

## ANALISIS STRUKTUR RANGKA BATANG 2D DENGAN METODE MATRIKS KEKAKUAN MENGGUNAKAN APLIKASI PTC MATHCAD DAN ANALISIS SAP2000

Muhammad Yazid<sup>1\*</sup>, Rizki Ramadhan Husaini<sup>2</sup>, Sukri<sup>3</sup>, Apt. Deri Islami<sup>4</sup>,  
Tedy Julio Gunawan<sup>5</sup>, Muhammad Defri Wahyudi<sup>6</sup>

<sup>1\*,2,5,6</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Abdurrahman

<sup>3</sup>Program Studi Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Abdurrahman

<sup>4</sup>Program Studi Farmasi, Fakultas Farmasi dan Ilmu Kesehatan Universitas Abdurrahman  
Jl. Riau Ujung No. 73 Pekanbaru 28292 Riau-Indonesia  
(0761) 38762

Alamat E-mail: [muhammad.yazid@univrab.ac.id](mailto:muhammad.yazid@univrab.ac.id)

### Info Artikel

#### Sejarah Artikel:

Diterima: Agt 2023  
Disetujui: Nov 2023  
Dipublikasikan: Des 2023

#### Keywords:

2-dimensional truss structure, plane truss, simple programming, stiffness matrix method, PTC Mathcad, SAP2000

### Abstrak

Analisis struktur rangka batang 2 dimensi (*plane truss*) dapat dilakukan dengan dengan metode matriks dengan rumus matriks kekakuan untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang terjadi. Metode matriks kekakuan dapat dengan mudah diuraikan dengan aplikasi PTC Mathcad. Dengan aplikasi PTC Mathcad ini tahapan-tahapan dalam analisis metode matriks dapat dengan jelas terlihat tahapan-tahapan metode matriks mulai yaitu membuat model rangka batang, membuat matriks kekakuan lokal, membuat matriks transformasi, membuat matriks kekakuan global, menyusun matriks kekakuan struktur, susun partisi dan *re-arrangement* matriks kekakuan struktur, menghitung displacement dalam koordinat lokal dan global, menghitung gaya dalam masing-masing batang dan menghitung gaya reaksi perletakan. Tujuan penelitian ini adalah yaitu untuk membuat program sederhana menggunakan Bahasa pemrograman PTC Mathcad untuk menganalisis rangka batang 2 dimensi dan membandingkan hasil pemrograman sederhana tersebut dengan hasil analisis SAP2000. Hasil perbandingan yang didapat pada nilai *joint displacement*/perpindahan dan nilai gaya batang antara aplikasi PTC Mathcad dan SAP2000 didapat hasil rata-rata dibawah 2%. Untuk analisis reaksi terhadap tumpuan analisis menggunakan PTC Mathcad sama dengan analisis SAP2000 untuk reaksi vertikal dan untuk arah horizontal aplikasi SAP2000 mendapatkan hasil  $1.25 \times 10^{-13}$  adapun pada PTC Mathcad tidak ada.

**Kata kunci** : struktur rangka batang 2 dimensi, *plane truss*, pemrograman sederhana, metode matriks kekakuan, PTC Mathcad, SAP2000.

### Abstract

The analysis of a 2-dimensional truss structure (*plane truss*) can be done using the matrix method with the stiffness matrix formula to obtain the internal forces that occur. The stiffness matrix method can be easily described with the PTC Mathcad application. With this PTC Mathcad application, the stages in the matrix method analysis can be clearly seen, starting from the stages of the matrix method, namely creating a truss model, creating a local stiffness matrix, creating a transformation matrix, creating a global stiffness matrix, compiling a structural stiffness matrix, stacking partitions and *re-arrangement* of structural stiffness matrices, calculating

*displacement in local and global coordinates, calculating the forces in each rod and calculating the reaction force of the platform. The purpose of this research is to create a simple program using the PTC Mathcad programming language to analyze the 2-dimensional truss and compare the results of the simple programming with the results of the SAP2000 analysis. The comparison results obtained on the joint displacement / displacement value and the bar force value between the PTC Mathcad application and SAP2000 obtained an average result below 2%. For the analysis of the reaction to the pedestal, the analysis using PTC Mathcad is the same as the SAP2000 analysis for the vertical reaction and for the horizontal direction, the SAP2000 application gets the result of  $1.25 \times 10^{-13}$  while in PTC Mathcad there is none.*

©2023

Universitas Abdurrah

---

✉ Alamat korespondensi:

Jl. Riau Ujung No. 73 Pekanbaru

E-mail: muhammad.yazid@univrab.ac.id

ISSN 2527-7073

---

## PENDAHULUAN

Dalam menganalisis struktur rangka batang terdapat berbagai macam metode yang digunakan seperti metode keseimbangan titik, metode ritter dan metode cremona. Dari metode tersebut analisis perhitungan reaksi gaya-gaya struktur akibat gaya luar dilakukan secara statika dan gaya reaksi batang serta gaya perletakan masih dilakukan dengan tangan (secara manual) yang mana cara analisis tersebut masih bisa digunakan pada struktur kecil yang terdiri dari beberapa batang saja. Dengan adanya kemudahan program komputer maka analisis statika dapat dipermudah dengan memasukkan kedalam algoritma suatu program analisis. Formulasi dari program analisis tersebut dibuat dalam bentuk formula matriks.

Metode yang digunakan adapun metode kekakuan yang memiliki akurasi tingkat tinggi dengan bantuan program komputer. Analisa struktur menggunakan metode kekakuan, analisis matriks dikembangkan untuk struktur yang kompleks tetapi dapat diselesaikan dengan cepat dan tepat. Kelebihan penggunaan metode matriks kekakuan struktur adalah dapat menghitung kondisi struktur jenis statis tertentu dan statis tak tentu.

Pada pelaksanaan menganalisis perhitungan struktur antara metode manual ataupun program komputer dengan *software* aplikasi yang berbeda maka akan memiliki alur yang berbeda pula. Dengan menggunakan metode manual dipastikan akan banyak memakan waktu serta masih dilakukan secara *paper-based* dan banyak hal yang akhirnya menjadi sia-sia karena pada saat proses perhitungan *human error* pasti akan terjadi serta apabila ada perubahan dalam perencanaan juga akan berdampak kepada perhitungan. Pada hasil yang didapat antara aplikasi tersebut juga mempunyai nilai selisih yang beragam dan juga dalam hal penggunaan waktu bisa menjadi efisien dengan menggunakan program komputer.

Aplikasi PTC Mathcad sebuah software aplikasi perhitungan yang memiliki metode matriks bawaan yang dapat dijadikan rumus sehingga tidak terlalu menggunakan banyak *script* dan dapat di

tampilkan pada *grafik user interface* pada *software* aplikasi tersebut. PTC Mathcad merupakan aplikasi yang dibuat khusus dalam memecahkan persoalan matematika yang mana hal ini dapat dilakukan dalam menganalisis struktur rangka batang dengan metode matriks.

Selain itu juga digunakan aplikasi SAP2000 untuk membantu perbandingan analisis. Dalam menghitung analisis struktur menggunakan Aplikasi PTC Mathcad dan SAP2000 tentu memiliki hasilnya masing-masing, karena masing – masing mempunyai alur yang berbeda, nilai selisih yang beragam. Dengan adanya perbandingan analisa ini pengguna dapat melakukan pemeriksaan sehingga desain struktur yang dihasil lebih meyakinkan kebenarannya.

Sehingga dengan adanya kemudahan yang diberikan oleh aplikasi PTC Mathcad dalam pemrograman perhitungan matematika, dengan itu dapat mengetahui lebih rinci alur dalam tahapan analisis struktur rangka batang menggunakan metode matriks kekakuan. Maka penulis tertarik dalam melakukan penelitian berjudul “Analisis Struktur Rangka Batang 2D Dengan Metode Matriks Kekakuan Menggunakan Aplikasi PTC Mathcad dan Membandingkan Dengan Analisis SAP2000”

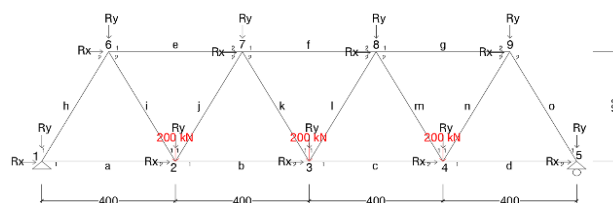
## METODE

### Jenis Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode penelitian *Research and Development* yakni metode Penelitian dan Pengembangan. Metode ini meneliti dan mengembangkan penelitian untuk penggunaan yang lebih mudah dan cepat.

### Data Penelitian

Data penelitian kuantitatif yang digunakan adalah data dari struktur rangka batang yang sering dijumpai dalam perencanaan suatu pekerjaan konstruksi yang dipilih sendiri oleh penulis yang akan dibuatkan kedalam program simple di aplikasi PTC Mathcad. Modul untuk rangka batang yang digunakan yaitu:



Gambar 1. Modul Rangka Batang

### Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Penentuan model struktur rangka batang.
2. Analisa terhadap struktur rangka batang yang dimodelkan.
3. Membuat program sederhana untuk tipikal struktur rangka batang dengan aplikasi PTC Mathcad,
4. Menganalisa dan membandingkan dengan Aplikasi SAP2000

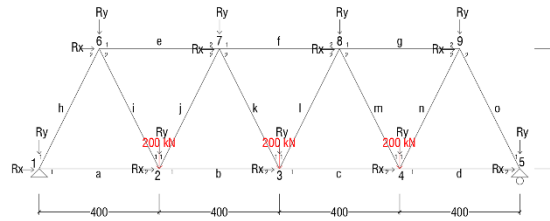
Prosedur analisa matriks kekakuan untuk rangka batang 2D dapat dirumuskan dalam langkah-langkah sebagai berikut:

1. Persiapkan model analisa rangka batang, dengan langkah
  - a. Gambarkan diagram garis struktur di mana setiap joint dan elemen diidentifikasi dengan sebuah nomor
  - b. Tetapkan koordinat global XY
  - c. Tentukan koordinat lokal xy dari tiap elemen rangka
  - d. Identifikasikan dof dan *restrained coordinates*
2. Bentuk vektor beban luar struktur  $\{P\}$  dan beban-beban titik kumpul struktur.
3. Bentuk matriks kekakuan elemen batang dalam koordinat lokal, sehingga perlu diketahui besaran sudut transformasi dari sumbu global ke sumbu lokal masing-masing elemen batang.
  - a. Hitung panjang dan arah cosinus tiap elemen ( $\sin \theta$  dan  $\cos \theta$ )
  - b. Hitung matriks kekakuan elemen dalam sistem koordinat lokal
  - c. Identifikasi nomor kode, dan letakan tiap elemen dalam posisinya yang tepat pada matriks kekakuan lokal  $[k_i]$ .
4. Bentuk matriks transformasi masing-masing elemen batang  $[T_i]$
5. Tentukan matriks kekakuan pada koordinat global  $[K_i] = [T_i]^T [k_i] [T_i]$
6. Himpun matriks kekakuan struktur  $[K_s]$ , susun partisi dan *re-arrangement* persamaan dari matriks tersebut.
7. Hitung *displacement* pada sumbu lokal  $[d_i]$  dan pada sumbu global  $[D_i]$ . Didapat hasil:  
 $u_i$  : *displacement* aksial pada titik nodal  $i$   
 $v_i$  : *displacement* arah tegak lurus sumbu batang pada nodal  $i$
8. Hitung gaya dalam masing-masing batang.
9. Hitung gaya ujung elemen masing-masing batang  $[f_i] = [k_i][D_i]$ .
10. Check kembali perhitungan gaya ujung batang dan reaksi perletakan dengan mengaplikasikan persamaan kesetimbangan pada tiap free body dari seluruh struktur.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Struktur Rangka Batang

Penelitian yang digunakan yaitu rangka batang 2 dimensi dengan diameter rangka batang 5cm dan nilai modulus elastisitas sebesar 20000 kN/cm<sup>2</sup> untuk semua rangka batang. Modul untuk rangka batang yang digunakan yaitu:



Gambar 3. Modul Rangka Batang

Desain tipikal yang dibuat memiliki 2 tumpuan yaitu tumpuan sendi dan tumpuan rol yang mana pembebanan dilakukan secara horizontal (Rx) dan vertikal (Ry), apabila terdapat beban diagonal maka dikonversikan terlebih dahulu ke arah sumbu x dan y.

### Tahapan Membuat Program Sederhana Analisis Menggunakan Aplikasi PTC Mathcad

Tahapan dalam proses analisis menggunakan aplikasi PTC Mathcad adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan permodelan rangka batang, memasukkan nilai elastisitas (E) rangka batang, luas penampang (A) rangka dan nilai koordinat X Y pada masing-masing nodal rangka batang.

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

$$\cos \alpha := \frac{(x_j - x_i)}{L}$$

$$\sin \alpha := \frac{(y_j - y_i)}{L}$$

2. Perhitungan matriks kekakuan lokal masing-masing batang:

$$kl := \begin{bmatrix} \frac{(A \cdot E)}{L} & 0 & -\frac{(A \cdot E)}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{(A \cdot E)}{L} & 0 & \frac{(A \cdot E)}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3. Membuat matriks transformasi masing-masing batang:

$$T := \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

4. Menghitung matriks kekakuan global masing-masing batang:

$$KG := T^T \cdot kl \cdot T$$

5. Menyusun matriks kekakuan global

	u1	v1	u2	v2	u3	v3	u4	v4	u5	v5	u6	v6	u7	v7	u8	v8	u9	v9
K	11.574	3.512	-9.817	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.756	-3.512	0	0	0	0	0
	3.512	7.025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3.512	-7.025	0	0	0	0	0
	-9.817	0	23.147	0	-9.817	0	0	0	0	0	0	-1.756	3.512	-1.756	-3.512	0	0	0
	0	0	14.005	0	0	0	0	0	0	0	0	3.512	-7.025	-3.512	-7.025	0	0	0
	0	-9.817	0	23.147	0	-9.817	0	0	0	0	0	-1.756	3.512	-1.756	-3.512	0	0	0
	0	0	0	14.005	0	0	0	0	0	0	0	3.512	-7.025	-3.512	-7.025	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	14.005	0	0	0	0	0	0	0	0	3.512	-7.025	-3.512
	0	0	0	0	0	0	-9.817	0	11.574	-3.512	0	0	0	0	0	-1.756	3.512	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	-3.512	7.025	0	0	0	0	0	3.512	7.025	0
	-1.756	-3.512	-1.756	3.512	0	0	0	0	0	0	13.33	0	-9.817	0	0	0	0	0
	-3.512	-7.025	3.512	7.025	0	0	0	0	0	0	0	14.005	0	0	0	0	0	0
	0	0	1.756	3.512	1.756	3.512	0	0	0	0	0	-9.817	0	23.147	0	-9.817	0	0
	0	0	-3.512	-7.025	-3.512	-7.025	0	0	0	0	0	0	0	14.005	0	0	0	0
	0	0	0	0	-1.756	-3.512	-1.756	3.512	0	0	0	0	-9.817	0	23.147	0	-9.817	0
	0	0	0	0	-3.512	-7.025	-3.512	-7.025	0	0	0	0	0	0	14.005	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	-1.756	-3.512	-1.756	3.512	0	0	0	0	-9.817	0	13.33	0
	0	0	0	0	0	0	-3.512	-7.025	-3.512	-7.025	0	0	0	0	0	0	14.005	0

6. Memasukkan gaya yang bekerja

$$R_{x1} := 0 = 0$$

$$R_{y1} := 0 = 0$$

$$R_{x2} := 0 = 0$$

$$R_{y2} := -200 = -200$$

$$R_{x3} := 0 = 0$$

$$R_{y3} := -200 = -200$$

$$R_{x4} := 0 = 0$$

$$R_{y4} := -200 = -200$$

$$R_{x5} := 0 = 0$$

$$R_{y5} := 0 = 0$$

$$R_{x6} := 0 = 0$$

$$R_{y6} := 0 = 0$$

$$R_{x7} := 0 = 0$$

$$R_{y7} := 0 = 0$$

$$R_{x8} := 0 = 0$$

$$R_{y8} := 0 = 0$$

$$R_{x9} := 0 = 0$$

$$R_{y9} := 0 = 0$$

7. Matriks kekakuan struktur terdiri dari matriks gaya, matriks kekakuan global dan matriks perpindahan.
8. Menyusun matriks kekakuan global yang telah di *re-arrangement*.

$$\begin{matrix}
 \begin{matrix}
 \boxed{R_{x2}} \\
 \boxed{R_{y2}} \\
 \boxed{R_{x3}} \\
 \boxed{R_{y3}} \\
 \boxed{R_{x4}} \\
 \boxed{R_{y4}} \\
 \boxed{R_{x5}} \\
 \boxed{R_{x6}} \\
 \boxed{R_{y6}} \\
 \boxed{R_{x7}} \\
 \boxed{R_{y7}} \\
 \boxed{R_{x8}} \\
 \boxed{R_{y8}} \\
 \boxed{R_{x9}} \\
 \boxed{R_{y9}}
 \end{matrix}
 &
 \text{FRE} := &
 \begin{matrix}
 \boxed{u2} \\
 \boxed{v2} \\
 \boxed{u3} \\
 \boxed{v3} \\
 \boxed{u4} \\
 \boxed{v4} \\
 \boxed{u5} \\
 \boxed{u6} \\
 \boxed{v6} \\
 \boxed{u7} \\
 \boxed{v7} \\
 \boxed{u8} \\
 \boxed{v8} \\
 \boxed{u9} \\
 \boxed{v9}
 \end{matrix}
 &
 \text{URE} := &
 \begin{matrix}
 \boxed{u2} \\
 \boxed{v2} \\
 \boxed{u3} \\
 \boxed{v3} \\
 \boxed{u4} \\
 \boxed{v4} \\
 \boxed{u5} \\
 \boxed{u6} \\
 \boxed{v6} \\
 \boxed{u7} \\
 \boxed{v7} \\
 \boxed{u8} \\
 \boxed{v8} \\
 \boxed{u9} \\
 \boxed{v9}
 \end{matrix}
 &
 \text{KRE} = &
 \begin{bmatrix}
 2315 & 0 & -982 & 0 & 0 & 0 & 0 & -176 & 351 & -176 & -351 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1405 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 351 & -702 & -351 & -702 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -982 & 0 & 2315 & 0 & -982 & 0 & 0 & 0 & 0 & -176 & 351 & -176 & -351 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1405 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 351 & -702 & -351 & -702 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -982 & 0 & 2315 & 0 & -982 & 0 & 0 & 0 & 0 & -176 & 351 & -176 & -351 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1405 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 351 & -702 & -351 & -702 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -982 & 0 & 1157 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -176 & 351 \\
 -176 & 351 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1333 & 0 & -982 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 351 & -702 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1405 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -176 & -351 & -176 & 351 & 0 & 0 & 0 & -982 & 0 & 2315 & 0 & -982 & 0 & 0 & 0 \\
 -351 & -702 & 351 & -702 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1405 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -176 & -351 & -176 & 351 & 0 & 0 & 0 & -982 & 0 & 2315 & 0 & -982 & 0 \\
 0 & 0 & -351 & -702 & 351 & -702 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1405 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -176 & -351 & -176 & 0 & 0 & 0 & 0 & -982 & 0 & 1333 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -351 & -702 & 351 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1405
 \end{bmatrix}
 \end{matrix}$$

9. Menghitung displacement terhadap sumbu global.

$$URE := KRE^{-1} \cdot FRE = \frac{1}{cm} \begin{bmatrix} 0.152789 \\ -1.796312 \\ 0.509296 \\ -2.462989 \\ 0.865803 \\ -1.796312 \\ 1.018592 \\ 1.018592 \\ -0.936353 \\ 0.713014 \\ -2.218778 \\ 0.305577 \\ -2.218778 \\ 0 \\ -0.936353 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Rx2 \\ Ry2 \\ Rx3 \\ Ry3 \\ Rx4 \\ Ry4 \\ Rx5 \\ Rx6 \\ Ry6 \\ Rx7 \\ Ry7 \\ Rx8 \\ Ry8 \\ Rx9 \\ Ry9 \end{bmatrix}$$

10. Menghitung perpindahan pada sumbu lokal masing-masing batang.

$$\begin{bmatrix} u1 \\ v1 \\ u2 \\ v2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c & s & 0 & 0 \\ -s & c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & s \\ 0 & 0 & -s & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U1 \\ U1 \\ U2 \\ U2 \end{bmatrix}$$

11. Menghitung gaya dalam masing-masing batang:

$$\begin{bmatrix} FX1 \\ FX2 \end{bmatrix} = \frac{E \cdot A}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \end{bmatrix}$$

Batang A

$$fa := \frac{E \cdot A}{La} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} uBatangA_1 \\ uBatangA_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -150 \\ 150 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FX1 \\ FX2 \end{bmatrix}$$

Batang B

$$fb := \frac{E \cdot A}{Lb} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} uBatangB_1 \\ uBatangB_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -350 \\ 350 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FX2 \\ FX3 \end{bmatrix}$$

Batang C

$$fc := \frac{E \cdot A}{Lc} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} uBatangC_1 \\ uBatangC_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -350 \\ 350 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FX3 \\ FX4 \end{bmatrix}$$

Batang D

$$fd := \frac{E \cdot A}{Ld} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} uBatangD_1 \\ uBatangD_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -150 \\ 150 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FX4 \\ FX5 \end{bmatrix}$$

Batang E

$$fe := \frac{E \cdot A}{Le} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} uBatangE_1 \\ uBatangE_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 300 \\ -300 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FX6 \\ FX7 \end{bmatrix}$$

Batang F

$$ff := \frac{E \cdot A}{Lf} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} uBatangF_1 \\ uBatangF_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 400 \\ -400 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FX7 \\ FX8 \end{bmatrix}$$

Batang G

$$fg := \frac{E \cdot A}{Lg} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} uBatangG_1 \\ uBatangG_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 300 \\ -300 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FX8 \\ FX9 \end{bmatrix}$$

Batang H

$$fh := \frac{E \cdot A}{Lh} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} uBatangH_1 \\ uBatangH_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 335.41 \\ -335.41 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FX1 \\ FX6 \end{bmatrix}$$

Batang I

$$f_i := \frac{E \cdot A}{L_i} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{BatangI_1} \\ u_{BatangI_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -335.41 \\ 335.41 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FX2 \\ FX6 \end{bmatrix}$$

Batang J

$$f_j := \frac{E \cdot A}{L_j} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{BatangJ_1} \\ u_{BatangJ_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 111.803 \\ -111.803 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FX2 \\ FX7 \end{bmatrix}$$

Batang K

$$f_k := \frac{E \cdot A}{L_k} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{BatangK_1} \\ u_{BatangK_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -111.803 \\ 111.803 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FX3 \\ FX7 \end{bmatrix}$$

Batang L

$$f_l := \frac{E \cdot A}{L_l} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{BatangL_1} \\ u_{BatangL_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -111.803 \\ 111.803 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FX3 \\ FX8 \end{bmatrix}$$

Batang M

$$f_m := \frac{E \cdot A}{L_m} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{BatangM_1} \\ u_{BatangM_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 111.803 \\ -111.803 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FX4 \\ FX8 \end{bmatrix}$$

Batang N

$$f_n := \frac{E \cdot A}{L_n} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{BatangN_1} \\ u_{BatangN_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -335.41 \\ 335.41 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FX4 \\ FX9 \end{bmatrix}$$

Batang O

$$f_o := \frac{E \cdot A}{L_o} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{BatangO_1} \\ u_{BatangO_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 335.41 \\ -335.41 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FX5 \\ FX9 \end{bmatrix}$$

12. Menghitung gaya ujung atau reaksi pada tumpuan yaitu perkalian matriks kekakuan struktur dengan matriks perpindahan sumbu global.

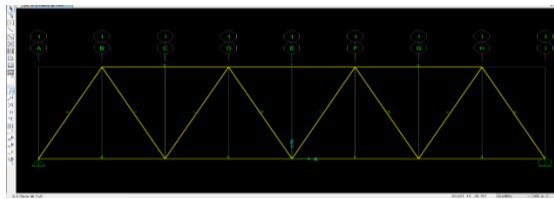
$$R := K \cdot UR = \begin{bmatrix} 0 \\ 300 \\ 0 \\ -200 \\ 0 \\ -200 \\ 0 \\ -200 \\ 0 \\ 300 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x1 \\ y1 \\ x2 \\ y2 \\ x3 \\ y3 \\ x4 \\ y4 \\ x5 \\ y5 \\ x6 \\ y6 \\ x7 \\ y7 \\ x8 \\ y8 \\ x9 \\ y9 \end{bmatrix}$$

### Validasi Analisis Menggunakan Program Aplikasi SAP2000

Tahapan dalam proses analisis menggunakan aplikasi SAP2000 versi 20 adalah sebagai berikut:

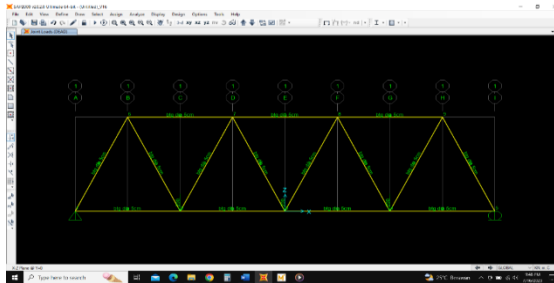
1. Membuat model struktur rangka batang 2 dimensi sesuai dengan data penelitian





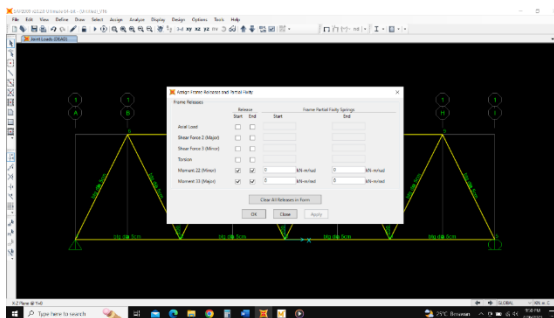
Gambar 4. Rangka batang 2 dimensi

2. Mendefinisikan jenis material, penampang material dan pembebanan pada struktur rangka batang.



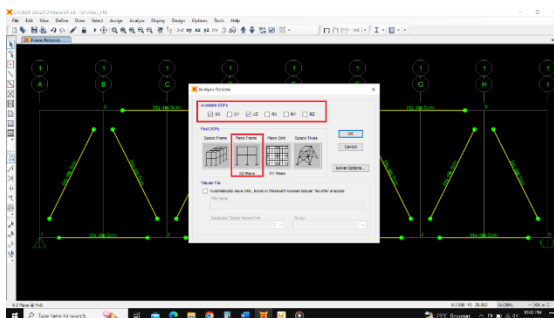
Gambar 5. Rangka batang yang telah diberikan material dan pembebanan

3. Menghilangkan reaksi Momen pada setiap titik joint yang akan dianalisa oleh aplikasi SAP2000, yang mana dianggap pada setiap titik joint tidak terjadi momen. Karena pada rangka batang reaksi yang terjadi hanya gaya-gaya tekan dan tidak terjadi momen dalam menganalisa rangka batang.



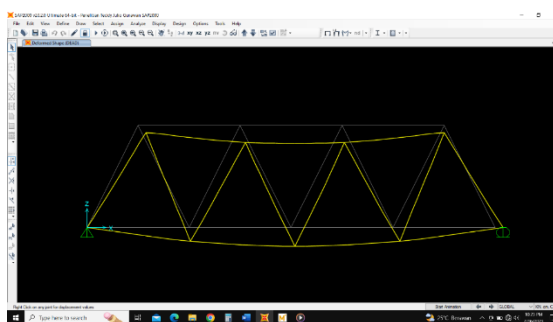
Gambar 6. Menghilangkan reaksi momen rangka batang

4. Melakukan pengaturan sebelum dilakukan analisis dalam SAP2000



Gambar 7. Pengaturan analisis program SAP2000

5. Hasil dalam *run* program analisis SAP2000



Gambar 8. Hasil analisis program SAP2000

6. Hasil tabel analisis pemrograman:

a. *Joint Displacement*/Perpindahan

Tabel 1. Hasil analisis nilai perpindahan di SAP2000

Joint	Output Case	X	Y
Text	Text	cm	cm
1	DEAD	0	0
2	DEAD	0.152792	-1.796072
3	DEAD	0.509269	-2.462638
4	DEAD	0.865746	-1.796072
5	DEAD	1.018538	0
6	DEAD	1.018521	-0.936269
7	DEAD	0.712971	-2.218449
8	DEAD	0.305567	-2.218449
9	DEAD	0.000017	-0.936269

b. Gaya batang

Tabel 2. Hasil analisis nilai gaya batang di SAP2000

Frame	OutputCase	P
Text	Text	KN
a	DEAD	150.004
b	DEAD	349.97
c	DEAD	349.97
d	DEAD	150.004
e	DEAD	-299.972
f	DEAD	-399.969
g	DEAD	-299.972
h	DEAD	-335.371
i	DEAD	335.317
j	DEAD	-111.753
k	DEAD	111.792
l	DEAD	111.792
m	DEAD	-111.753

c. Reaksi terhadap tumpuan

Tabel 3. Hasil analisis reaksi tumpuan di SAP2000

Joint	Output Case	F1	F2	F3
Text	Text	KN	KN	KN
1	DEAD	-1.249E-13	0	300
5	DEAD	0	0	300

**Perbandingan Hasil Analisis PTC Mathcad Dengan Hasil Validasi Program SAP2000**

1. Hasil analisis *joint displacement*/perpindahan. Rata-rata perhitungan analisis menggunakan PTC Mathcad lebih besar dibanding analisis SAP2000. Selisih tertinggi pada nilai *joint displacement*/perpindahan pada sumbu X sebesar 0.70% yaitu pada titik joint 6. Sedangkan selisih tertinggi pada nilai *joint displacement*/perpindahan pada sumbu Y sebesar 1.48% yaitu terjadi juga pada titik joint 8 dan joint 7.
2. Gaya Batang. Rata-rata perhitungan analisis menggunakan PTC Mathcad juga lebih besar dibanding analisis SAP2000. Selisih tertinggi pada nilai frame rangka batang j dan m sebesar 4.47%.
3. Reaksi terhadap tumpuan. Perhitungan analisis menggunakan PTC Mathcad sama dengan analisis SAP2000 untuk reaksi vertikal. Tetapi pada arah horizontal pada tumpuan titik 1 di analisis SAP2000 ada reaksi sebesar  $-1.25 \times 10^{-13}$ , sedangkan pada analisis PTC Mathcad tidak ada.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan dari hasil proses analisis menggunakan aplikasi PTC Mathcad dan aplikasi SAP2000 maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Aplikasi PTC Mathcad dapat digunakan sebagai program sederhana dalam analisis struktur rangka batang 2 dimensi dengan metode matriks kekakuan.
2. Persentase nilai dari hasil analisis *joint displacement*/perpindahan yang didapati dari analisis PTC Mathcad didapati rata-rata lebih besar dibanding dengan hasil analisis SAP2000 dengan nilai persentase rata-rata perbandingan untuk translasi pada arah X sebesar 0.33% dan untuk nilai persentase rata-rata perbandingan untuk translasi pada arah Y sebesar 0.98%.
3. Persentase nilai dari hasil analisis gaya batang yang didapati dari analisis PTC Mathcad didapati rata-rata lebih besar dibanding dengan hasil analisis SAP2000 dengan nilai persentase rata-rata perbandingan untuk gaya batang sebesar 1.58%.
4. Perbandingan hasil analisis reaksi terhadap tumpuan. Perhitungan analisis menggunakan PTC Mathcad sama dengan analisis SAP2000 untuk reaksi vertikal. Tetapi pada arah horizontal pada tumpuan titik 1 di analisis SAP2000 ada reaksi sebesar  $-1.25 \times 10^{-13}$ , sedangkan pada analisis PTC Mathcad tidak ada.
5. Dari data tersebut program yang dibuat pada aplikasi PTC Mathcad didapati sedikit sekali perbedaannya dari aplikasi SAP2000 sehingga aplikasi PTC Mathcad sangat membantu dalam menganalisa struktur dengan metode matriks sehingga memudahkan dalam memahami tahapan-tahapan analisa struktur dengan menggunakan metode matriks.
6. Aplikasi PTC Mathcad memiliki beberapa kelebihan yang tidak dimiliki aplikasi lain yaitu fitur matriks yang memudahkan dalam menganalisa struktur rangka batang, dalam penginputan memiliki satuan yang bisa disesuaikan dengan mengubah satuan, memiliki kelebihan dalam melakukan perkalian matriks lebih dari dua perkalian langsung. Dengan mendefinisikan notasi bisa langsung membuat sistem program penjumlahan, pengurangan, perkalian dan pembagian secara langsung.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adha, Apriliyanda Nur., Abdi, Fachriza Noor., Sutanto, Heri. (2020). Analisis Rangka Batang 2D Dengan Metode Matriks Kekakuan Menggunakan Aplikasi Matlab. Jurnal Teknologi Sipil Universitas Mulawarman. Samarinda.
- [2] Ariestadi, Dian. (2008). *Teknik Struktur Bangunan Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- [3] Deshariyanto, Dwi., Diana, Anita Intan Nura., Fansuri, Subaidillah. (2022). Perbandingan Struktur Rangka Batang Statis Tertentu Menggunakan Metode Mekanika Klasik dan Program (SAP2000). Jurnal MITSU UNIJA Volume 10 No. 1 April 2022.
- [4] Hibbeler, Russell C (2002). *Structural Analysis, fifth edition*. Prentice Hall.
- [5] Inc, Computers & Structure. (2017). *SAP2000 Version 20 CSI Analysis Reference Manual*. Berkeley.
- [6] Inc, Mathsoft Engineering & Education. (2002). *User's Guide*. Cambridge.
- [7] Manubulu, Christiani Chandra., Mooy, Merzy., Serra, Igidro Sampaio Soares. (2022). Analisa Rangka Batang 2D Menggunakan Metode Matriks Kekakuan Struktur Dan SAP2000. Eternitas: Jurnal Teknik Sipil Vol. 1 No. 2 April 2022.
- [8] Musbar., Miswar, Khairul., Muhyi, Abdul., Riyadhshyah., Bahri, Syamsul. (2022). Pelatihan Penggunaan Aplikasi Software PTC Mathcad Prime Untuk Lulusan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe. Jurnal Vokasi Vol.6 No. 3 November 2022. Lhokseumawe.
- [9] Nasution, Amrinsyah. (2009). *Metode Matrik Kekakuan Analisis Struktur*. Bandung: ITB.
- [10] Rukmana, Sukma Arfianti. (2020). Perbandingan Model Struktur Menggunakan Metode Matriks Dengan Program SAP2000. Jurnal Universitas Wiraja. Sumenep.
- [11] Wang, Chu Kia. (1983). *Analisa Struktur Lanjutan Jilid I*. Jakarta: Erlangga.