

# APLIKASI PEMROGRAMAN METODE ELEMEN HINGGA PADA STRUKUR BEAM 2D MENGGUNAKAN PROGRAM C#

Soleh Rahman<sup>1</sup>, Efi Afrizal<sup>2</sup>, Nazaruddin<sup>3</sup>

Laboratorium Kontruksi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

<sup>1</sup>soleh.rahman2862@student.unri.ac.id, <sup>2</sup>efiafrizal@lecturer.unri.ac.id, <sup>3</sup>nazaruddin@eng.unri.ac.id

## Abstract

*The application of structural analysis is increasingly having a very important role in its existence in today's engineering world. Nowadays there are so many applications that make problem analysis easier, especially in the field of mechanical engineering such as SOLIDWORKS, ANSYS, ABAQUS, INVENTOR and so on. However, these commercial applications are not only quite expensive but also have very strict licensing rules. Of course this raises a kind of concern for users of the application, especially mechanical engineering students at the University of Riau. These problems and reasons are what encourage the author's initiative and ideas to create a structural analysis application that can be used as an alternative for analyzing structural problems. There is no structural analysis application developed previously in the Department of Mechanical Engineering at the University of Riau, so as an initial stage, one of the analyzes that can be developed is a two-dimensional (2D) beam structure analysis that is subject to loading and is in an elastic state using triangular elements. or Constant Strain Element (CST). The development of the application program is based on the Finite Element Method (FEM). From the results of the research that has been done, it can be concluded that the results of calculations in the application that have been developed show the results of the close value after comparisons with the results of calculations on the popular commercial application, namely Abaqus.*

*Keywords: Finite Element Method, structural analysis application, triangular element.*

## 1. Pendahuluan

Analisis kekuatan struktur menjadi hal penting yang perlu diperhatikan dalam perancangan suatu konstruksi. Melalui kajian mendalam dapat diperkirakan kemampuan struktur menahan beban dari berbagai faktor eksternal yang muncul terhadap konstruksi [1]. Tujuannya untuk mengetahui tegangan dan regangan yang terjadi sehingga perancang dapat mengevaluasi desain yang direncanakan.

Untuk menganalisis struktur dapat ditentukan langsung dengan solusi analitik yang umumnya memerlukan solusi persamaan diferensial biasa atau parsial, dikarenakan struktur melibatkan sifat material, pembebanan dan geometri yang tergolong rumit maka solusi analitik sulit diperoleh oleh karenanya perlu mengandalkan metode numerik yang hasil nilainya dapat diterima [2]. Apalagi jika menyertakan hal lain untuk dipertimbangkan dalam analisis seperti temperatur, kondisi non-linear, dan kondisi dinamik maka penyelesaian yang disarankan adalah dengan menggunakan pendekatan numerik.

Menggunakan metode numerik akan mendapatkan solusi berbentuk angka dan berupa pendekatan/hampiran yang akan menghasilkan nilai error tidak sama dengan nol [3]. Dengan menggunakan metode numerik akan mencerminkan kondisi aktual struktur dibandingkan dengan analitik di mana persamaan-persamaan diturunkan dengan berbagai penyederhanaan dan banyak asumsi sehingga belum mencerminkan kondisi

aktual. Oleh karena itu, metode numerik merupakan metode terbaik dalam melakukan penelitian. Tentu saja, validasi hasil kajian numerik dengan hasil eksperimen adalah penelitian yang ideal.

Ada beberapa metode numerik yang dikembangkan sebelumnya untuk memecahkan masalah analisis struktur, mulai dari Metode Benda Hingga (MBH), Metode Elemen Batas (MEB) dan Metode Elemen Hingga (MEH). Dari metode tersebut masing-masing digunakan untuk menyelesaikan pada area permasalahan tertentu bergantung sistem fisik yang akan dianalisis. MBH unggul dalam kemudahan komputasi namun tidak dalam fleksibilitas geometri domain, untuk geometri domain yang kompleks penerapan MBH dirasa kurang baik karena bentuk *cell/grid/mesh* pada umumnya hanya berbentuk persegi sehingga metode ini kurang cocok diterapkan untuk analisis mekanika solid karena hasil yang diperoleh kurang akurat namun metode ini lebih banyak digunakan untuk analisis pada *fluid* dan *thermal* [4]. MEB dapat mengatasi masalah pada geometri kompleks di mana *meshing* dilakukan pada batas domain (*boundary*), metode ini mengharuskan formulasi integral sebagai basis penyelesaian masalah sehingga metode ini dianggap lebih sulit untuk diimplementasikan dan dikembangkan baik itu dalam aspek pemrograman maupun analisis untuk menyelesaikan pada area permasalahan tertentu atau analisis yang meluas [5]. MEH memiliki keunggulan untuk mengatasi masalah geometri domain yang kompleks di mana *meshing* dilakukan

pada seluruh domain dan grid perhitungan tidak hanya terbatas pada bentuk persegi oleh karena itu MEH dapat menghasilkan solusi yang akurat (Asih dkk, 2018). Metode ini memformulasikan fungsi polinomial yang terdefinisi pada elemen sebagai basis penyelesaian masalah yang dikemas dalam bentuk notasi matriks [6].

MEH berkembang dengan pesat dan dipakai secara meluas untuk digunakan menyelesaikan berbagai permasalahan keteknikan seperti analisis mekanika solid dan *fluid*. Karena kesederhanaan langkah-langkah dalam penurunan persamaan solusi fundamental untuk digunakan menyelesaikan masalah tersebut dibanding metode lain dan kemudahan implementasi dalam aspek pemrograman komputer [2].

Saat ini perangkat lunak atau aplikasi komersial yang berbasis MEH sangat banyak beredar dipasaran. Beberapa program tersebut antara lain SAP2000, Solidworks, Ansys, Abaqus dan banyak lainnya. Sebagian besar para insinyur lebih tertarik menggunakan aplikasi-aplikasi tersebut dalam menganalisis masalah keteknikan, karena praktis dan efisien terhadap waktu dibandingkan dengan metode analisis yang manual. Namun aplikasi tersebut tidak bersifat terbuka (*open source*) dan memiliki harga yang relatif mahal serta memiliki aturan lisensi yang ketat. Hal ini menjadi kendala bagi pengguna khususnya mahasiswa Teknik Mesin di Universitas Riau. Jika originalitas aplikasi komputer tidak dimiliki hal ini akan melanggar UU No. 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta [7].

Sampai saat ini di Jurusan Teknik Mesin Universitas Riau sendiri belum ada aplikasi analisis struktur yang pernah dibuat sebelumnya. Oleh sebab itu, untuk mengatasi keterbatasan dan ketergantungan akan program asli (*genuine*) maka muncul pemikiran untuk membuat program analisis struktur. Hal ini dilakukan sebagai bentuk usaha mandiri dan juga langkah awal mengurangi kekhawatiran dalam penggunaan aplikasi yang berlisensi. Dengan program sendiri maka pada masa yang mendatang dimungkinkan untuk dilakukannya penambahan dan pengembangan yang lebih mendalam.

Dalam penelitian ini bertujuan untuk menyusun algoritma program dan merancang tampilan aplikasi (*software*) untuk analisis struktur batang (*beam*) 2D yang mengalami pembebanan dan berada dalam kondisi elastis untuk mengetahui perpindahan (*displacement*) dan tegangan. Adapun metode yang akan digunakan dalam analisis struktur ialah MEH. MEH dipilih karena akurat dan juga perhitungan yang relatif sederhana sehingga relevan digunakan untuk analisis pada area permasalahan mekanika solid [2]. Adapun elemen yang akan digunakan yaitu elemen segitiga linear atau *Constant Strain Triangle* (CST). Penggunaan elemen segitiga lebih sedikit menyerap ruang

memori penyimpanan di dalam komputer yang dibutuhkan untuk komputasi karena formulasi persamaan yang lebih sederhana dan fleksibel digunakan sehingga proses perhitungan jauh lebih cepat [8].

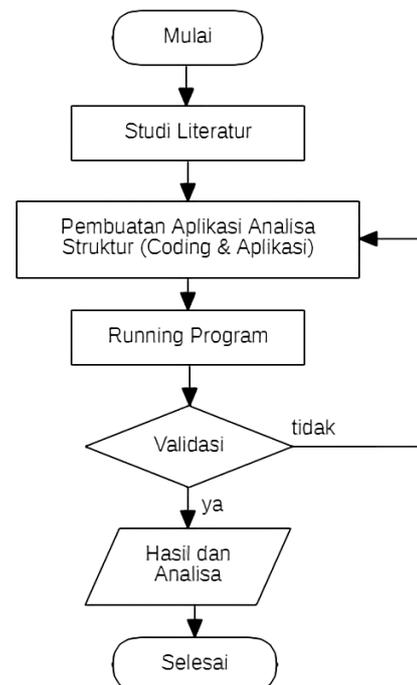
Pembuatan aplikasi menggunakan bahasa C# karena mengimplementasikan program dengan konsep berorientasi objek atau *Object Oriented Programming* (OOP). Selain itu C# menggunakan pustaka besar (*Net Framework*) yang digunakan untuk membantu kebutuhan pemrograman dan didukung dengan bantuan *Integrated Development Environment* (IDE) Visual Studio sehingga proses pengembangan membuat tampilan antar muka aplikasi atau *Graphic User Interface* (GUI) menjadi jauh lebih mudah dan cepat [9].

Ada banyak orang yang telah melakukan pengembangan aplikasi analisa struktur berbasis MEH, Oladejo dkk [10] membuat aplikasi analisis struktur pada *beam* menggunakan elemen segitiga dengan bantuan Visual Basic 6.0 dimana *output* aplikasi tersebut berupa perpindahan nodal, validasi *output* dilakukan dengan cara membandingkannya terhadap *output* program komersil COMSOL.

## 2. Metode

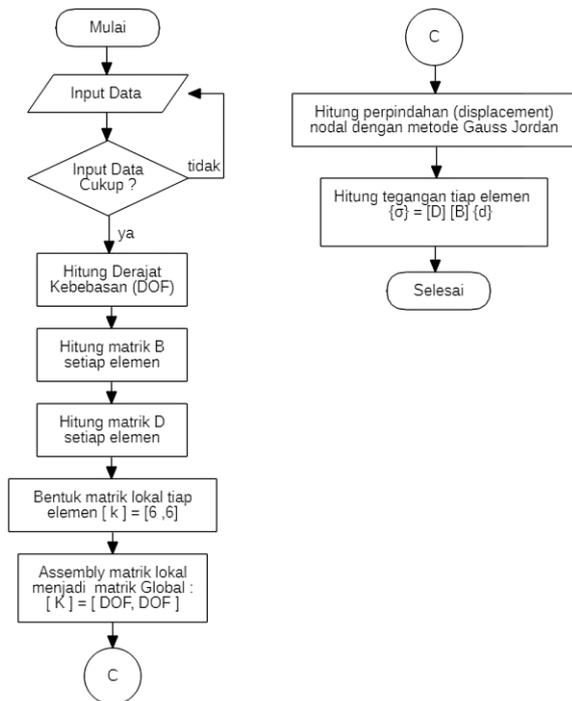
### 2.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah metode numerik. Adapun diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

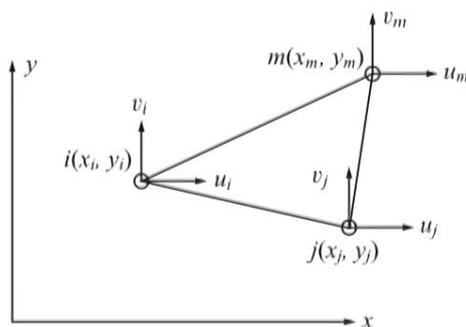
Simulasi ini dilakukan dengan algoritma yang ditampilkan pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Simulasi

## 2.2 Solusi Numerik Elemen Segitiga Linier 2D

Dalam analisis struktur menggunakan elemen CST dimana dapat dilihat pada Gambar 3 [2].



Gambar 3. Elemen Segitiga Linier [2]

digunakan persamaan-persamaan berikut untuk mendapatkan solusi permasalahan dalam analisis struktur menggunakan elemen CST [2] :

### 1. Matrik [B]

$$[B] = \frac{1}{2A} \times \begin{bmatrix} \beta_i & 0 & \beta_j & 0 & \beta_m & 0 \\ 0 & \gamma_i & 0 & \gamma_j & 0 & \gamma_m \\ \gamma_i & \beta_i & \gamma_j & \beta_j & \gamma_m & \beta_m \end{bmatrix} \quad (2.56)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \beta_i &= y_j - y_m & \beta_j &= y_m - y_i & \beta_m &= y_i - y_j \\ \gamma_i &= x_m - x_j & \gamma_j &= x_i - x_m & \gamma_m &= x_j - x_i \end{aligned} \quad (2)$$

### 2. Matrik [D]

$$[D] = \frac{E}{(1-\nu^2)} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Dimana E = modulus elastisitas dan  $\nu = poisson ratio$ .

### 3. Matrik Kekakuan Lokal [k]

$$[k] = tA[B]^T[D][B] \quad (4)$$

Dimana t = ketebalan dan A = luas elemen.

### 4. Matrik Kekakuan Global [K]

Seluruh matrik kekakuan global digabungkan menjadi satu matrik yang disebut dengan matrik kekakuan global.

$$[K] = \sum_{e=1}^N [k^e] \quad (5)$$

Dan

$$\{F\} = [K]\{d\} \quad (6)$$

Dimana  $\{F\}$  = vektor gaya pada nodal.

### 5. Perpindahan Nodal

Perpindahan nodal struktur global yang tidak diketahui ditentukan dengan memecahkan sistem persamaan (6) secara aljabar menggunakan Gauss Jordan.

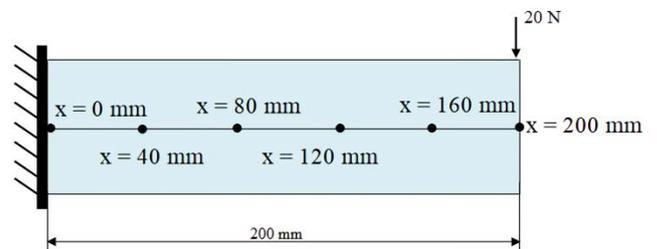
### 6. Tegangan Elemen

Setelah perpindahan nodal diperoleh, tegangan elemen dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\{\sigma\} = [D][B]\{d\} \quad (7)$$

## 2.3 Model Beam 2D

Model yang disimulasikan pada penelitian ini adalah batang (*beam*) 2D dengan kondisi tumpuan jepit (kantilever) seperti ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Spesimen Uji

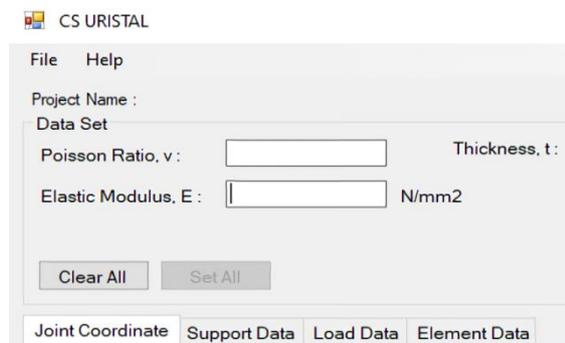
Data-data yang digunakan untuk input parameter ialah pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Data Parameter Simulasi Program

Data Struktur	Nilai
Modulus Elastisitas	200 Gpa
Poisson's Ratio	0.3
Ketebalan	10 mm
Panjang	200 mm
Lebar	10 mm
Beban	20 N

**3. Hasil**

Akurasi dari aplikasi yang dikembangkan pada penelitian ini dibandingkan dengan hasil dari nilai defleksi eksak. Gambar 5 menunjukkan tampilan GUI dari aplikasi yang telah selesai dirancang atau diberi nama dengan *Computer Software University Of Riau Structural Analysis (CS URISTAL)*.



Gambar 5. Aplikasi CS URISTAL

**3.1 Solusi Eksak Defleksi Spesimen Uji**

Defleksi yang terjadi pada spesimen uji diamati pada tiap titik dengan jarak interval 40 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Menentukan defleksi balok didasarkan atas persamaan differensial kurva defleksi dan hubungan-hubungan yang berkaitan dengan itu [11]. Persamaan defleksi balok disepanjang sumbu netral spesimen uji sebagai berikut [11].

$$v(x) = \frac{P}{EI} \left( \frac{x^3}{6} - \frac{Lx^2}{2} \right) \quad (8)$$

Besar nilai defleksi pada spesimen uji ditampilkan pada Tabel 2.

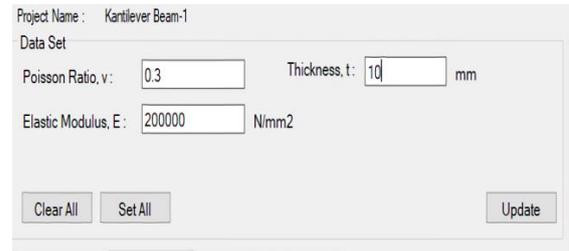
Tabel 2. Nilai Defleksi Secara Eksak

Titik defleksi, x (mm)					
0	40	80	120	160	200
0	-0,018	-0,066	-0,138	-0,225	-0,32

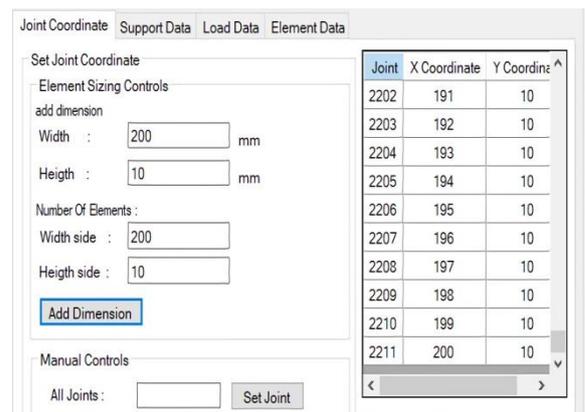
**3.2 Hasil Defleksi Simulasi Program CS URISTAL**

Pada aplikasi CS URISTAL dilakukan simulasi dengan ukuran dimensi *mesh* yaitu 1 mm x 1 mm dengan total 4000 elemen. Pengamatan defleksi

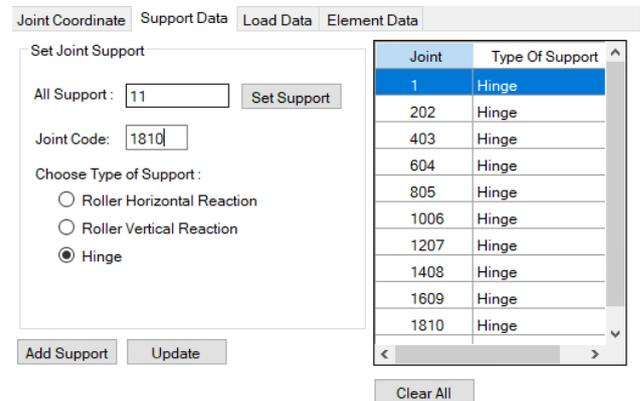
diamati di posisi *node* dengan jarak nilai x sesuai dengan spesimen uji. Tahapan penggunaan aplikasi ini dapat dilihat pada Gambar 6.



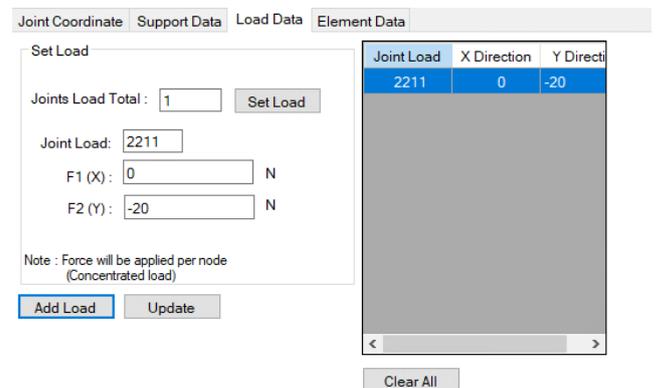
Gambar (a)



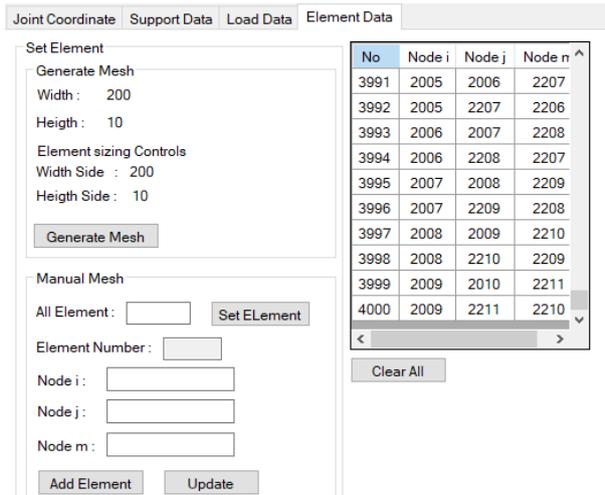
Gambar (b)



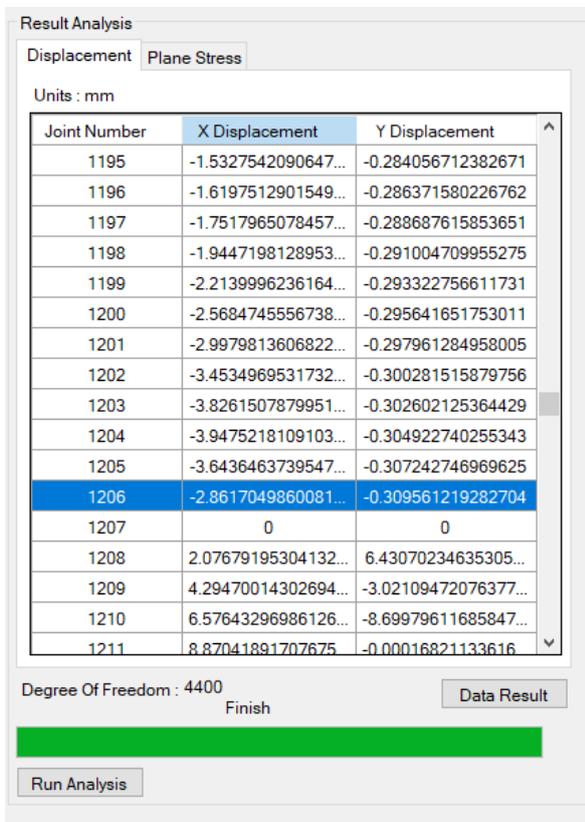
Gambar (c)



Gambar (d)



Gambar (e)



(f)

Gambar 6. Tahapan Proses Penggunaan Aplikasi CS URISTAL (a) Input *Properties Material* (b) Input Dimensi dan Pembagian Struktur (c) Input Tumpuan (d) Input Beban (e) Proses Diskritisasi Struktur (f) Hasil Analisis

Hasil pemeriksaan nilai defleksi pada posisi *node* selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Defleksi Dari Program CS URISTAL

Titik Defleksi (mm)	Label <i>Node</i>	Nilai Defleksi (mm)
0	1006	0.000000
40	1046	-0.017351
80	1086	-0.064421
120	1126	-0.133762
160	1166	-0.217952
200	1206	-0.309561

### 3.4 Validasi

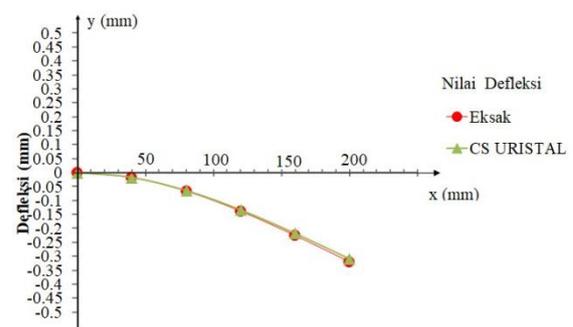
#### 3.4.1 Perbandingan Hasil Defleksi

Pada Tabel 4 ditampilkan perbedaan nilai defleksi pada spesimen uji yang telah dianalisis menggunakan cara analitik (eksak) dan metode numerik dengan bantuan program CS URISTAL

Tabel 4. Perbedaan Nilai Defleksi Eksak dan CS URISTAL

Titik Defleksi (mm)	Nilai Defleksi (mm)		Perbedaan %
	Eksak	CS URISTAL	
0	0	0	0.000
40	-0.018	-0.017351	3.606
80	-0.066	-0.064421	2.392
120	-0.138	-0.133762	3.071
160	-0.225	-0.217952	3.132
200	-0.32	-0.309561	3.262

Dari hasil tersebut, perbedaan yang dihasilkan antara nilai eksak dan program CS URISTAL adalah kecil dilihat dari persen error. Pada Gambar 7 ditampilkan grafik defleksi antara nilai eksak dan program CS URISTAL.



Gambar 7. Grafik Defleksi Nilai Eksak, Abaqus dan CS URISTAL

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa, perbedaan nilai defleksi eksak terhadap *output* program CS URISTAL memiliki hasil yang sama atau

mendekati. Hasil pengukuran defleksi diperoleh perbedaan minimum sebesar 2,392% dan maksimum sebesar 3,606%.

#### Daftar Pustaka

- [1]. Kassimali, A. (2012). *Matrix Analysis Of Structures*. Stamford: Cengage Learning.
- [2]. Logan, D. L. (2011). *A First Course In The Finite Element Methode*. Stamford: Cengage Learning.
- [3]. Munir, R. (2003) *Metode Numerik*. Bandung: Informatika Bandung.
- [4]. Asih, T. S., Waluya, B., & Supriyono. (2018). Perbandingan Finite Difference Method dan Finite Element Method Dalam Mencari Solusi Persamaan Differensial Parsial. PRISMA, 885-888.
- [5]. Mushtaq, M, Shah, N.A., & Muhammad, G. (2009) *Advantages and Disadvantages of Boundary Element Methods For Compressible Fluid Flow Problem*. Journal of American Science, 5(8), 64-67.
- [6]. Cook, R. D., Malkus, D. S., Plesha, M. E., & Witt, R. J. (2001). *Concept and Appilcation Of Finite Element Analysis*. Hoboken: John Wiley & Sons, INC.
- [7]. Undang-Undang RI Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta.
- [8]. Ezeh, J. C., & Enem, J. I. (2012). *Comparative Study On Use Triangular And Recatangular Finite Elements In Analysis Of Deep Beam*. Natural and Applied Sciences, 3(3), 131-140.
- [9]. Raharjo, B. (2015). *Mudah Belajar C#*. Bandung: Informatika Bandung
- [10]. Oladejo, K. A., Abu, R., & Bamiro, O. A. (2018). Model For Deflection Analysis in Cantilever Beam. European Journal of Engineering Research and Science, 3(12), 60-66
- [11]. Gere, J. M., & Timoshenko, S. P. (1996). *Mechanics Of Material*. London: Chapman & Hall.