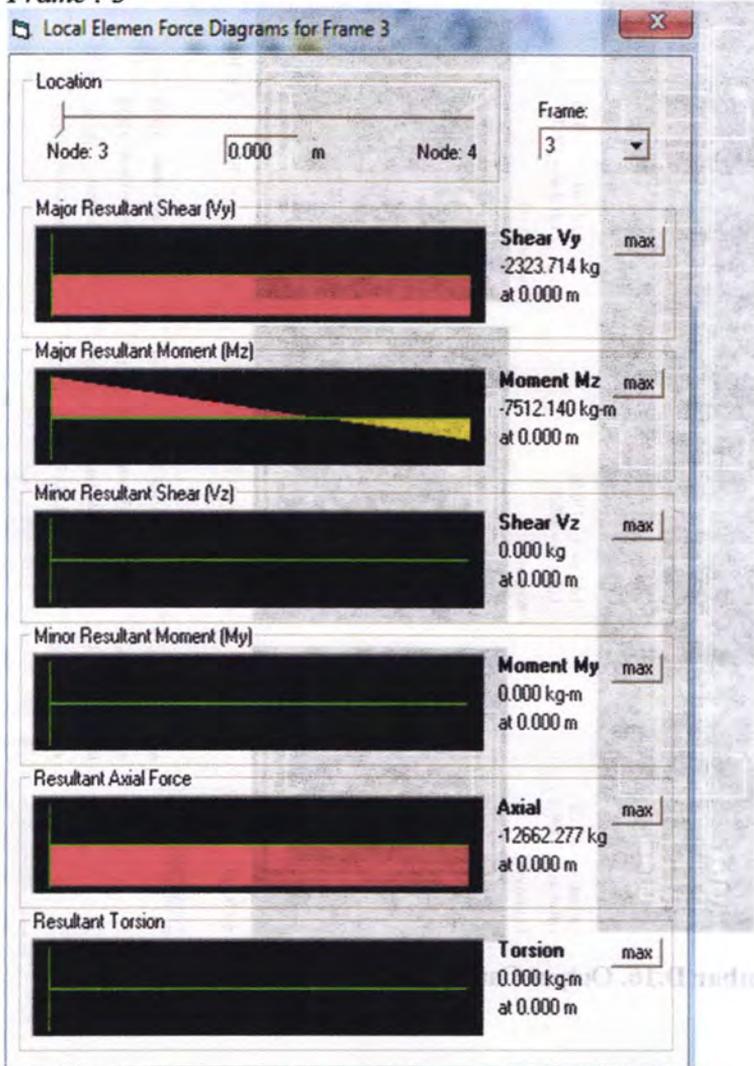


Gambar D.13. Output Element Force frame 1 kasus 1.

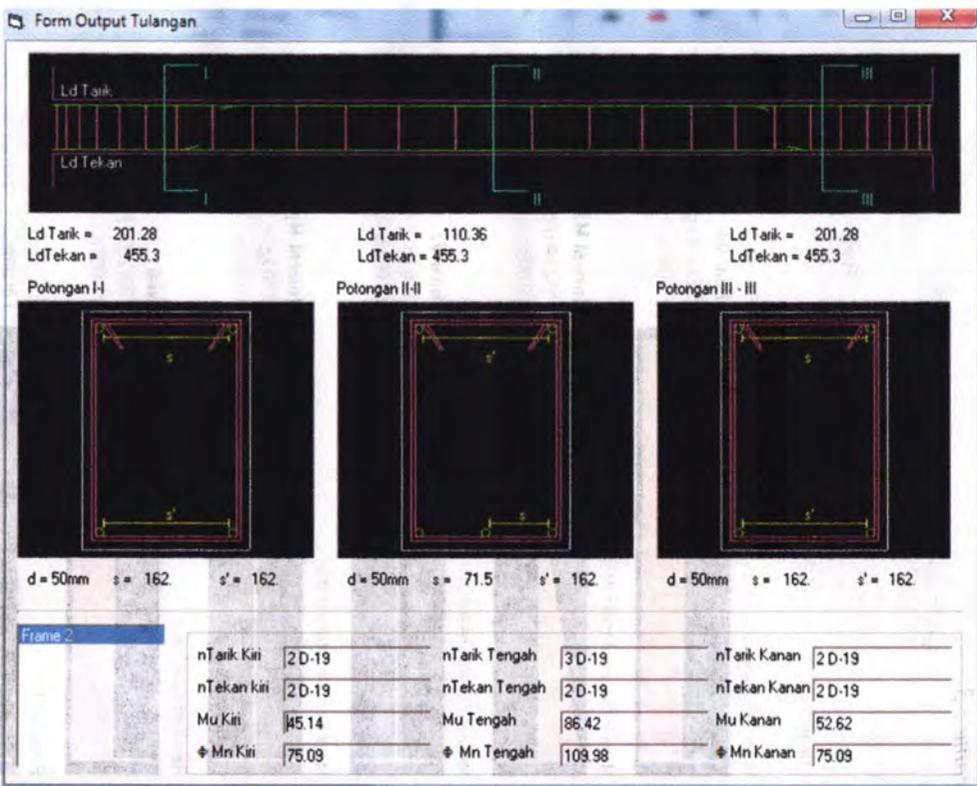
## Frame : 2

Gambar D.14. Output *Element Force* frame 2 kasus 1

### Frame : 3



Gambar D.15. Output *Element Force* frame 3 kasus 1



Gambar D.16. Output Gambar Tulangan kasus 1

## Studi Kasus 1 dengan SAP 2000

### Output 1 : Nodal Displacement

Displacements

View Format-Filter-Sort Select Options

As Noted Joint Displacements

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
1	COMB1	Combination	0	0	0	0	0	0
2	COMB1	Combination	0.000593	0	-0.000157	0	0.001501	0
3	COMB1	Combination	0	0	0	0	0	0
4	COMB1	Combination	0.000555	0	-0.000161	0	-0.001388	0

**Gambar D.17.** Output Nodal Displacement kasus 1 (SAP 2000)

### Output 2 : Joint Reaction

Reactions

View Format-Filter-Sort Select Options

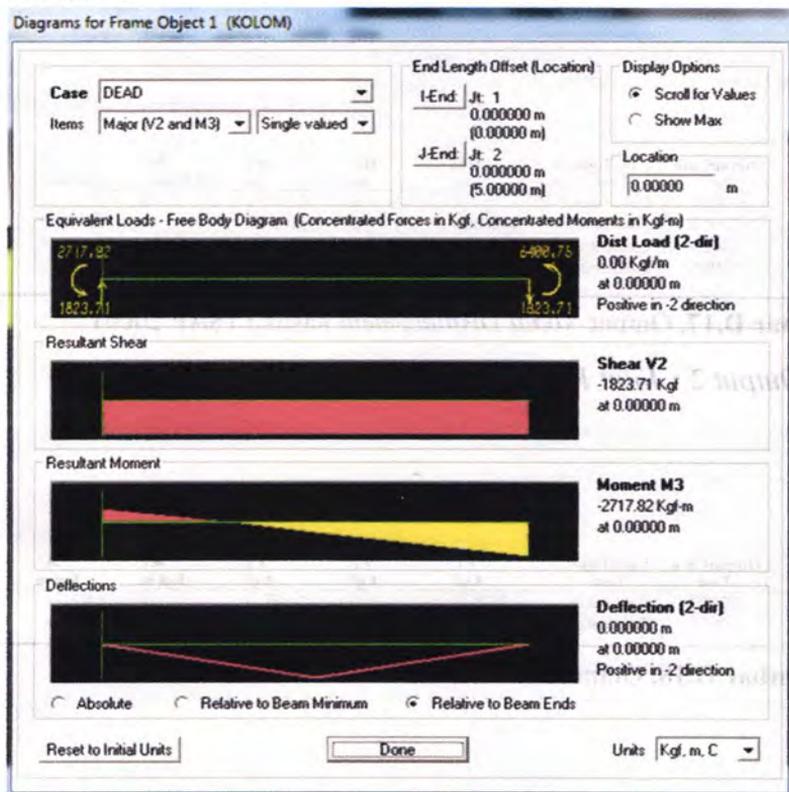
As Noted Joint Reactions

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-m	M2 Kgf-m	M3 Kgf-m
1	COMB1	Combination	1823.71	0	12337.72	0	2717.82	0
3	COMB1	Combination	-2323.71	0	12662.28	0	-4106.43	0

**Gambar D.18.** Output Joint Reaction kasus 1 (SAP 2000)

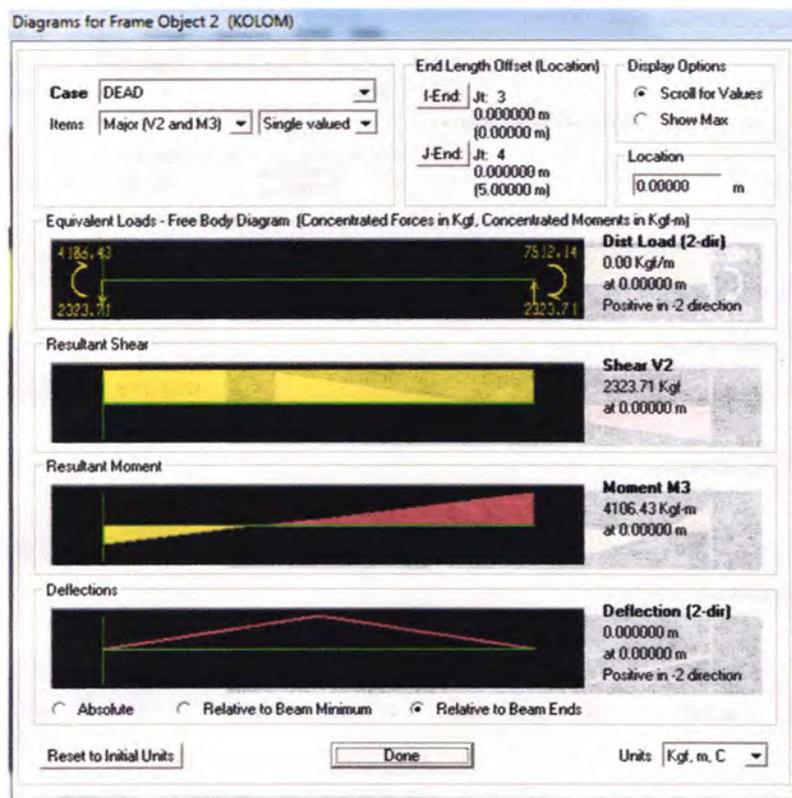
### Output 3 : Element Forces

#### Frame : 1



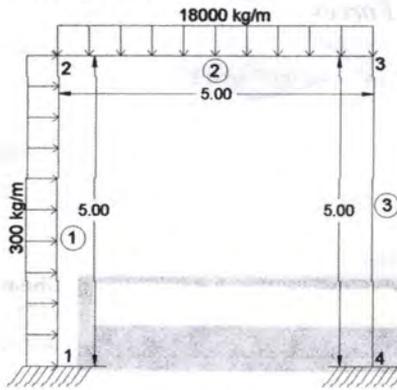
Gambar D.19. Output Element Force frame 1 kasus 1 (SAP 2000)

## Frame : 3



Gambar D.21. Output *Element Force* frame 3 kasus 1 (SAP 2000)

### Studi Kasus 2 dengan SFAP 2011



**Gambar D.22.** Studi Kasus 2 Plane Frame

Output 1 : Nodal Displacement

Displacement | Sup. Reaction | Elmt Forces | Beam Re- | Col. Re- |

Node	Trans X	Trans Y	Trans Z	Rot X	Rot Y	Rot Z
1	0	0	0	0	0	0
2	0.000899	-0.00057	0	0	0	-0.00516
3	0.000771	-0.00058	0	0	0	0.005007
4	0	0	0	0	0	0

**Gambar D.23.** Output Nodal Displacement kasus 2

Output 2 : Support Reaction

Displacement | **Sup. Reaction** | Elmt Forces | Beam Re- | Col. Re- |

Node	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	6174.298	44786.48	0	0	0	-10358.8
4	-7674.3	45213.52	0	0	0	13041.14

**Gambar D.24.** Output Support Reaction kasus 2

*Output 3 : Element Forces*  
*Frame : 1*



**Gambar D.25.** Output *Element Forces* frame 1 kasus 2

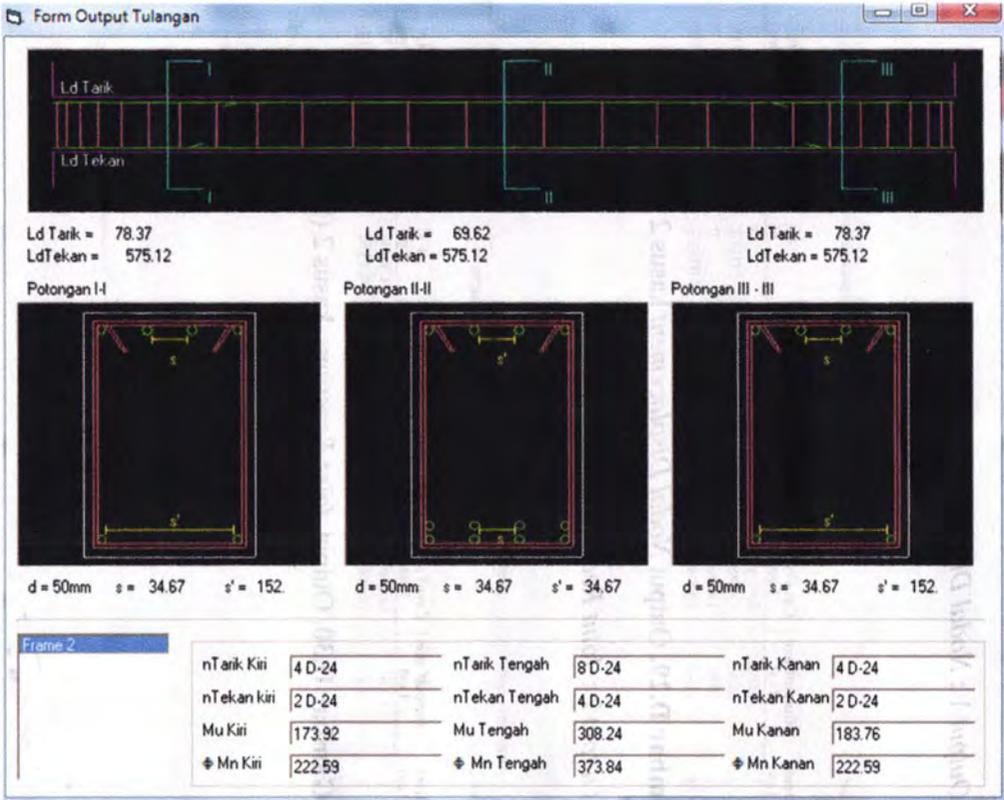
## Frame : 2

Gambar D.26. Output *Element Forces* frame 2 kasus 2

## Frame : 3



Gambar D.27. Output Element Forces frame 3 kasus 2



Gambar D.28. Output Gambar Tulangan kasus 2

## Studi Kasus 2 dengan SAP 2000

### Output 1 : Nodal Displacement

Joint Displacements

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Joint Text	Output Case Text	Case Type Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
1	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
2	DEAD	LinStatic	0.000899	0	-0.00057	0	0.005156	0
3	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
4	DEAD	LinStatic	0.000771	0	-0.000576	0	-0.005007	0

**Gambar D.29.** Output *Nodal Displacement* kasus 2 (SAP 2000)

### Output 2 : Joint Reactions

Joint Reactions

File View Format-Filter-Sort Select Options

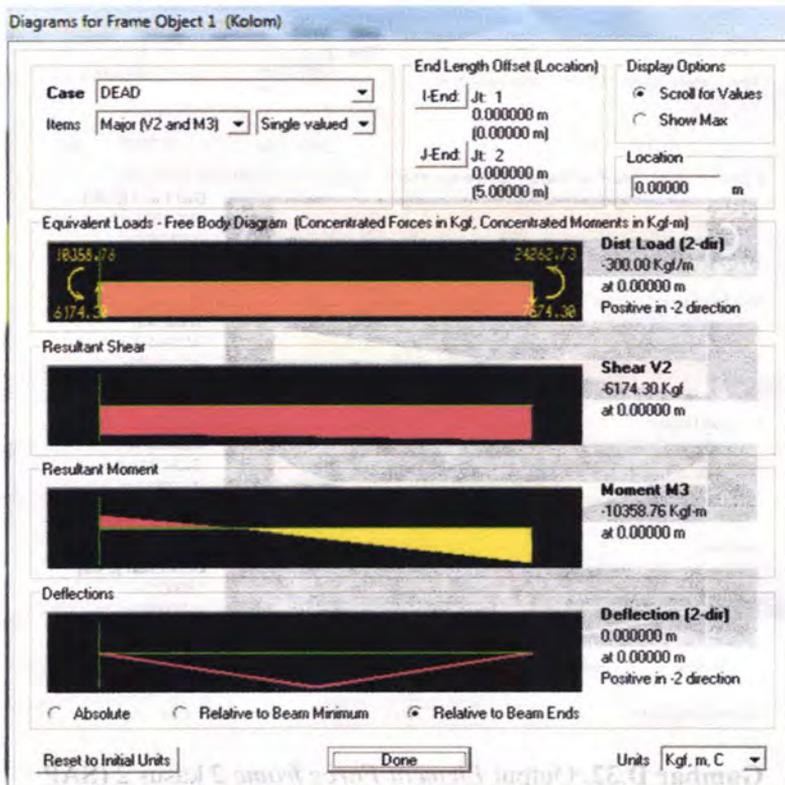
Units: As Noted

Joint Text	Output Case Text	Case Type Text	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-m	M2 Kgf-m	M3 Kgf-m
1	DEAD	LinStatic	6174.3	0	44786.48	0	10358.76	0
3	DEAD	LinStatic	-7674.3	0	45213.52	0	-13041.14	0

**Gambar D.30.** Output *Joint Reactions* kasus 2 (SAP 2000)

### Output 3 : Element Forces

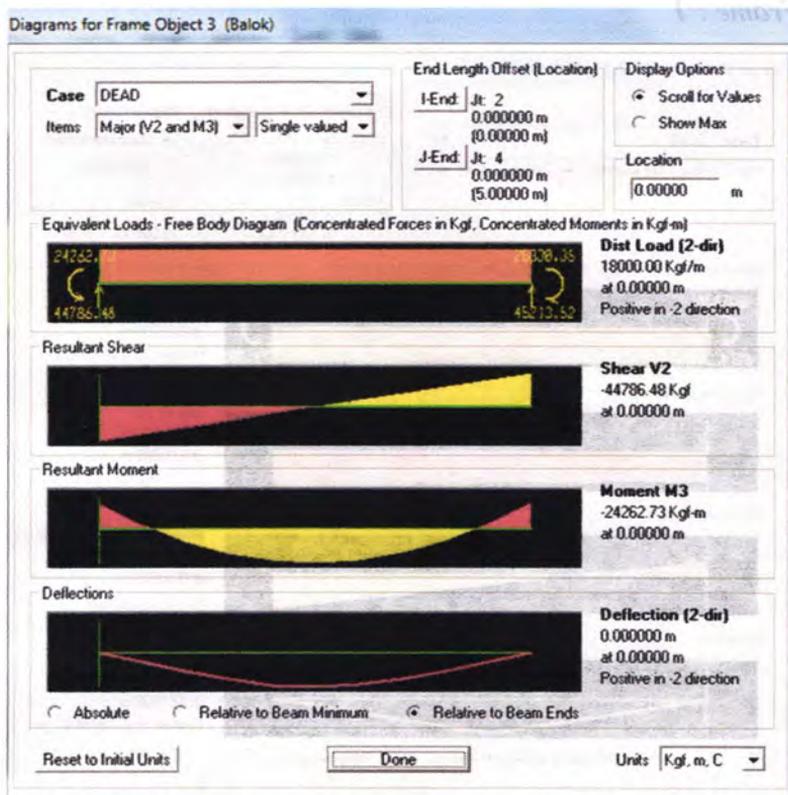
#### Frame : 1



Gambar D.31. Output Element Force frame 1 kasus 2 (SAP 2000)

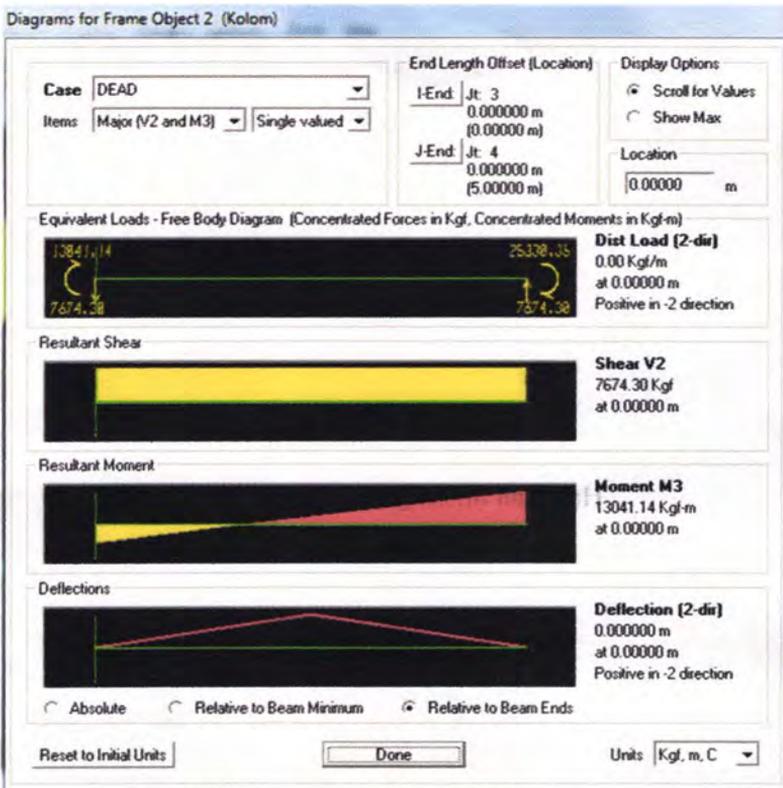


## Frame : 2



Gambar D.32. Output *Element Force* frame 2 kasus 2 (SAP 2000)

## Frame : 3



Gambar D.33. Output *Element Force frame 3 kasus 2 (SAP 2000)*

NAMA PEMBIMBING	: TAVIO, ST.,MT., PhD
NAMA MAHASISWA	: VINCENTIUS ARIP WICAKSONO
NRP	: 3107 100 081
JUDUL TUGAS AKHIR	: PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK MENGGUNAKAN METODEA ELEMEN HINGGA UNTUK PERANCANGAN LENTUR BALOK BETON BERTULANG
TANGGAL PROPOSAL	: 8 FEBRUARI 2011
NO. SP-MMTA	: 244/ I 2.3.2 /PP/2011

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTE
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	18 Maret 2011	Perencanaan layout program	Revisi & Melanjutkan	<u>  </u>
2.	21 Maret 2011	Konsultasi pengerjaan analisa struktur dengan metoda Matriks 3D.	Mulai pembuat flowchart.	<u>  </u>
3.	23 Maret 2011	Pengecutan flowchart, mulai pengerjaan menentu-	Acc. Program	<u>  </u>

		Fan variabel * yg digunakan & output yg dihasilkan		
4.	29 Maret 2011	Acc. Program Analisa Struktur.	Melanjutkan & Revisi	$\overline{T=}$
5.	31 Maret 2011	Acc. Program Analisa Struktur.	Melanjutkan & Revisi	$\overline{T=}$
6.	4 April 2011	Acc. Program Analisa Struktur.	Melanjutkan & Revisi	$\overline{T=}$
7.	11 April 2011	Acc. Program Analisa Struktur & Study literatur fasis * - Space Frame dgn perhitungan fasis	Revisi	$\overline{T=}$
8.	15 April 2011	Study Fasis perhitungan lentur balok dari beberapa bentuk penampang beton.	Melanjutkan	$\overline{T=}$
9.	18 April 2011	Study fasis dgn penampang tulangan ganda & sistem unified.	Melanjutkan	$\overline{T=}$
10.	22 April 2011	Acc. Program Analisa struktur dilanjutkan dgn. flowchart lentur balok.	Revisi tampilan analisa struktur	$\overline{T=}$
11.	25 April 2011	Acc. Penulisan laporan Bab II & III.	revisi laporan.	$\overline{T=}$
12.	29 April 2011	Acc. Program lentur Balok	Melanjutkan & Revisi	$\overline{T=}$
13.	10 Mei 2011	Acc. Penulisan Laporan II & III	Revisi Laporan.	$\overline{T=}$
14.	17 Mei 2011	Acc. Program Lentur Balok	Melanjutkan & Revisi	$\overline{T=}$
15.	24 Mei 2011	Acc. Program Lentur Balok.	Melanjutkan & Revisi	$\overline{T=}$

NAMA PEMBIMBING	: DAVID, ST, MT, PhD
NAMA MAHASISWA	: VINCENTUS ARIF WICAKRONO
NRP	: 3107 100 081
JUDUL TUGAS AKHIR	:
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTE
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
16.	31 May 2011	Acc. Tampilan Output Program.	Revisi Tampilan output.	
17.	3 Juni 2011	Acc. Penulisan Laporan Bab <u>IV</u> .	Revisi Penulisan Laporan.	
18.	8 Juni 2011	Presentasi hasil Program	Revisi Tampilan Output & Penambahan Combo.	

19.	13 Juni 2011	Ace. Penulisan Laporan & hasil reuvi program.	Revisi	T=.
20	17 Juni 2011	Ace. Penulisan Laporan Bab V.	Selesai	T=.

NAMA PEMBIMBING	: DATA IRANATA, ST, MT, PhD
NAMA MAHASISWA	: VINCENTUS ARIF WICAFSONO
NRP	: 3107 100 081
JUDUL TUGAS AKHIR	: PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK MENGGUNAKAN METODA ELEMEN HINGGA UNTUK PERANCANGAN LENTUR BALOK BETON BERTULANG
TANGGAL PROPOSAL	: 8 Februari 2011
NO. SP-MMTA	: 244 / I2.3.2 / PP / 2011

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTE
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	18 Maret 2011	Study kasus kantilever dengan hitungan manual.	Study kasus plane frame dengan hitungan manual.	
2.	21 Maret 2011	Study kasus plane frame dgn hitungan manual	Study kasus space frame dgn hitungan manual	 

2.	24 Maret 2011	alur temrograman dengan flowchart.	Memulai pembuatan program.	
4.	28 Maret 2011	Acc. Program Analisa Struktur	Melanjutkan.	
5.	31 Maret 2011	Acc. Program Analisa Struktur.	Koreksi & Melanjutkan.	
6.	4 April 2011	Acc. Program Analisa Struktur.	Koreksi (Menambahkan struktur vektor)	
7.	8 April 2011	Acc. Program Analisa Struktur.	Koreksi & Melanjutkan.	
8.	15 April 2011	Acc. Program Analisa Struktur & verifikasi dgn SAP 2000 (Utk kasus Plane Frame)	Melanjutkan dgn. kasus Space Frame	
9.	22 April 2011	Acc. Program Analisa Struktur & verifikasi dgn SAP 2000 (Utk kasus Space Frame)	Penulisan laporan	
10.	25 April 2011	Penulisan tinjauan pustaka & flowchart Metodologi	Melanjutkan.	
11.	29 April 2011	Penulisan laporan bab 1 - 5	Selesai	

NAMA PEMBIMBING	: Ir. IMAN WIMBADI, MS
NAMA MAHASISWA	: VINCENTIUS ARIP WICAFSONO
NRP	: 3107 100 081.
JUDUL TUGAS AKHIR	: PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGSA UNTUK PERANCANGAN LENTUR BALOK BETON BERTULANG
TANGGAL PROPOSAL	: 8 Pebrvary 2011
NO. SP-MMTA	: 244 / I2.3.2 / PP/2011

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTE
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	20 April 2011	Konsultasi Analisa lentur Balok.	Menyuntikan flowchart.	W
2.	29 April 2011	Acc. program lentur Balok.	Revisi & Melanjutkan	W
-	12 Mei 2011	Acc. & pengecekan program lentur.dengan	Revisi & Melanjutkan.	W

4. 24 Mei 2011 ~~melakukan~~ ~~umum~~ Penulisan Laporan Bab. III & IV.
5. 8 Juni 2011 Presentasi Hasil Program
6. 13 Juni 2011 Acc. Penulisan laporan & Hasil Pensi-  
Program.

Pensi & Melampirkan

Pensi tampilan Output.

vv  
W  
W

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 20 April 1989 dengan nama lengkap Vincentius Arif Wicaksono. Penulis telah menempuh pendidikan yaitu SDK Santa Clara Surabaya, SMPK Santa Clara Surabaya, dan SMAK St. Louis I Surabaya. Setelah lulus dari SMA penulis diterima di jurusan Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya melalui jalur Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru (SPMB) dan terdaftar dengan NRP 3107100081 pada tahun 2007.

Di Jurusan Teknik Sipil ini penulis mengambil Bidang Studi Struktur. Selama kuliah penulis pernah mengikuti berbagai kegiatan seminar. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh Jurusan. Penulis juga pernah mengikuti beberapa kompetisi yang diadakan di ITS, seperti Lomba Beton Mutu Tinggi dan LKT B Fiber Concrete. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis, dapat melalui email: [coolnedved89@gmail.com](mailto:coolnedved89@gmail.com).