

STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS

SAP90

VERSION 5.20

TUTORIAL No. 1-9

Analisis dan Desain Struktur.
Elemen dan Sistem Struktur.
Analisis Struktur Truss 2D.
Analisis Struktur Frame 2D.
Analisis Struktur Truss 3D.
Analisis Struktur Frame 3D.
Analisis Struktur Plat.
Aplikasi Perhitungan Garis Pengaruh Truss 2D.
Aplikasi Perhitungan Struktur Grid.

Editor
Hanggoro Tri Cahyo
Arnida Ambar Cahyati

Biro Pengembangan Profesionalisme Sipil
Himpunan Mahasiswa Sipil
Universitas Diponegoro

<http://www.bpps.ourfamily.com>
E-mail : wr-hangs@semarang.wasantara.net.id

1

Analisis dan Desain Struktur

Setelah mengikuti sesion ini peserta memiliki presepsi tentang analisis dan desain struktur sebagai dasar dalam pengaplikasian program SAP90.

Pada prinsipnya tujuan dari analisis dan desain struktur meliputi dua aspek

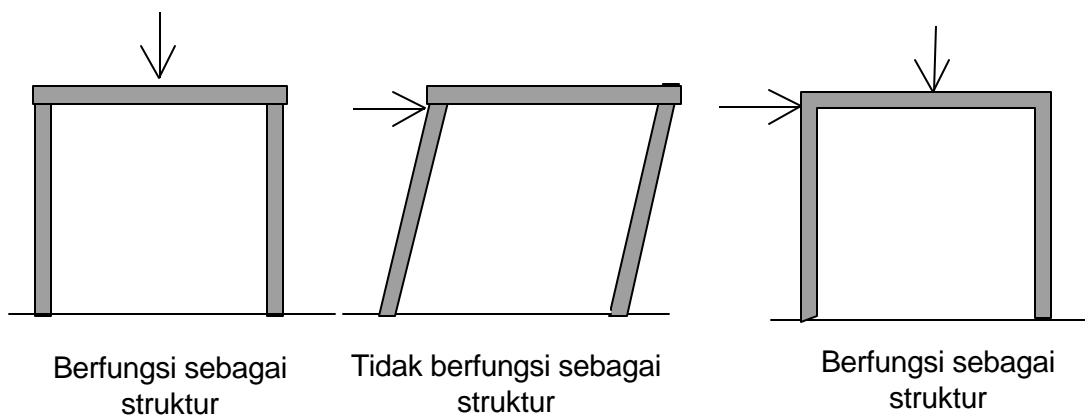
- Menentukan gaya-gaya dalam (momen lentur, gaya lintang, gaya normal dan momen torsi) pada elemen-elemen struktural, reaksi-reaksi pada tumpuan dan perubahan bentuk/deformasi struktur akibat sistem pembebanan yang bekerja pada struktur.
- Menentukan ukuran atau dimensi dari elemen-elemen struktur agar mampu menahan gaya-gaya dalam yang bekerja (pemeriksaan tegangan dan pendimensian penampang dari elemen-elemen struktur).

Gaya-gaya yang bekerja pada struktur bisa memenuhi keseimbangan dan kestabilan. Prosedur analisis dan desain struktur dapat dilakukan secara manual maupun dengan program analisis dan desain struktur. Perbedaan mendasar antara analisis struktur dengan program dan manual adalah kemudahan proses trial and error dalam menganalisis struktur.

Apakah itu struktur ?

Struktur adalah sarana untuk menyalurkan beban yang bekerja pada bangunan kedalam tanah dan pada umumnya struktur merupakan gabungan dari beberapa elemen yang bekerja sebagai satu kesatuan dalam memikul beban.

Ilustrasi sederhana : **susunan balok kolom.**

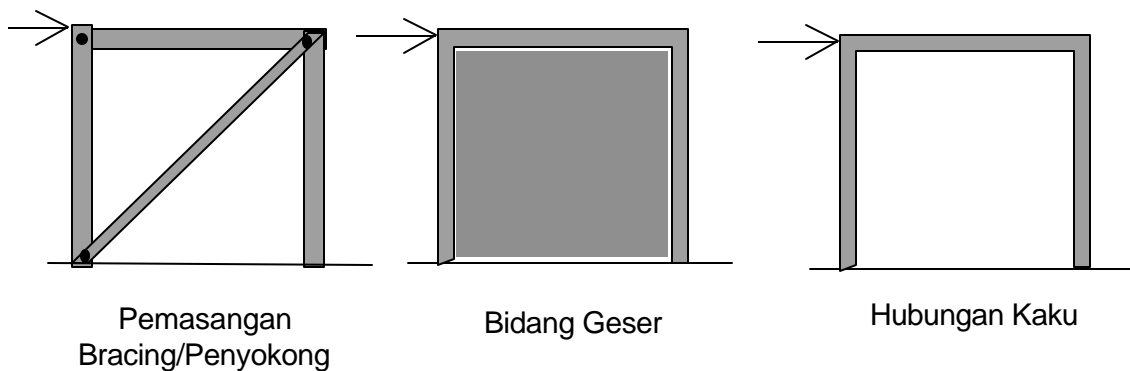


Menjamin kestabilan struktur dari segala kondisi pembebanan yang mungkin terjadi merupakan tujuan dasar perencanaan struktur. Perbedaan struktur stabil dan tidak stabil :

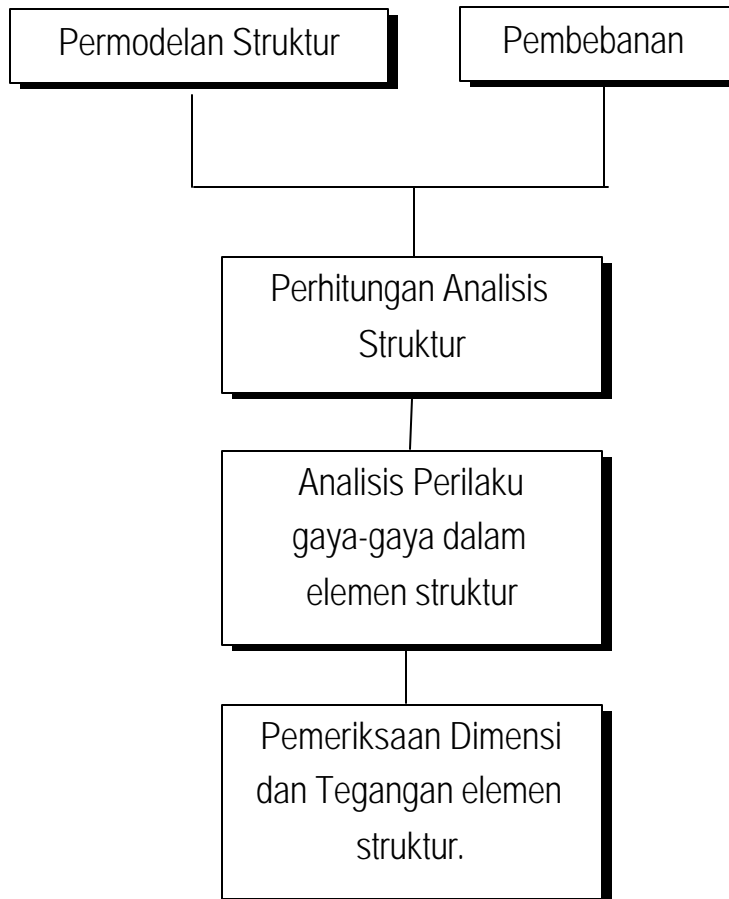
Struktur stabil	Struktur Tidak Stabil
<ul style="list-style-type: none"> • Deformasi dari struktur akibat beban luar sangat kecil. Misal $1/500 \times$ bentang. 	<ul style="list-style-type: none"> • Deformasi dari struktur akibat beban luar mempunyai kecenderungan untuk terus bertambah selama struktur tersebut dibebani. • Struktur mudah mengalami keruntuhan.

Lalu bagaimana membuat struktur yang stabil ?

Ada tiga metode untuk menstabilkan struktur :



Proses Analisis dan Desain Struktur



Pertimbangan yang harus diambil oleh perencana dalam perencanaan struktur adalah,

- Persyaratan kondisi lapangan.
- Persyaratan terhadap peraturan yang ada.
- Persyaratan fungsi bangunan.
- Kemudahan pelaksanaan.
- Penampilan struktur yang baik.
- Pertimbangan efisiensi.

Untuk mencapai semua kondisi diatas kecil kemungkinan jika hanya sekali menganalisis maupun mendesain struktur, sehingga biasanya menggunakan metode *trial and error*. Selain itu asumsi-asumsi yang digunakan haruslah mendekati kebenaran dari kondisi sebenarnya.

Materi Praktikum Sesi 1

- Membuat block data SAP90 seperti tertulis dibawah ini,

```
SESI 1 - Mengetik Blok Data SAP90
SYSTEM
L=1
JOINTS
1 X=0 Y=0
2 X=1 Y=0
3 X=2 Y=0
4 X=1 Y=1
RESTRAINTS
1 4 1 R=0,0,1,1,1,0
1      R=1,1,1,1,1,0
3      R=1,1,1,1,1,0
LOADS
4 L=1 F=1
FRAME
NM=1
1 A=1 E=1
1 1 2 M=1
2 1 4
3 2 4
4 3 4
5 2 3
```

- Mencoba menjalankan SAP90
- Mengedit file hasil perhitungan SAP90 ke MS-Word
- Menjalankan program SAPLOT dan Mencetak hasil

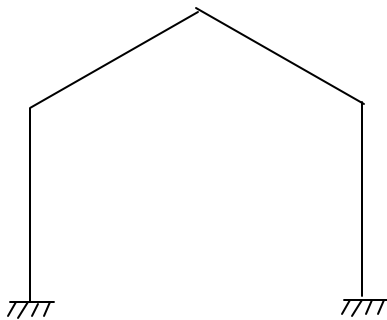
2

Elemen dan Sistem Struktur

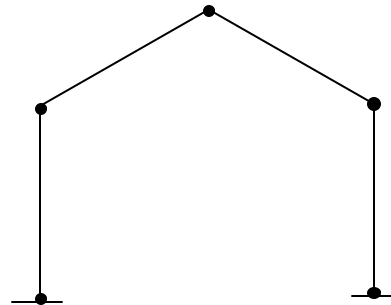
Setelah mengikuti sesion ini peserta memiliki presepsi tentang analisis struktur modern yang mendiskrit struktur menjadi elemen-elemen kecil.

Dibidang analisis struktur khususnya perhitungan mekanika gaya, dua metode yang sering saat ini sering digunakan adalah Metode Matriks dan Metode Elemen Hingga. Kedua metode ini mewakili analisis struktur modern menggantikan metode-metode konvensional seperti Metode Distribusi Momen (Cross), Metode Takabeya, Metode Ritter dan metode lainnya. Analisis struktur modern berkembang seiring dengan kemajuan teknologi komputer.

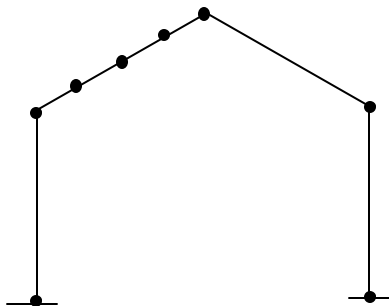
Perbedaan mendasar antara analisis struktur modern dan konvensional adalah pada analisis struktur konvensional struktur dipandang sebagai satu kesatuan yang utuh, sedangkan analisis struktur modern menggunakan model diskrit untuk mempresentasikan sistem struktur yang sebenarnya. Dengan cara ini sistem struktur terbagi menjadi bagian-bagian kecil yang dinamakan elemen yang dibatasi dua joint sebagai ujungnya.



Analisis Struktur Konvensional
Struktur dipandang satu kesatuan utuh



Analisis Struktur Modern
Joint harus cukup menggambarkan geometri struktur



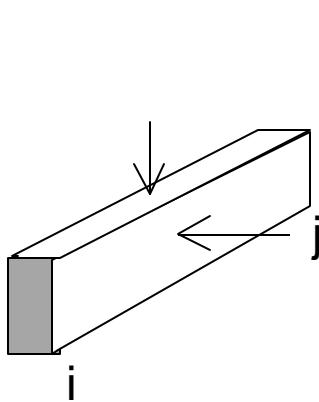
Analisis Struktur Modern
Semakin banyak joint, hasil perhitungan semakin mendekati kebenaran.

Suatu struktur dapat tersusun dari satu atau beberapa elemen dengan sifat karakteristik elemen-elemen yang berlainan. Suatu sistem struktur dapat tersusun dari satu jenis elemen atau kombinasi dari beberapa jenis elemen. Elemen-elemen penyusun struktur dapat berbentuk elemen batang ataupun bidang. Elemen batang merupakan model dari elemen struktur berbentuk garis dengan dua buah joint di kedua ujungnya. Sedangkan elemen bidang merupakan elemen yang dibatasi oleh tiga atau empat buah joint pada ujungnya.

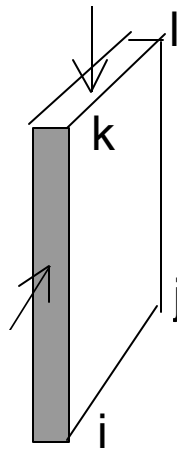
Elemen-elemen garis digunakan untuk membuat model dari elemen-elemen struktur yang berbentuk rangka, seperti balok dan kolom pada struktur rangka kaku (Frame) serta batang tekan dan batang tarik pada struktur rangka batang (Truss).

Elemen-elemen bidang umumnya digunakan sebagai model pada analisis dari struktur yang berbentuk masif seperti plat (Plate), cangkang (Shell) ataupun dinding (Wall).

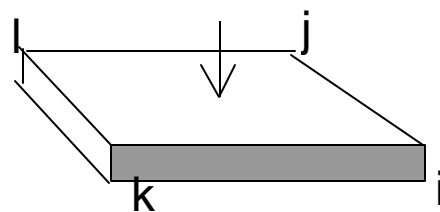
Dalam SAP90, elemen garis atau batang dapat berupa elemen **truss** ataupun **frame** sedangkan elemen bidang dapat berbentuk elemen **shell** tipe membran, plat bending atau kombinasi membran dan plat bending.



Elemen Garis -
Truss/Frame



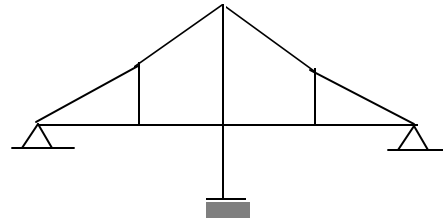
Elemen Bidang (shell membran)



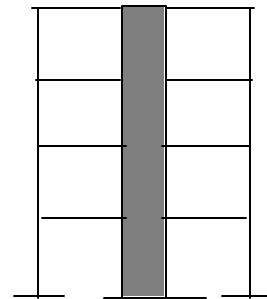
Elemen Bidang (shell plat bending)

Beberapa pengembangan sistem struktur Teknik Sipil dengan elemen-elemen penyusunnya diperlihatkan gambar dibawah,

Struktur Jembatan Gantung
tersusun atas elemen frame dan truss



Struktur frame dengan shear wall
tersusun atas elemen frame dan shell membran



Penjelasan lebih detail tentang gaya-gaya dalam (local element forces) elemen-elemen frame, truss dan shell akan dibahas pada sesion berikutnya.

Materi Praktikum SAP90

- Membaca hasil output perhitungan SAP90 elemen frame dan truss.

3

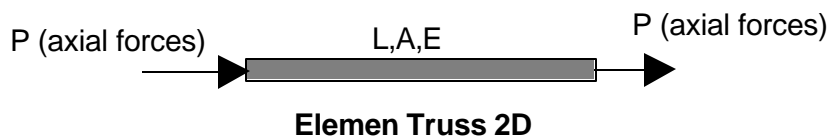
Analisis Struktur Truss 2D

Setelah mengikuti session ini peserta memiliki kemampuan untuk membuat blok data SAP90 untuk aplikasi struktur Truss 2D.

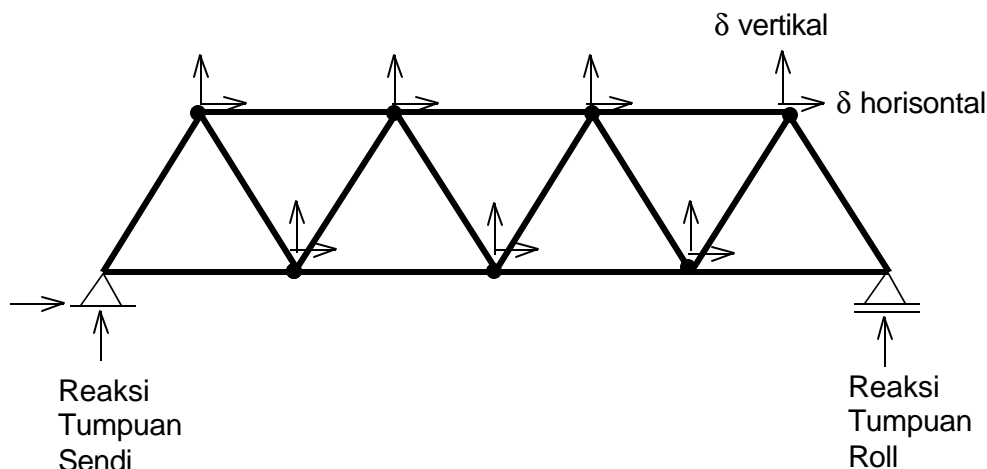
Model struktur truss sering dijumpai pada struktur kuda-kuda kayu maupun baja, dan jembatan rangka batang baja. Keistimewaan dari struktur truss adalah **pola segitiganya** dan elemennya hanya akan **menahan tarik/tekan** karena **joint-joint struktur truss diasumsikan sebagai sendi** dengan **tumpuan berupa rol atau sendi**. Perlu diingat beban yang dapat bekerja pada model truss 2D hanya **beban joint** (beban terpusat).

Cara perhitungan analisis struktur konvensional yang sering digunakan adalah metode tukar batang, metode ritter, metode titik buhul, metode cremona. Metode ini akan terasa sulit jika sebuah titik buhul terdiri dari beberapa batang/elemen sekaligus sehingga diperlukan metode tukar batang.

Gaya dalam (local element forces) yang bekerja pada model diskrit dari elemen truss pada struktur-struktur berbentuk rangka dua dimensi dipresentasikan berikut ,



Model Struktur Truss



Karakteristik penampang elemen truss adalah panjang elemen (L), luas penampang (A) . Sedangkan karakteristik bahan berupa modulus elastisitas bahan (E).

$$E_{\text{baja}} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 2,1 \times 10^5 \text{ MPa}$$

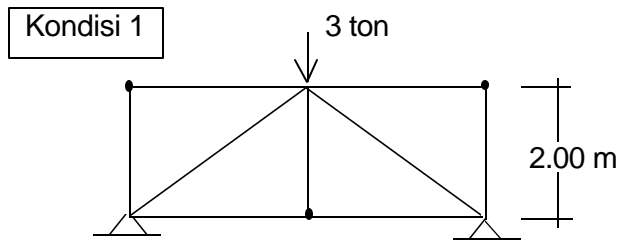
Secara praktis, luas penampang (A) biasanya dapat dicari dengan tabel profil baja maupun tabel kayu yang ada dipasaran.

Blok Data SAP90

Blok data SAP90 yang diperlukan dalam analisis struktur truss 2D adalah

BLOK DATA	STATUS
TITLE LINE	WAJIB
SYSTEM	WAJIB
JOINTS	WAJIB
RESTRAINTS	WAJIB
FRAME	WAJIB
LOADS	WAJIB
COMBO	KONDISONAL

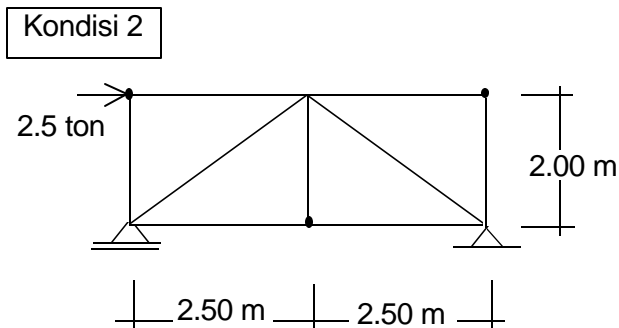
Contoh Aplikasi Truss 2D



Jika diketahui :

Struktur Baja dengan
Luas penampang (A) elemen
120 cm² dengan berat sendiri
profil W = 0.5 kg/cm.

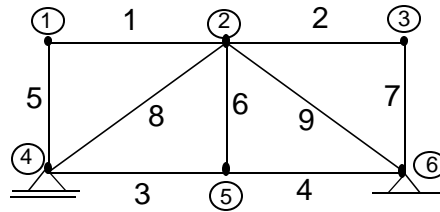
Tentukan lendutan vertikal dan
horisontal maksimum dari
kombinasi :



- Kondisi 1
- Kondisi 2
- Kondisi 1+2

Langkah 1

Definisikan penomoran joint dan elemen.



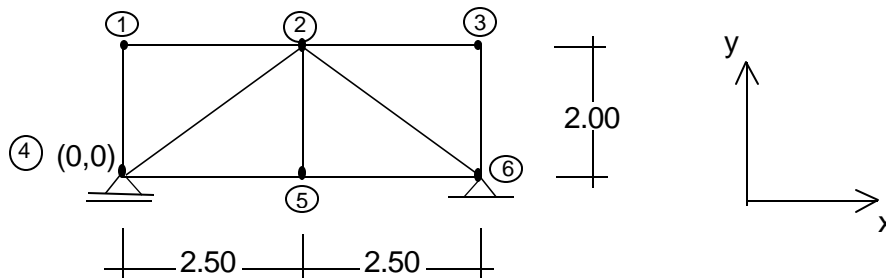
Langkah 2

Definisikan sumbu global, satuan/units, koordinat (0,0) dan koordinat joints

Sumbu global : x-y plane

Satuan / units : kg,cm

Koordinat (0,0) : Nomor 4



1	x=0	y=200
2	x=250	y=200
3	x=500	y=200
4	x=0	y=0
5	x=250	y=0
6	x=500	y=0

Langkah 3

Definisikan material elemen yaitu luas(A), modulus elastisitas(E) dan berat sendiri penampang (W).

Material baja $E=2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

Luas penampang (A) = 120 cm^2

Berat sendiri profil (W)= 0.5 kg/cm

Langkah 4

Definisikan restraints joints

Joints	Perilaku Translasi	Perilaku Rotasi	Code
1	Terhadap x dan y	-	R=0,0,1,1,1,1
2	Terhadap x dan y	-	R=0,0,1,1,1,1
3	Terhadap x dan y	-	R=0,0,1,1,1,1
4	Terhadap x	Terhadap z	R=0,1,1,1,1,0
5	Terhadap x dan y	-	R=0,0,1,1,1,1
6	-	Terhadap z	R=1,1,1,1,1,0

Langkah 4

Membuat blok data SAP90

```
ANALISIS STRUKTUR TRUSS 2D - [X,Y] UNITS KG,CM
SYSTEM
L=2
RESTRAINTS
1 6 1 R=0,0,1,1,1,1
4      R=0,1,1,1,1,0 : TUMPUAN ROLL
6      R=1,1,1,1,1,0 : TUMPUAN SENDI
JOINTS
1 X=0   Y=200
2 X=250 Y=200
3 X=500 Y=200
4 X=0   Y=0
5 X=250 Y=0
6 X=500 Y=0
LOADS
2      L=1 F=0,-3000,0
1      L=2 F=2500,0,0
FRAME
NM=1 Y=-1
C KARAKTERISTIK ELEMENT
1 A=120 E=2.1E6 W=0.5
C ELEMENT TRUSS
1 1 2 M=1
2 2 3
3 4 5
4 5 6
5 1 4
6 5 2
7 6 3
8 4 2
9 6 2
```

COMBO
1 C=1,0
2 C=0,1
3 C=1,1

Langkah 5

Menjalankan SAP90 dan validasi model struktur dengan SAPLOT

Langkah 6

Menjalankan perintah go untuk analisis struktur dan validasi hasil data yang dicari.

LOAD COMBINATION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)
1	-.002176	-.000089
2	-.002176	-.008434
3	-.002176	-.000089
4	-.004353	.000000
5	-.002176	-.008573
6	.000000	.000000

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

LOAD COMBINATION 2 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)
1	.006325	.000000
2	.003845	.001550
3	.003845	.000000
4	.002480	.000000
5	.001240	.001550
6	.000000	.000000

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

LOAD COMBINATION 3 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)
1	.004148	-.000089
2	.001668	-.006884
3	.001668	-.000089
4	-.001873	.000000
5	-.000936	-.007023
6	.000000	.000000

Praktikum sesi 3-4

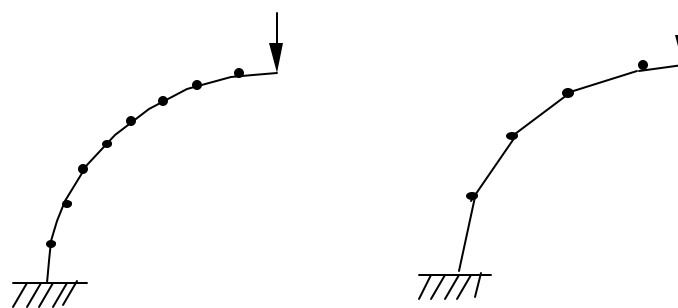
- Buatlah blok data seperti kasus diatas dengan orientasi y-z plane
- Pecahkan kasus beban berjalan yang melalui joints 4-5-6 beban berjalan 1 kg pada struktur kasus diatas.

4

Analisis Struktur Frame 2D

Setelah mengikuti session ini peserta memiliki kemampuan untuk membuat blok data SAP90 untuk aplikasi struktur Frame 2D.

Model struktur frame dapat dijumpai pada struktur bangunan gedung beton bertulang dimana ujung-ujung balok dan kolom dicor sehingga diharapkan menghasilkan joint yang kaku. Model struktur frame ini juga dijumpai pada struktur bangunan baja dengan joint di las atau kombinasi las dan baut. Perlu dipahami bahwa penentuan joints pada struktur minimal haruslah menggambarkan geometri dari struktur tersebut.

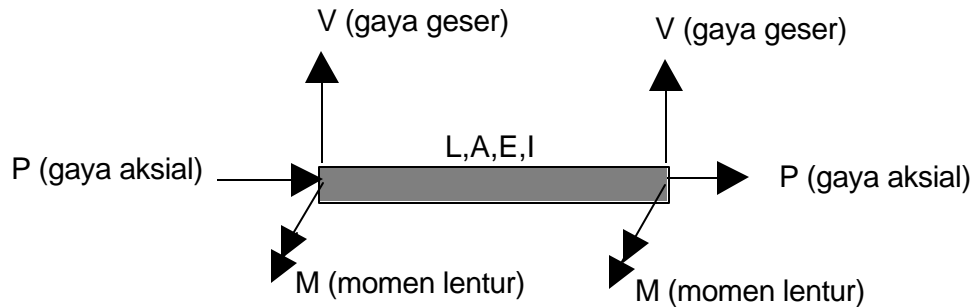


Contoh pendekatan model struktur

Tingkat kebenaran hasil perhitungan analisis struktur sangat tergantung dari pendekatan permodelan struktur dan pembebanan yang mungkin bekerja selama umur bangunan.

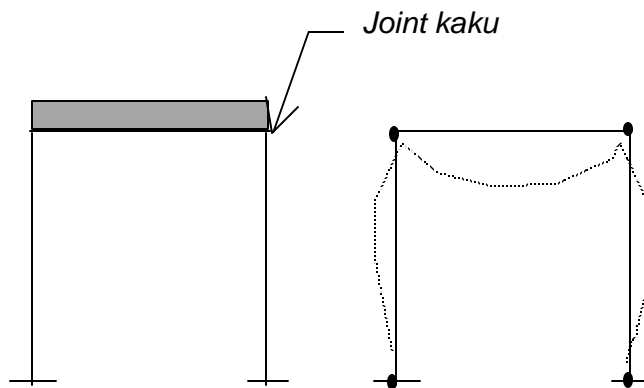
Untuk keperluan analisis struktur yang berbentuk frame, karakteristik dari elemen-elemen penyusun dapat dimodelkan sebagai elemen frame yang saling berhubungan pada joint. Karakteristik dari suatu elemen terdiri dari karakteristik penampang (section properties) dan karakteristik bahan (material properties).

Gaya dalam (local element forces) yang bekerja pada model diskrit dari elemen frame pada struktur-struktur berbentuk rangka dua dimensi dipresentasikan berikut ,



Elemen Frame 2D

Model Struktur Frame



Karakteristik penampang elemen truss adalah panjang elemen (L), luas penampang (A), momen inersia penampang terhadap lentur (I) . Sedangkan karakteristik bahan berupa modulus elastisitas bahan (E).

$$E_{\text{baja}} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 2,1 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{beton}} = 4700 \sqrt{f'c} \text{ dalam MPa}$$

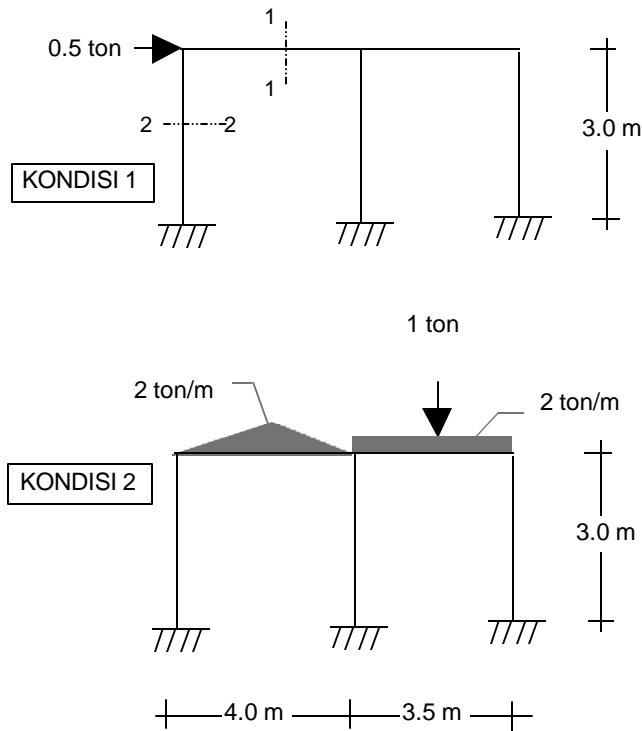
Secara praktis, nilai A dan I biasanya dapat dicari dengan tabel profil baja yang ada dipasaran maupun dimensi penampang yang direkomendasikan dalam peraturan.

Blok Data SAP90

Blok data SAP90 yang diperlukan dalam analisis struktur frame 2D adalah

BLOK DATA	STATUS
TITLE LINE	WAJIB
SYSTEM	WAJIB
JOINTS	WAJIB
RESTRAINTS	WAJIB
FRAME	WAJIB
LOADS	KONDISIONAL
COMBO	KONDISIONAL

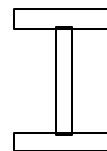
Contoh Aplikasi Frame 2D



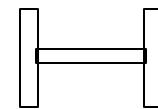
Struktur Baja dengan
Balok - IWF 150x300
Kolom - IWF 250x250

Jika ditentukan berat sendiri struktur masuk dalam kondisi 2, berapa gaya aksial dan momen kolom terbesar,

- Kondisi 1
- Kondisi 1+2



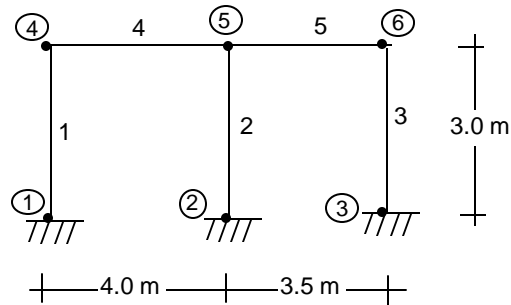
POTONGAN 1-1



POTONGAN 2-2

Langkah 1

Definisikan penomoran joint dan elemen.



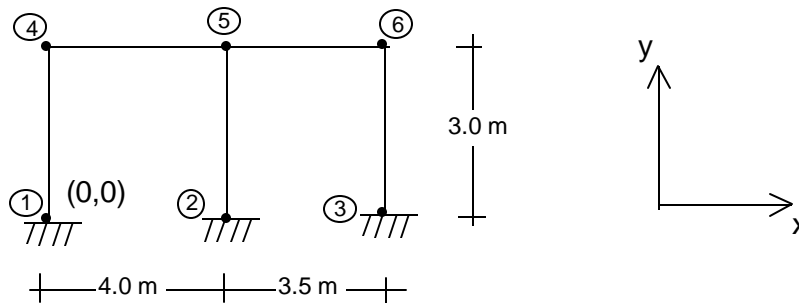
Langkah 2

Definisikan sumbu global, satuan/units, koordinat (0,0) dan koordinat joints

Sumbu global : x-y plane

Satuan / units : kg,cm

Koordinat (0,0) : Nomor 1



Penentuan koordinat joints dalam x-y plane

1	X=0	Y=0
2	X=400	Y=0
3	X=750	Y=0
4	X=0	Y=300
5	X=400	Y=300
6	X=750	Y=300

Langkah 3

Definisikan material elemen yaitu luas(A), momen inersia terhadap 3-3 (I), modulus elastisitas(E) dan berat sendiri penampang (W).

Material baja $E=2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

Material	Profil	A [cm ²]	I ₃₋₃ [cm ⁴]	w [kg/cm]
1	IWF 250x250	92,18	10800	0,724
2	IWF 150x300	46,79	7210	0,367

Dalam tabel profil baja, biasanya I₃₃ adalah I_x

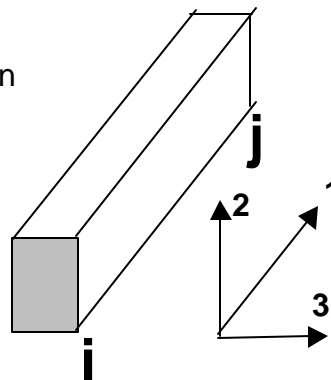
Langkah 4

Definisikan restraints joints

Joints	Perilaku Translasi	Perilaku Rotasi	Code
1	-	-	R=1,1,1,1,1,1
2	-	-	R=1,1,1,1,1,1
3	-	-	R=1,1,1,1,1,1
4	Terhadap x dan y	Terhadap z	R=0,0,1,1,1,0
5	Terhadap x dan y	Terhadap z	R=0,0,1,1,1,0
6	Terhadap x dan y	Terhadap z	R=0,0,1,1,1,0

Langkah 5

Definisikan penyusunan elemen



LP=1,0 jika sumbu 3 sejajar dengan sumbu global z

LP=2,0 jika sumbu 3 sejajar dengan sumbu global y

LP=3,0 jika sumbu 3 sejajar dengan sumbu global x

dalam SAP90 jika LP=1,0 tidak perlu ditulis karena nilai default LP=1,0

Perhatikan ! Penentuan LP ini akan mempengaruhi arah pembebanan elemen dan momen inersia sebuah elemen.

Langkah 6

Membuat blok data SAP90

```
ANALISIS STRUKTUR FRAME 2D - [X,Y] UNITS KG,CM
SYSTEM
L=2
RESTRAINTS
1 6 1 R=0,0,1,1,1,0
1      R=1,1,1,1,1,1 : TUMPUAN JEPIT
2      R=1,1,1,1,1,1 : TUMPUAN JEPIT
3      R=1,1,1,1,1,1 : TUMPUAN JEPIT
JOINTS
1 X=0   Y=0
2 X=400 Y=0
3 X=750 Y=0
4 X=0   Y=300
5 X=400 Y=300
6 X=750 Y=300

C POLA PEMBEBANAN JOINTS
LOADS
4 L=1 F=500,0,0 : KONDISI 1 - BEBAN GEMPA

FRAME
NM=2 NL=2 Y=0,-1 : BERAT SENDIRI MASUK PADA KONDISI 2
C KARAKTERISTIK ELEMEN
1 A=92.18 E=2.1E6 I=10800 W=0.724 : IWF250X250 KOLOM
2 A=46.79 E=2.1E6 I=7210 W=0.367 : IWF150X300 BALOK
C POLA PEMBEBANAN ELEMEN
1 TRAP=0,0,0,200,-20,0,400,0,0
2 WL=0,-20,0 PLD=175,-1000,0
C ELEMENT FRAME
1 1 4 M=1 : ELEMEN KOLOM
2 2 5
3 3 6
4 4 5 M=2 NSL=0,1 : BEBAN PADA KONDISI 2 - BEBAN GRAVITASI
5 5 6 NSL=0,2
COMBO
1 C=1,0
2 C=1,1
```

Langkah 7

Menjalankan SAP90 dan SAPLOT untuk validasi model / pembebanan struktur.

Langkah 8

Menjalankan perintah go untuk analisis struktur dan validasi hasil data yang dicari.

```
FR A M E      E L E M E N T      F O R C E S

ELT LOAD      AXIAL DIST          1-2 PLANE          1-3 PLANE      AXIAL
ID COMB      FORCE ENDI          SHEAR          MOMENT          SHEAR          MOMENT      TORQ
1 -----
      1      72.98
              .0          151.15      -29146.88
              300.0          151.15          16197.10
      2 -1836.98
              .0          -399.27          26353.18
              300.0          -399.27          -93428.56
```

2	-----			
1	13.90			
		.0	200.79	-33395.88
		300.0	200.79	26842.34
2	-6800.67			
		.0	-71.61	-4568.30
		300.0	-71.61	-26050.43
3	-----			
1	-86.88			
		.0	148.06	-27856.60
		300.0	148.06	16561.20
2	-3963.40			
		.0	970.88	-107073.99
		300.0	970.88	184189.88

Praktikum sesi 5

- Bagaimana caranya jika perencana ingin mengetahui nilai lendutan di tengah bentang elemen 5
- Buatlah contoh aplikasi diatas dengan merubah orientasi menjadi y-z plane

Praktikum sesi 6 : Peserta diharapkan membawa alat bantu hitung (kalkulator)

- Buatlah contoh aplikasi diatas dengan merubah material menjadi, Beton bertulang dengan mutu beton $f'c=40$ MPa untuk kolom dan $f'c=35$ MPa untuk balok. Dimensi kolom 25/25 dan balok 20/40. Konversi yang diperlukan $1 \text{ MPa}=10 \text{ kg/cm}^2$.

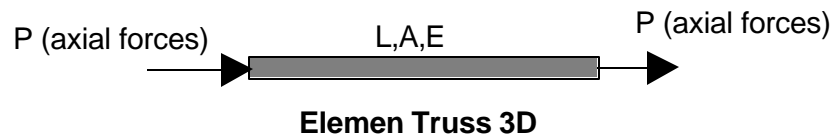
5

Analisis Struktur Truss 3D

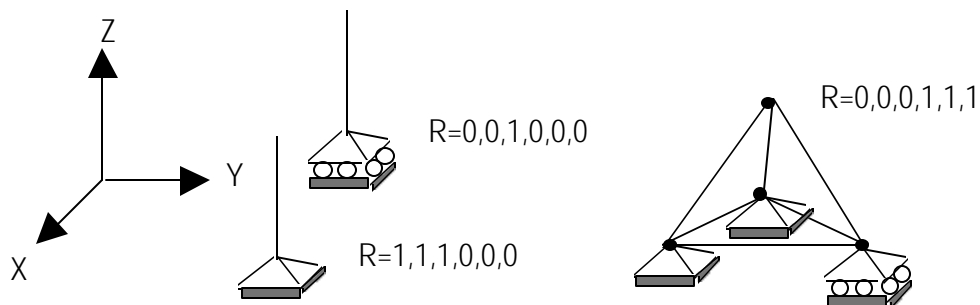
Setelah mengikuti sesion ini peserta memiliki kemampuan untuk membuat blok data SAP90 untuk aplikasi struktur Truss 3D.

Model struktur truss 3D sering dijumpai pada struktur atap baja, tower tegangan tinggi dan tower air. Seperti yang pernah dibahas pada bagian sebelumnya bahwa keistimewaan dari struktur truss adalah **pola segitiganya** dan elemennya hanya akan **menahan tarik/tekan** karena **joint-joint struktur truss diasumsikan sebagai sendi** dengan **tumpuan berupa rol atau sendi**. Beban yang dapat bekerja pada model truss hanya **beban joint** (beban terpusat).

Gaya dalam (local element forces) yang bekerja pada model diskrit dari elemen truss pada struktur-struktur berbentuk rangka tiga dimensi dipresentasikan berikut ,



Restraints Struktur Truss 3D



Karakteristik penampang elemen truss adalah panjang elemen (L), luas penampang (A) . Sedangkan karakteristik bahan berupa modulus elastisitas bahan (E).

$$E_{\text{baja}} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 2,1 \times 10^5 \text{ MPa}$$

Secara praktis, luas penampang (A) biasanya dapat dicari dengan tabel profil baja yang ada dipasaran.

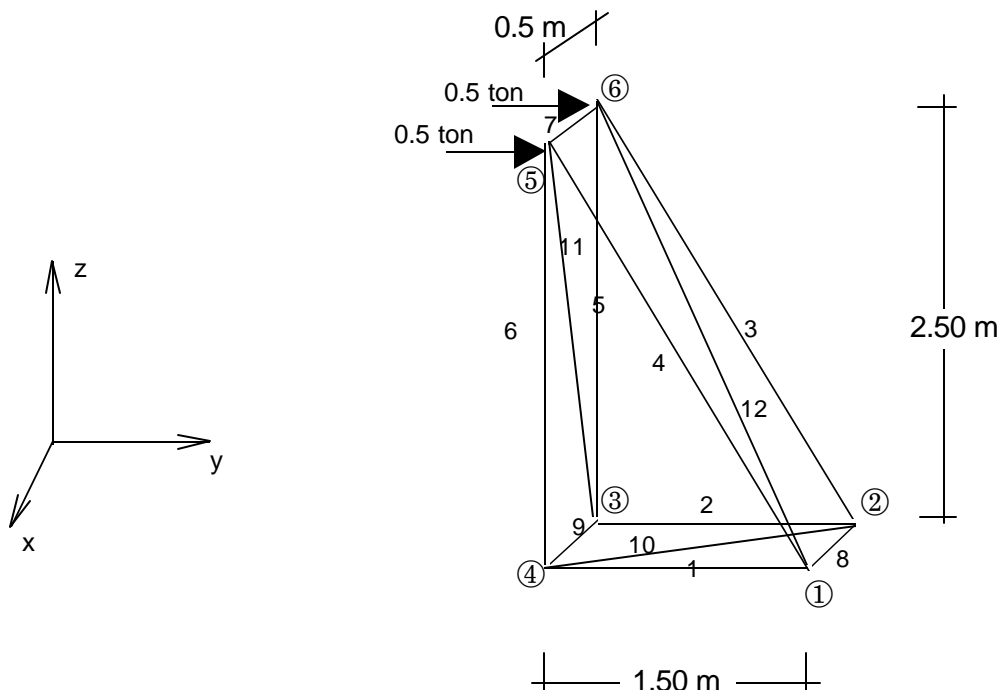
Blok Data SAP90

Blok data SAP90 yang diperlukan dalam analisis struktur truss 3D adalah

BLOK DATA	STATUS
TITLE LINE	WAJIB
SYSTEM	WAJIB
JOINTS	WAJIB
RESTRAINTS	WAJIB
FRAME	WAJIB
LOADS	WAJIB
COMBO	KONDISONAL

Contoh Aplikasi Truss 3D

Sebuah struktur penahan sementara dimodelkan sebagai truss 3D dengan joint 1,2,3,4 berperilaku sebagai sendi seperti gambar di bawah,



Data Struktur

Material Baja
Profil L 100.100.10

Ditanya

Chek lendutan di titik 5 dan 6

Praktikum sesi 7

Buatlah penyelesaian contoh aplikasi struktur truss 3D diatas.

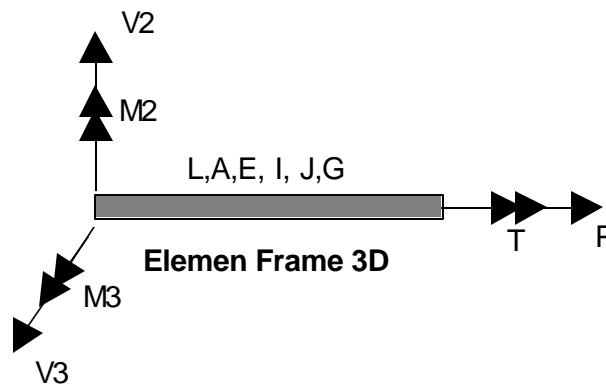
6

Analisis Struktur Frame 3D

Setelah mengikuti session ini peserta memiliki kemampuan untuk membuat blok data SAP90 untuk aplikasi struktur Frame 3D.

Model struktur frame 3D sering dijumpai pada struktur bangunan tinggi, atap baja, struktur tandon air beton bertulang.

Gaya dalam (local element forces) yang bekerja pada model diskrit dari elemen frame pada struktur-struktur berbentuk rangka tiga dimensi dipresentasikan berikut ,



M = Momen lentur

T = Momen torsi/puntir

V = Gaya geser / lintang

P = Gaya aksial / Normal

Karakteristik penampang elemen frame 3D adalah :

Panjang elemen (L)

Luas Penampang (A)

Momen inerti terhadap torsi (J)

Momen inerti terhadap lentur (I)

Sedangkan karakteristik bahan berupa

Modulus elastisitas bahan (E)

Ebaja = $2,1 \times 10^6$ kg/cm²

Ebeton = $4700\sqrt{f'c}$ [dalam MPa]

Modulus geser bahan (G)

$G = E/[2(1+\nu)]$

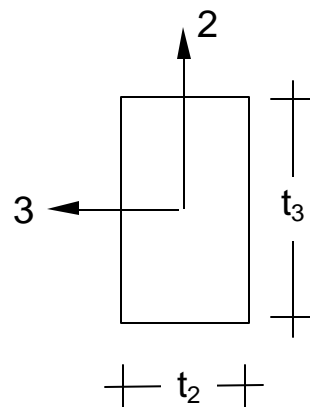
Untuk beton angka poisson (ν) berkisar antara 0,2 - 0,35 sedangkan untuk baja digunakan angka poisson (ν) = 0,3.

Contoh mencari modulus geser bahan

Jika diketahui $f'_c=25$ MPa, maka $E_{beton} = 4700\sqrt{f'_c} = 235 \cdot 10^4 \text{ ton/m}^2$
 sehingga modulus geser bahan (G) = $G = E/[2(1+\nu)] = 94 \cdot 10^4 \text{ ton/m}^2$

Penggunaan shape (SH) pada elemen frame 3D

Untuk mencari nilai karakteristik penampang yakni Luas Penampang (A) Momen inerti terhadap torsi (J), Momen inerti terhadap lentur (I) pada elemen struktur dengan bentuk penampang tertentu disarankan untuk menggunakan Shape (SH) agar tidak menghitung nilai A , J , dan I secara manual.



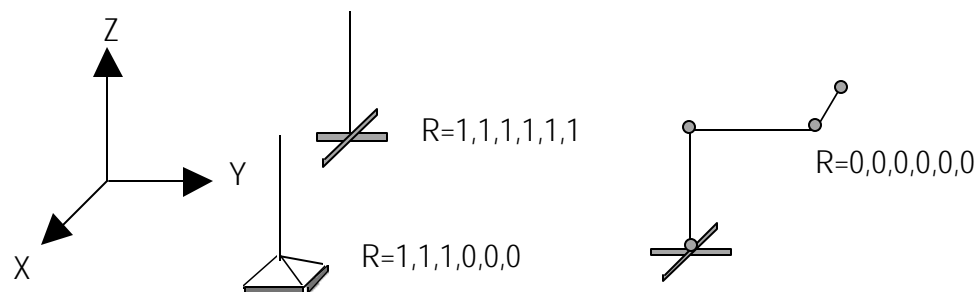
Contoh :

Material nomor 1 penampang balok 20/35 (rectangular=R), $E=235 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$ dan $G=94 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$ maka pada blok data SAP90 (dalam kg,cm) tertulis,

1 SH=R T=35,20 E=235E3 G=94E3 W=35*20*0,0024

Perlu diingat bahwa sumbu lokal dari penggunaan SH=R harus disesuaikan dengan penyusunan posisi elemen (LP).

Restraints Struktur frame 3D



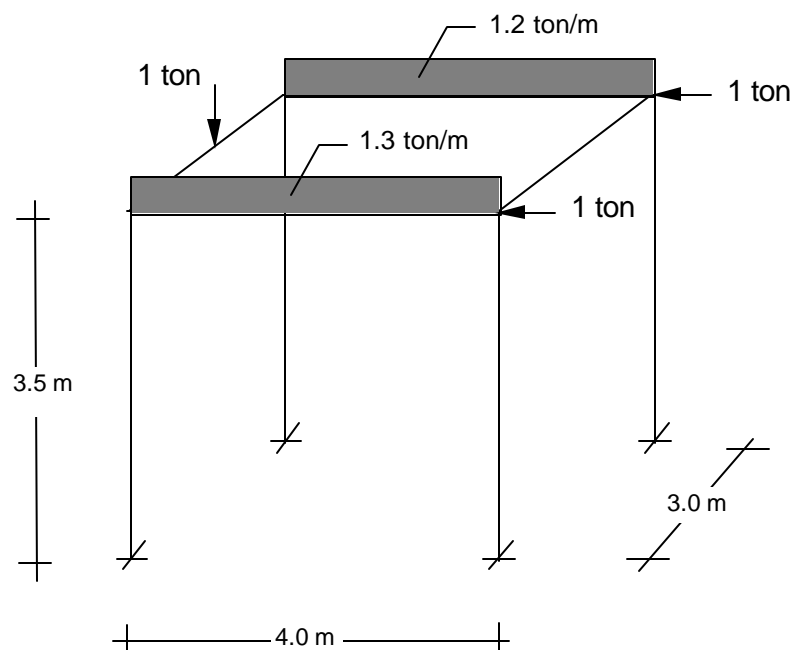
Blok Data SAP90

Blok data SAP90 yang diperlukan dalam analisis struktur truss 3D adalah

BLOK DATA	STATUS
TITLE LINE	WAJIB
SYSTEM	WAJIB
JOINTS	WAJIB
RESTRAINTS	WAJIB
FRAME	WAJIB
LOADS	KONDISIONAL
COMBO	KONDISIONAL

Contoh Aplikasi Truss 3D

Sebuah struktur portal beton bertulang dimodelkan sebagai frame 3D dengan tumpuan berperilaku sebagai jepit seperti gambar dibawah ini,



Data Struktur

Material Beton Bertulang $f'_c=20$ MPa
Balok 20/40, Kolom 25/25, $\gamma_{beton} = 2,4$ ton/m³.

Ditanya

Chek lendutan di tengah bentang balok.

Praktikum sesi 8

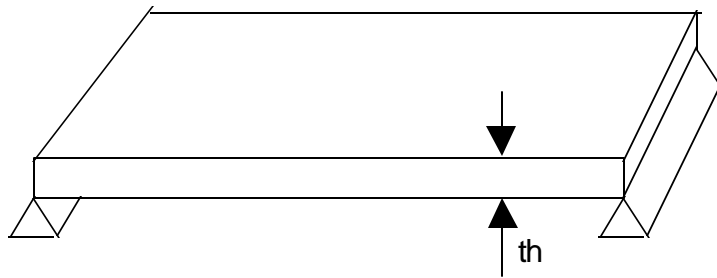
Buatlah penyelesaian contoh aplikasi struktur frame 3D diatas.

7

Analisis Struktur Plat

Setelah mengikuti sesion ini peserta memiliki kemampuan untuk membuat blok data SAP90 untuk aplikasi struktur Plat.

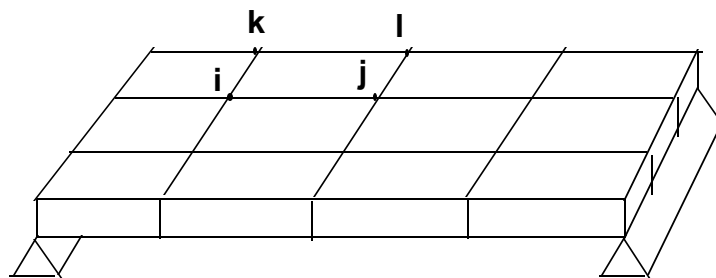
Dalam sesi sebelumnya telah diterangkan secara umum bahwa ciri khas dari struktur plat adalah material penyusun yang monolit dan tingginya lebih kecil dibanding dimensi-dimensi lainnya. Langkah pertama dalam analisis struktur slab adalah proses diskritisasi elemen seperti pada gambar dibawah ini,



Plat ditumpu sederhana pada dua tepi menerus

Data yang dibutuhkan

- Tebal plat lantai (th)
- Modulus elastisitas bahan (E)
- Poison Ratio (ν)
- Berat jenis bahan (γ) dengan satuan berat/volume
- Beban terbagi rata (q) dengan satuan berat/luas.

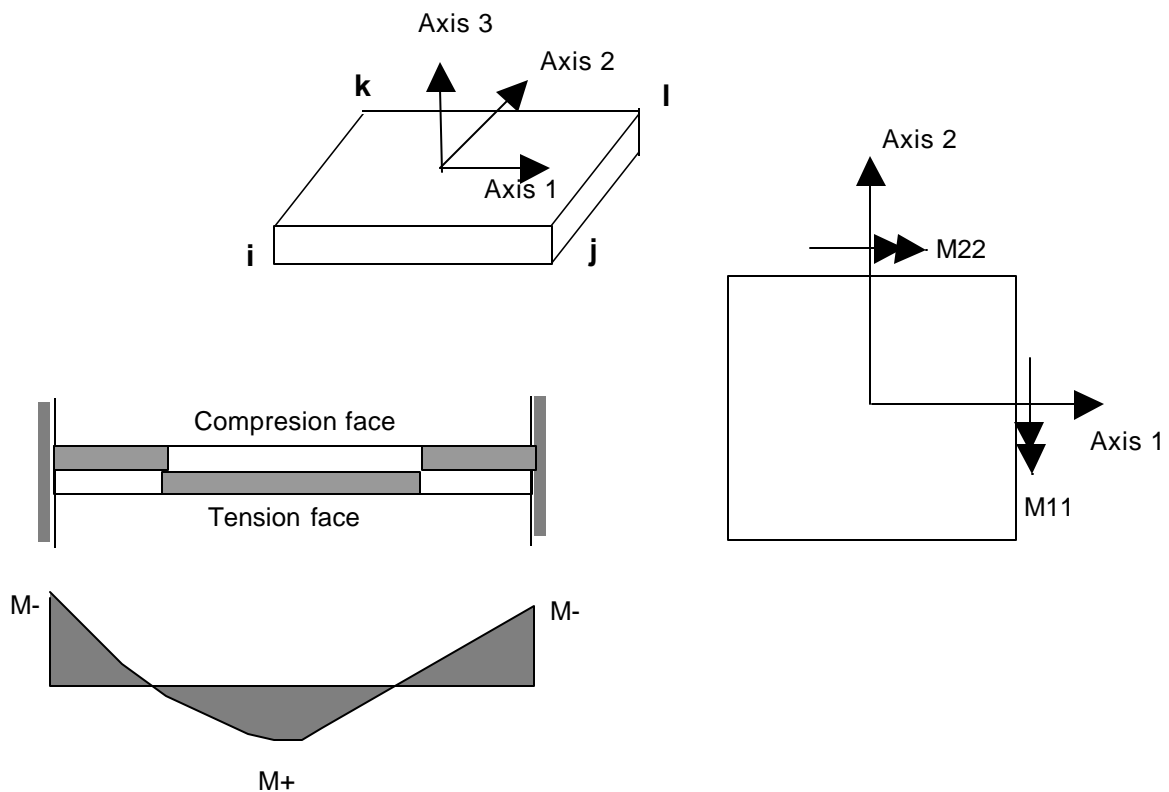


Plat didiskrit menjadi 12 elemen shell plate bending

Pada proses ini, sebuah plat akan menghasilkan elemen-elemen shell plate bending (ETYPE=2). Jumlah elemen shell penyusun akan berpengaruh pada hasil perhitungan analisis struktur.

Perhatian : Jumlah ideal elemen hasil diskritisasi plat adalah jika momen yang bekerja pada joint menghasilkan nilai mendekati sama untuk tiap-tiap elemen yang menggunakannya.

Gaya dalam (local element forces) yang bekerja pada model diskrit dari elemen shell pada struktur-struktur berbentuk plat dipresentasikan berikut ,

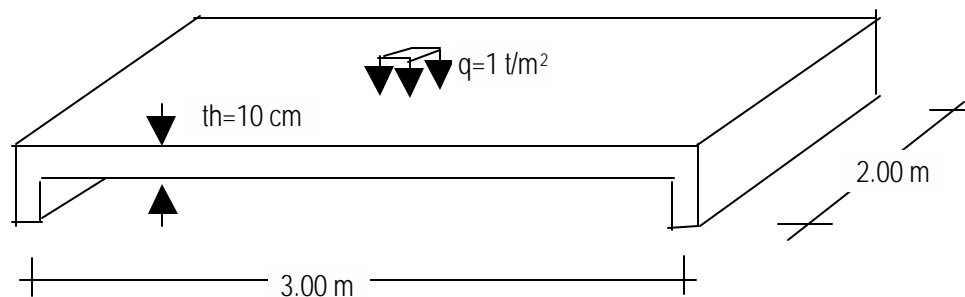


Blok Data SAP90

Blok data SAP90 yang diperlukan dalam analisis struktur slab/plat adalah

BLOK DATA	STATUS
TITLE LINE	WAJIB
SYSTEM	WAJIB
JOINTS	WAJIB
RESTRAINTS	WAJIB
LOADS	KONDISIONAL
POTENTIAL	KONDISIONAL
SHELL	WAJIB
COMBO	KONDISIONAL

Contoh Aplikasi Plat : Plat beton bertulang ditumpu pada dua sisi.



Modulus Elastisitas (E) = 2350000 ton/m²

Beban merata plat (q) = 1 ton/m²

Poison ratio (ν)=0

Berat jenis beton (γ) = 2.5 ton/m³

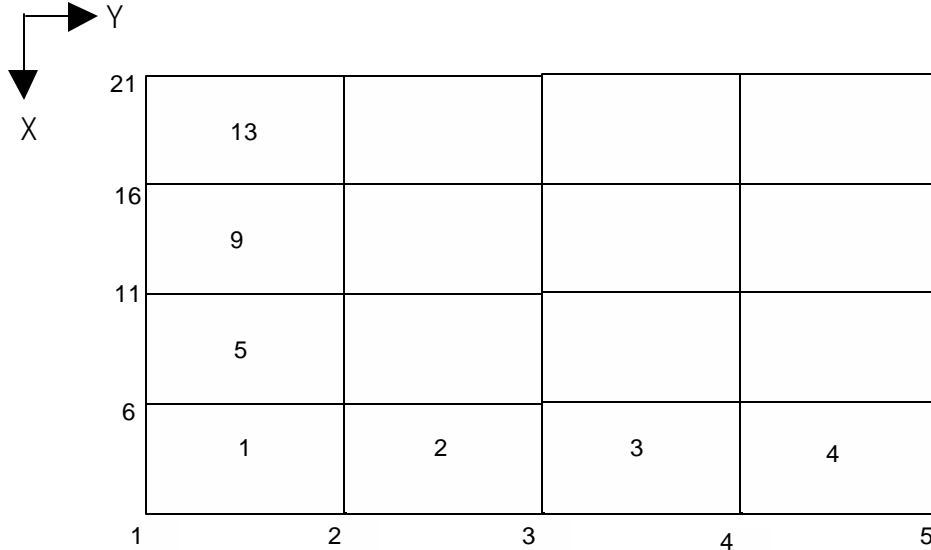
Ditanya : Berapakah momen lapangan dan tumpuan yang terjadi ?

Langkah 1

Tentukan plat hendak didiskrit menjadi berapa elemen.
Plat didiskrit menjadi 16 element shell plate bending (Etype=2)

Langkah 2

Penomoran joint dan elemen, koordinat joint serta tentukan juga restraintsnya.



Langkah 4

Pembuatan blok data SAP90

PLAT TERJEPIT PADA DUA SISI [DISKRIT 16 ELEMEN]

SYSTEM

L=1

RESTRAINTS

1 25 1 R=1,1,0,0,0,1

1 21 5 R=1,1,1,1,1,1 : JEPIT PADA TUMPUAN

5 25 5 R=1,1,1,1,1,1 : JEPIT PADA TUMPUAN

JOINTS

1 X=2 Y=0 Z=0

5 X=2 Y=3 Z=0

21 X=0 Y=0 Z=0

25 X=0 Y=3 Z=0 Q=1,5,21,25,1,5

POTENTIAL

1 25 1 P=1,1 : BEBAN MERATA PADA PLAT

SHELL

NM=1 Z=-1 P=-1

C KARAKTERISTIK ELEMEN SHELL

1 E=2350000 U=0.0 W=2.5

C ELEMEN SHELL PADA PLAT

1 JQ=1,2,6,7 M=1 ETYPE=2 TH=0.1 G=4,4

Langkah 5

Chek hasil analisis struktur pada file *.sol dan *.f4f

PLAT TERJEPIT PADA DUA SISI [DISKRIT 16 ELEMEN]

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(Z)	R(X)	R(Y)
1	.000000	.000000	.000000
2	-.000757	-.001346	.000000
3	-.001346	.000000	.000000
4	-.000757	.001346	.000000
5	.000000	.000000	.000000
6	.000000	.000000	.000000
7	-.000757	-.001346	.000000
8	-.001346	.000000	.000000
9	-.000757	.001346	.000000
10	.000000	.000000	.000000
11	.000000	.000000	.000000
12	-.000757	-.001346	.000000
13	-.001346	.000000	.000000
14	-.000757	.001346	.000000
15	.000000	.000000	.000000
16	.000000	.000000	.000000
17	-.000757	-.001346	.000000
18	-.001346	.000000	.000000
19	-.000757	.001346	.000000
20	.000000	.000000	.000000
21	.000000	.000000	.000000
22	-.000757	-.001346	.000000
23	-.001346	.000000	.000000
24	-.000757	.001346	.000000
25	.000000	.000000	.000000

R E A C T I O N S A N D A P P L I E D F O R C E S

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(Z)	M(X)	M(Y)
1	.4688	.2197	.0000
2	.0000	.0000	.0000
3	.0000	.0000	.0000
4	.0000	.0000	.0000
5	.4688	-.2197	.0000
6	.9375	.4395	.0000
7	.0000	.0000	.0000
8	.0000	.0000	.0000
9	.0000	.0000	.0000
10	.9375	-.4395	.0000
11	.9375	.4395	.0000
12	.0000	.0000	.0000
13	.0000	.0000	.0000
14	.0000	.0000	.0000
15	.9375	-.4395	.0000
16	.9375	.4395	.0000
17	.0000	.0000	.0000
18	.0000	.0000	.0000
19	.0000	.0000	.0000
20	.9375	-.4395	.0000
21	.4687	.2197	.0000
22	.0000	.0000	.0000
23	.0000	.0000	.0000
24	.0000	.0000	.0000
25	.4687	-.2197	.0000
TOTAL	.7500E+01	-.2026E-14	-.7469E-15

PLAT TERJEPIT PADA DUA SISI [DISKRIT 16 ELEMEN]

S H E L L E L E M E N T F O R C E S

```
ELEMENT ID      5 -----
LOAD COND       1 -----
JOINT           M11      M22      M12      MMAX      MMIN      ANGLE
6 -8.7891E-01   0.0000E+00  9.5483E-17  0.0000E+00 -8.7891E-01  90.00
7  1.7578E-01  -5.7484E-16  2.8368E-16  1.7578E-01 -5.8287E-16  .00
11 -8.7890E-01   3.2028E-21  3.6366E-17  0.0000E+00 -8.7890E-01  90.00
12  1.7578E-01   5.2844E-16  2.2682E-16  1.7578E-01  5.2736E-16  .00
```

```
ELEMENT ID      6 -----
LOAD COND       1 -----
JOINT           M11      M22      M12      MMAX      MMIN      ANGLE
7  1.7578E-01  -5.7484E-16  1.7266E-16  1.7578E-01 -5.8287E-16  .00
8  5.2734E-01   1.0460E-15  5.7458E-17  5.2734E-01  9.9920E-16  .00
12  1.7578E-01   5.2844E-16  2.8504E-16  1.7578E-01  5.2736E-16  .00
13  5.2734E-01  -6.9553E-16  1.4382E-16  5.2734E-01 -6.6613E-16  .00
```

```
ELEMENT ID      7 -----
LOAD COND       1 -----
JOINT           M11      M22      M12      MMAX      MMIN      ANGLE
8  5.2734E-01   1.0460E-15 -6.5405E-17  5.2734E-01  9.9920E-16  .00
9  1.7578E-01   5.6097E-16 -1.0078E-16  1.7578E-01  5.5511E-16  .00
13  5.2734E-01  -2.2465E-16  3.9822E-17  5.2734E-01 -2.2204E-16  .00
14  1.7578E-01   3.9313E-16  1.3638E-17  1.7578E-01  3.8858E-16  .00
```

```
ELEMENT ID      8 -----
LOAD COND       1 -----
JOINT           M11      M22      M12      MMAX      MMIN      ANGLE
9  1.7578E-01   5.6097E-16  1.0246E-17  1.7578E-01  5.5511E-16  .00
10 -8.7891E-01   0.0000E+00 -1.7352E-17  0.0000E+00 -8.7891E-01 -90.00
14  1.7578E-01   2.8081E-16 -1.5493E-16  1.7578E-01  2.7756E-16  .00
15 -8.7890E-01   4.0813E-21 -1.4983E-16  0.0000E+00 -8.7890E-01 -90.00
```

Praktikum

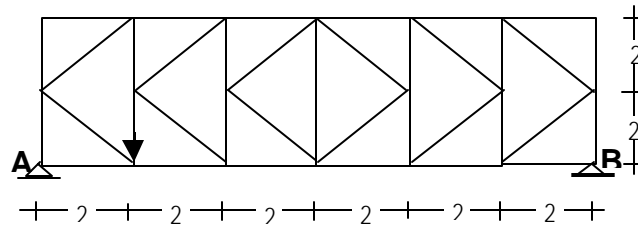
Buatlah blok data SAP90 seperti contoh diatas dengan jumlah diskrit 32 element shell.

8

Aplikasi SAP90 untuk Perhitungan Garis Pengaruh Truss 2D

Setelah mengikuti sesion ini peserta memiliki kemampuan untuk membuat blok data SAP90 untuk aplikasi struktur Garis Pengaruh Truss 2D.

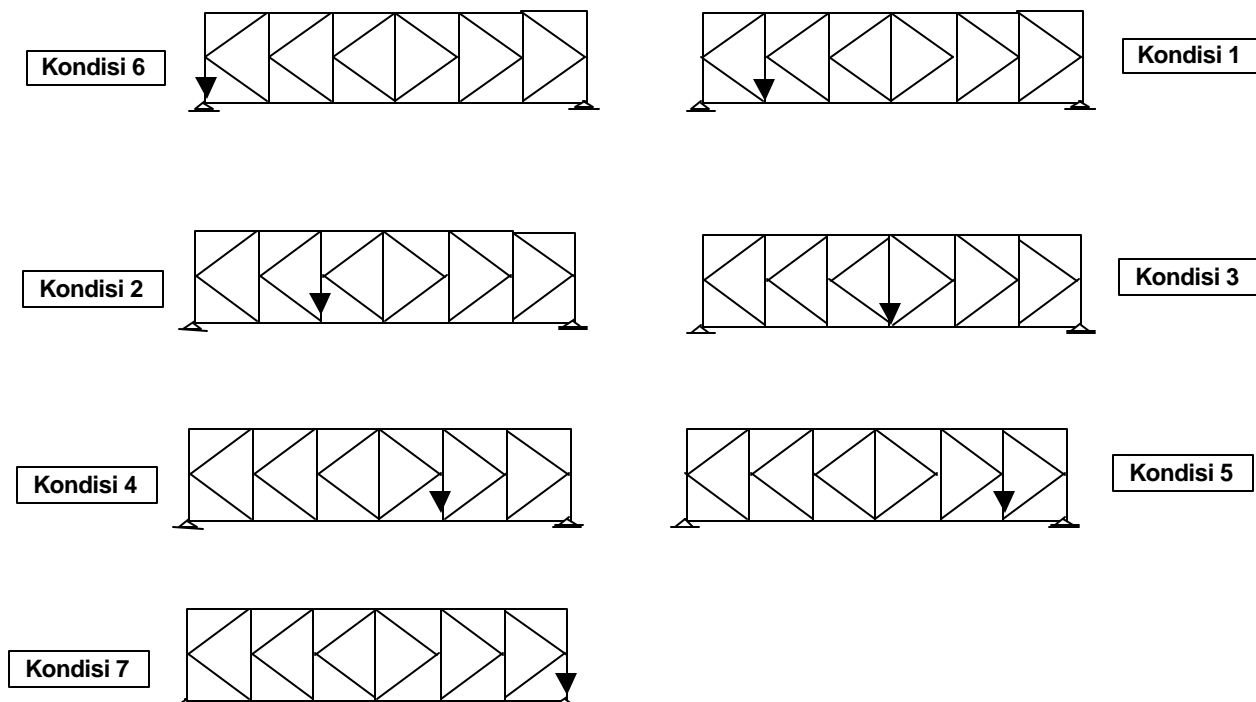
Sebuah struktur jembatan dimodelkan seperti gambar di bawah, jika beban terpusat sebesar 1 ton bergerak dari A ke B maka gambarlah bidang garis pengaruh yang terjadi pada seluruh batang ?



Jika data propertis/material elemen tidak diketahui maka nilai modulus elastisitas (E) dan luas penampang (A) dapat diasumsikan sendiri. Langkah-langkah penyelesaian untuk perhitungan garis pengaruh dengan menggunakan SAP90 adalah,

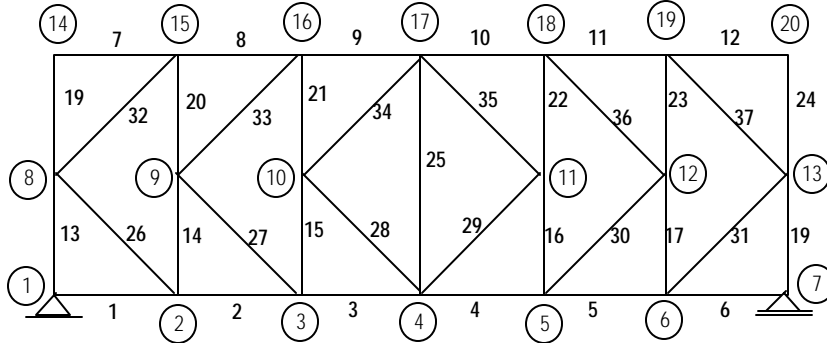
Langkah 1

Definisikan kondisi pembebanan yang ada akibat beban bergerak dari A ke B pada rangka batang diatas.



Langkah 2

Definisikan nomor joint, nomor element, sumbu global, dan koordinat untuk (0,0).



Langkah 3

Pembuatan blok data SAP90

```
SAMPLE GARIS PENGARUH TANPA DIMENSI [t,m]
SYSTEM
L=5
RESTRAINTS
1 20 1 R=0,0,1,1,1,1
1      R=1,1,1,1,1,0 : TUMPUAN SENDI
7      R=0,1,1,1,1,0 : TUMPUAN ROLL
JOINTS
1 X=0 Y=0
7 X=12 Y=0 G=1,7,1
8 X=0 Y=2
10 X=4 Y=2 G=8,10,1
11 X=8 Y=2
13 X=12 Y=2 G=11,13,1
14 X=0 Y=4
20 X=12 Y=4 G=14,20,1
LOADS
2 L=1 F=0,-1,0
3 L=2 F=0,-1,0
4 L=3 F=0,-1,0
5 L=4 F=0,-1,0
6 L=5 F=0,-1,0
FRAME
NM=1
C ASUMSI BAHAN DAN DIMENSI ELEMENT
1 A=1 E=1
C ELEMENT TRUSS 2D
1 1 2 G=5,1,1,1 M=1
7 14 15 G=5,1,1,1
13 1 8 G=2,1,1,1
16 5 11 G=2,1,1,1
19 8 14 G=2,1,1,1
22 11 18 G=2,1,1,1
25 4 17
26 2 8 G=2,1,1,1
29 4 11 G=2,1,1,1
32 8 15 G=2,1,1,1
```

```

35 11 17 G=2,1,1,1
COMBO
1 C=1,0,0,0,0
2 C=0,1,0,0,0
3 C=0,0,1,0,0
4 C=0,0,0,1,0
5 C=0,0,0,0,1

```

Langkah 4

Setelah disimpan jalankan program SAP90 kemudian cek pembebanan (loading) dengan SAPLOT. Jika setelah dicek tidak ada kekeliruan pemasukan data maka jalankan perintah GO.

Langkah 5

Buka file *.F3F untuk melihat gaya aksial yang bekerja pada elemen jembatan, kemudian gambarkan dalam sebuah bidang untuk tiap-tiap elemennya.

```

PROGRAM:SAP90/FILE:MYGP.F3F
SAMPLE GARIS PENGARUH TANPA DIMENSI [t,m]

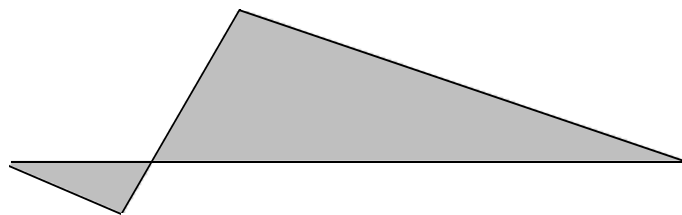
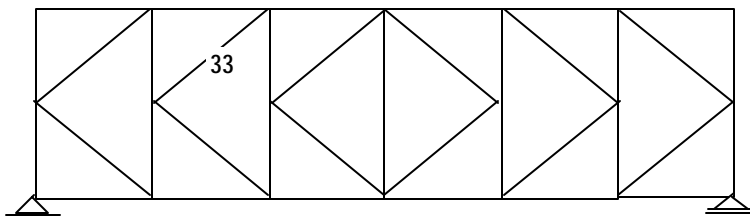
```

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
				SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
1 -----								
1		.00						
			.0	.00	.00			
			2.0	.00	.00			
2		.00						
			.0	.00	.00			
			2.0	.00	.00			
3		.00						
			.0	.00	.00			
			2.0	.00	.00			
4		.00						
			.0	.00	.00			
			2.0	.00	.00			
5		.00						
			.0	.00	.00			
			2.0	.00	.00			
2 -----								
1		.42						
			.0	.00	.00			
			2.0	.00	.00			
2		.33						
			.0	.00	.00			
			2.0	.00	.00			
3		.25						
			.0	.00	.00			
			2.0	.00	.00			
4		.17						
			.0	.00	.00			
			2.0	.00	.00			
5		.08						
			.0	.00	.00			
			2.0	.00	.00			
8 -----								
1		-.42						
			.0	.00	.00			
			2.0	.00	.00			
2		-.33						
			.0	.00	.00			

		2.0	.00	.00
3	-.25	.0	.00	.00
		2.0	.00	.00
4	-.17	.0	.00	.00
		2.0	.00	.00
5	-.08	.0	.00	.00
		2.0	.00	.00
27	-----			
1	-.12	.0	.00	.00
		2.8	.00	.00
2	.47	.0	.00	.00
		2.8	.00	.00
3	.35	.0	.00	.00
		2.8	.00	.00
4	.24	.0	.00	.00
		2.8	.00	.00
5	.12	.0	.00	.00
		2.8	.00	.00
33	-----			
1	.12	.0	.00	.00
		2.8	.00	.00
2	-.47	.0	.00	.00
		2.8	.00	.00
3	-.35	.0	.00	.00
		2.8	.00	.00
4	-.24	.0	.00	.00
		2.8	.00	.00
5	-.12	.0	.00	.00
		2.8	.00	.00

contoh penggambaran bidang garis pengaruh untuk S33 :



GP S33

PERHATIKAN

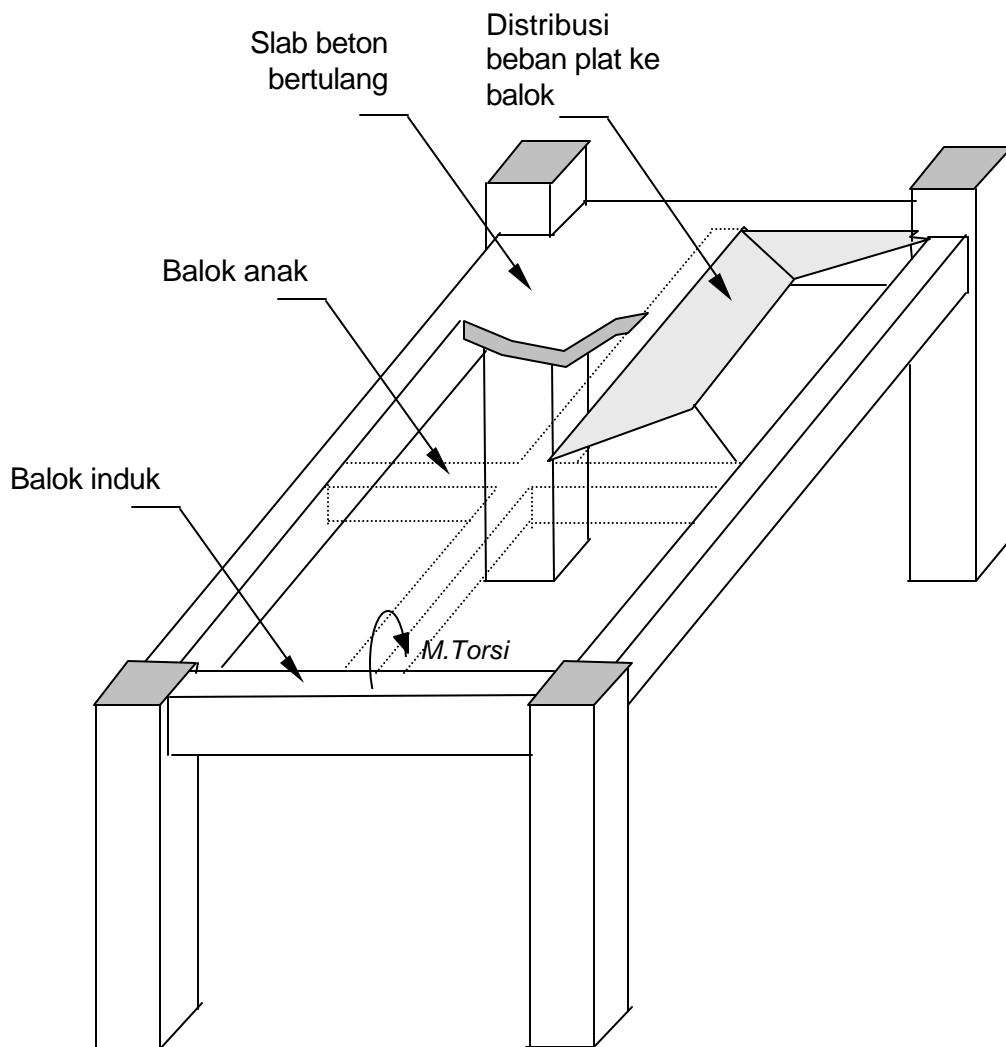
Kondisi pembebanan untuk 6 dan 7 tidak dimasukkan kedalam block data SAP90.

9

Aplikasi SAP90 untuk Perhitungan Struktur Grid

Setelah mengikuti sesion ini peserta memiliki kemampuan untuk membuat blok data SAP90 untuk aplikasi struktur Grid.

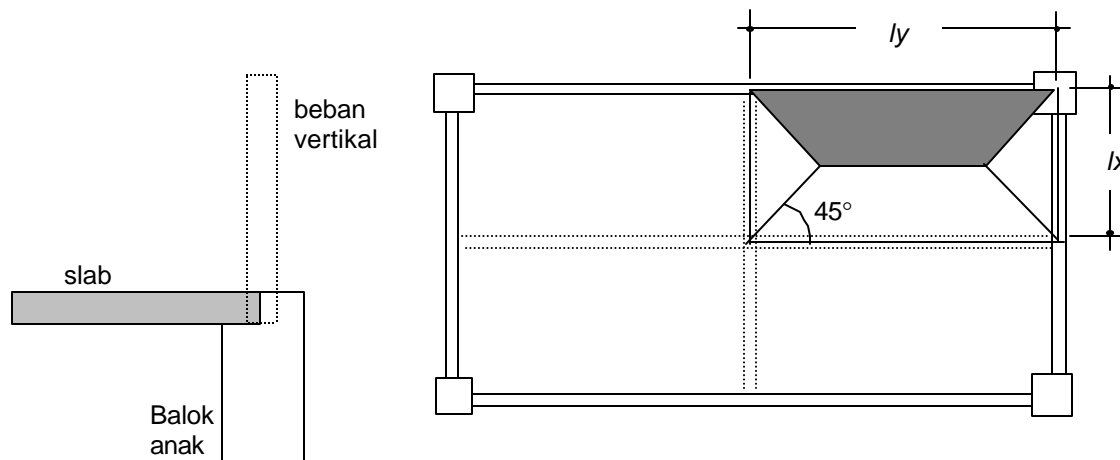
Contoh dari Struktur grid adalah struktur balok anak pada sebuah gedung. Untuk lebih jelasnya dapat digambarkan sebagai berikut,



Gambar 9.1 Balok anak pada sebuah struktur gedung

Beban yang bekerja pada balok anak

Beban yang bekerja merupakan kombinasi antara beban mati (DL) dan beban hidup (LL) yang terdistribusi dari pelimpahan beban dari slab beton bertulang ke balok pemikul. Beban yang terdistribusi berbentuk beban segitiga dan beban trapesium dengan mengasumsikan garis leleh yang terjadi membentuk sudut 45° dan merubah beban slab menjadi beban vertikal.



Gambar 9.2 Beban yang bekerja pada balok anak.

Beban trapesium dan beban segitiga yang bekerja pada balok anak dapat diubah menjadi **beban merata ekuivalen** q_{ek} .

Untuk beban trapesium, $q_{ek} = 0,5 \cdot q \cdot l_x [l_y^2 - 4/3 \cdot (l_x / 2)^2] / l_y^2$

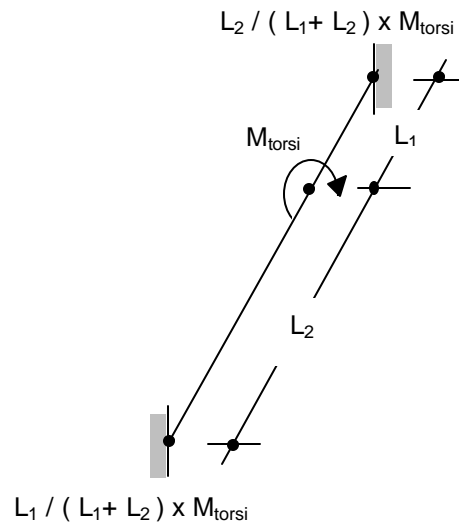
Untuk beban segitiga, $q_{ek} = q \cdot l_x / 3$

dengan q adalah beban yang bekerja pada plat yakni beban hidup (LL) dan beban mati (DL) dalam beban per satuan luas.

Permodelan balok anak

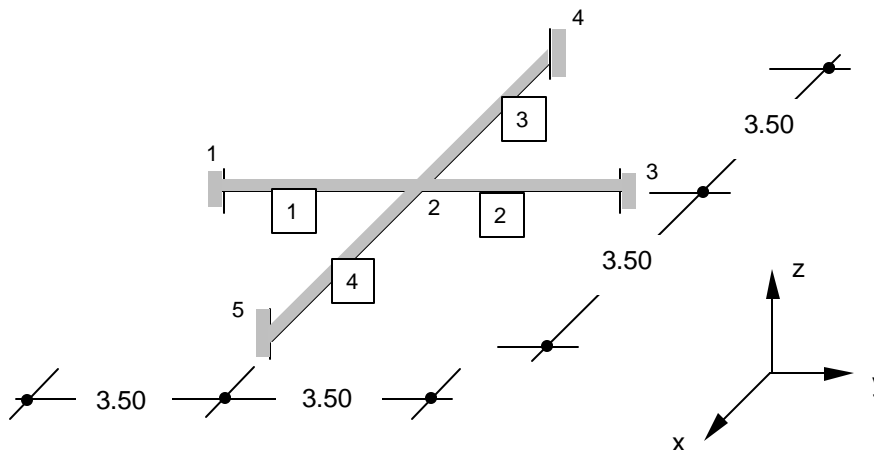
Balok anak dimodelkan sebagai frame 3D seperti pada *tutorial 6 Analisis Struktur Frame 3D*. Perlu diingat bahwa hasil output SAP90 yang digunakan untuk mendesain struktur grid adalah reaksi tumpuan (*.SOL), gaya-gaya yang bekerja pada elemen (*.F3F), dan lendutan yang terjadi (*.SOL).

Khusus untuk reaksi tumpuan dicatat juga momen yang bekerja pada tumpuan balok anak akan menjadi momen torsi yang bekerja pada balok induk. Besarnya momen torsi yang diterima oleh tumpuan jepit balok induk adalah,



Contoh Aplikasi Struktur Grid,

Struktur balok anak dimodelkan sebagai grid seperti dibawah ini,



Beban mati (DL) = 1 ton / m

Beban hidup (LL) = 0.8 ton / m

Dimesi balok anak 20 / 35 dengan berat sendiri sudah termasuk dalam beban mati (DL). Mutu beton $f'c = 25 \text{ MPa}$ ($E_c = 235 \cdot 10^4 \text{ ton/m}^2$, $G = 94 \cdot 10^4 \text{ ton/m}^2$). $\gamma_{\text{beton}} = 2,4 \text{ ton/m}^3$.

Hitunglah gaya-gaya yang bekerja pada element, reaksi tumpuan dan cek apakah balok anak memenuhi persyaratan lendutan $1/500 L$.

Blok Data SAP90

```
ANALISIS STRUKTUR BALOK ANAK [TON,M]
SYSTEM
L=2
JOINTS
1 X=3.5 Y=0.0 Z=0.0
2 X=3.5 Y=3.5
3 X=3.5 Y=7.0
4 X=0.0 Y=3.5
5 X=7.0 Y=3.5
RESTRAINTS
1 R=1,1,1,1,1,1
3 5 1 R=1,1,1,1,1,1
FRAME
NM=1 NL=2
C KARAKTERISTIK ELEMEN
1 SH=R T=0.35,0.20 E=235E4 G=94E4
C POLA PEMBEBANAN ELEMEN
1 WG=0,0,-1 : DEAD LOAD
2 WG=0,0,-0.8 : LIVE LOAD
C ELEMEN BALOK ANAK
1 1 2 NSL=1,2 LP=3,0
2 2 3 NSL=1,2
3 2 4 NSL=1,2 LP=2,0
4 5 2 NSL=1,2
C KOMBINASI BEBAN
COMBO
1 C=0,1 : KOMBINASI UNTUK CARI REAKSI TUMPUAN
2 C=1,0 : KOMBINASI UNTUK CARI REAKSI TUMPUAN
3 C=1.2,1.6 : U = 1.2DL + 1.6LL, UNTUK LENDUTAN
: DESAIN TULANGAN BALOK ANAK
```

Hasil Analisis

Hasil lendutan yang terjadi adalah $0.0095 \text{ meter} < 1/500 L$ ($= 7/500 = 0.014 \text{ meter}$).

Hasil reaksi tumpuan.

ANALISIS STRUKTUR BALOK ANAK [TON,M]

R E A C T I O N S A N D A P P L I E D F O R C E S

LOAD COMBINATION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(Z)	M(X)	M(Y)
1	2.8000	3.2667	.0000
2	.0000	.0000	.0000
3	2.8000	-3.2667	.0000
4	2.8000	.0000	-3.2667
5	2.8000	.0000	3.2667

LOAD COMBINATION 2 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(Z)	M(X)	M(Y)
1	3.5000	4.0833	.0000
2	.0000	.0000	.0000
3	3.5000	-4.0833	.0000
4	3.5000	.0000	-4.0833
5	3.5000	.0000	4.0833

Gaya-gaya yang bekerja pada elemen

ANALISIS STRUKTUR BALOK ANAK [TON,M]

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT ID	LOAD COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
				SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
1 -----								
	1	.00						.00
			.0	2.80	-3.27			
			3.5	.00	1.63			
	2	.00						.00
			.0	3.50	-4.08			
			3.5	.00	2.04			
	3	.00						.00
			.0	8.68	-10.13			
			3.5	.00	5.06			
2 -----								
	1	.00						.00
			.0	.00	1.63			
			3.5	-2.80	-3.27			
	2	.00						.00
			.0	.00	2.04			
			3.5	-3.50	-4.08			
	3	.00						.00
			.0	.00	5.06			
			3.5	-8.68	-10.13			
3 -----								
	1	.00						.00
			.0	.00	1.63			
			3.5	-2.80	-3.27			
	2	.00						.00
			.0	.00	2.04			
			3.5	-3.50	-4.08			
	3	.00						.00
			.0	.00	5.06			
			3.5	-8.68	-10.13			

4	-----				
1	.00				.00
		.0	2.80	-3.27	
		3.5	.00	1.63	
2	.00				.00
		.0	3.50	-4.08	
		3.5	.00	2.04	
3	.00				.00
		.0	8.68	-10.13	
		3.5	.00	5.06	