

Civil Engineering – Research Article

Program Bantu *RCstructureMDL* berbasis GNU Octave untuk Permodelan Otomatis Struktur Beton Bertulang pada OpenSees

Hendry David Zacharias 

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Citra Bangsa Kupang, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: October 22, 2025

Revised: December 20, 2025

Available online: June 01, 2026

KEYWORDS

Automatic modeling, octave, openSees, structural response

CORRESPONDENCE

Hendry David Zacharias

E-mail: hendryzachariass2@gmail.com

A B S T R A C T



CrossMark

Structural analysis requires modeling using computer programs, one of which is OpenSees which uses TCL the one-line commands for modeling, analysis, material properties and other aspects. The lack of a GUI that makes users friendly in OpenSees can cause modeling errors. In this research, the Octave-based *RCstructureMDL* program was developed for automatic modeling of reinforced concrete structures on OpenSees. Three models with variations in the number of floors and frames in the X and Y directions are used to test the flexibility and the correctness of the model. Flexibility can be seen from the ease of creating modeling commands from three models by changing the variables *nX*, *nY*, *nf*, *span_X*, *span_Y*, and *storey_Z*. Support reaction value shows the same value as the vertical and horizontal load entered at all top floor points, so the model generated automatically using this program can be used for analysis.

PENDAHULUAN

Analisis respon struktur terhadap beban memerlukan pemodelan matematis. Proses permodelan dan analisis untuk mendapatkan respon struktur biasanya menggunakan program komputer, salah satunya adalah *Open System for Earthquake Engineering Simulation* (OpenSees). OpenSees adalah sebuah framework berorientasi objek untuk analisis perilaku seismik dari sistem struktur dan geoteknik. Fitur utama dari OpenSees adalah kemampuan melakukan pertukaran komponen dan mengintegrasikan *library* yang ada serta komponen baru ke dalam *framework* tanpa perlu mengubah kode/skrip yang sudah ada. Kerangka utama sudah mendefinisikan kebutuhan minimal sehingga mempermudah penambahan komponen baru, namun cukup lengkap untuk memastikan semua komponen yang dibutuhkan dapat diakomodasi (Mazzoni et al. 2006).

OpenSees sendiri bukanlah bahasa perogram tetapi menggunakan interpreter berupa bahasa pemrograman Tool

Command Language (TCL) untuk mendefinisikan dan menjalankan simulasi. TCL sebagai bahasa perintah untuk OpenSees, memungkinkan bagi pengguna untuk berinteraksi dan mengontrol OpenSees dengan menulis *syntax* yang berisi serangkaian perintah. Perintah-perintah ini merupakan perintah satu baris yang memiliki tugas khusus untuk menentukan permodelan struktur, prosedur analisis, properti material, dan mengontrol aspek lain dari simulasi.

Karena merupakan perintah satu baris maka diperlukan jumlah baris yang cukup banyak untuk memodelkan suatu struktur gedung. Sebagai contoh untuk memodelkan struktur 3D *frame* beton bertulang satu lantai dengan satu bentangan diperlukan 206 baris perintah hal ini tentunya akan berpotensi terjadi kesalahan pengetikan *syntax* perintah dan akan memakan waktu untuk mencari dan menyelesaikannya, contoh lainnya untuk struktur 12 lantai dengan empat portal arah X dan Y menghasilkan 208 titik, 192 elemen kolom, dan 288 elemen balok, artinya untuk memodelkan geometri dari struktur ini diperlukan 688 baris perintah, belum termasuk perintah untuk



memodelkan material, *section* dan beban. Oleh karena itu diperlukan adanya program bantu untuk menjembatani hal ini (Gutiérrez-Urzúa 2021).

Potensi kesalahan pada tahapan permodelan struktur menggunakan OpenSees disebabkan kurangnya *Graphical User Interface* (GUI) yang memberi kemudahan bagi pengguna (*user friendly*). Beberapa peneliti membuat program bantu untuk menjembatani hal tersebut diantaranya, Shabani and Kioumarsy membuat program *Hyperomet* untuk GUI pada OpenSees dalam rangka analisis seismik bangunan bersejarah yang terbuat dari pasangan bata tanpa perkuatan beton (*unreinforced masonry*) (Shabani and Kioumarsy 2022). Minafo and Camarda mengembangkan program bantu yang mampu melakukan analisis statis non-linier untuk kolom yang diperkuat dengan beton bertulang, memanfaatkan kerangka elemen hingga (FE) OpenSees dan MATLAB untuk GUI yang *user friendly* (Minafo and Camarda 2023).

Penggunaan MATLAB dan OpenSees juga berkembang dalam berbagai kebutuhan, Zhu, et al. dalam penelitiannya menggunakan MATLAB dan OpenSees untuk mengembangkan model elemen hingga *stochastic* kolom beton bertulang untuk analisis kinerja seismik menggunakan metode *Monte Carlo* (Zhu et al. 2023). Velasco, et al. menggunakan MATLAB dan OpenSees untuk proses optimasi pada sistem disipatif yang dibentuk oleh *Buckling-Restrained Braces* (BRBs) menggunakan algoritma metaheuristik *Simulated Annealing* (SA) (Velasco, Hospitaler, and Guerrero 2022). MATLAB digunakan untuk implementasikan algoritma SA dan membuat hubungan dengan OpenSees sehingga dimungkinkan transfer informasi selama proses optimasi. Mashayekhi, et al. melakukan optimasi penggunaan *tuned mass damper* (TMD) pada struktur rangka 10 lantai yang dimodelkan menggunakan OpenSees (Mashayekhi, Shirpour, and Sadeghi 2023). Parameter optimal diekstraksi oleh perangkat lunak MATLAB, menggunakan algoritma *particle swarm optimization* (PSO), *whale optimization algorithm* (WOA), dan kombinasi dari dua algoritma tersebut (*Hybrid PSO-WOA*). Penggunaan MATLAB dan OpenSees secara bersama-sama masih banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti lainnya (Yu et al. 2023; Aghagholizadeh 2020).

Program MATLAB merupakan perangkat lunak berlisensi sehingga penggunaannya terbatas, untuk itu dapat digunakan GNU Octave. Octave merupakan bahasa interpreter untuk perhitungan dan penyelesaian numerik untuk permasalahan linier dan nonlinier yang sangat mirip dengan MATLAB (Eaton 2012). Sebagai perangkat lunak gratis, Octave adalah tools yang sangat cocok untuk melakukan penelitian yang melibatkan komputasi numerik. Arfiadi menggunakan Octave untuk mengembangkan program bantu REALIND2D untuk mengisi kekosongan antara perhitungan manual dan program perangkat lunak komersial yang biasanya digunakan untuk melakukan analisis struktur (Arfiadi 2019). Tidak ada bagian tersembunyi dari Octave, sehingga setiap bagian dari perhitungan dapat dipelajari dan dibagikan kepada orang lain, juga mudah untuk menggabungkan

Octave dengan perangkat lunak gratis lainnya untuk sepenuhnya menjelaskan solusi terhadap masalah numerik.

Dari uraian di atas terlihat bahwa keterbatasan GUI yang *user friendly* pada OpenSees membuat tahapan permodelan terkadang memakan waktu dan berpotensi menimbulkan kesalahan yang dapat mengakibatkan kurang akuratnya hasil penelitian, terutama pada struktur yang memiliki jumlah titik dan elemen yang banyak. Terkait dengan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan program bantu *RCstructureMDL* berbasis Octave yang memungkinkan bagi pengguna untuk melakukan permodelan struktur beton bertulang secara otomatis pada OpenSees. Output dari program bantu ini berupa file ber-ekstensi "**.tcl*" yang merupakan kumpulan perintah-perintah untuk dijalankan pada OpenSees. Untuk menguji fleksibilitas dan kebenaran model yang digenerate oleh *RCstructureMDL* digunakan tiga model dengan variasi jumlah lantai dan jumlah portal pada arah X dan Y.

Program bantu *RCstructureMDL*

Program bantu *RCstructureMDL* ditulis berbasis bahasa pemrograman Octave dengan tujuan utama untuk menggenerate perintah-perintah guna permodelan struktur beton bertulang 3D secara otomatis, perintah-perintah tersebut disimpan dalam file ber-ekstensi "**.tcl*" yang dapat dijalankan pada OpenSees. *RCstructureMDL* menggunakan beberapa program kecil berupa fungsi menggunakan perintah "*function*" untuk membentuk baris-baris perintah pada file "**.tcl*" yang akan dijalankan pada OpenSees. Detail dari program kecil dan penjelasan serta bentuk syntax dapat dilihat pada tabel 1. Untuk memanggil program kecil tersebut pengguna perlu menuliskan beberapa syntax perintah pada editor Octave dengan kerangka penulisan sebagai berikut:

- a. Define model file name
mendefinisikan nama file model
- b. Model builder data
mendefinisikan spatial *dimension* dari struktur dan jumlah DOF tiap titik
- c. Structure geometry data
mendefinisikan data geometri struktur
- d. Defenition global variable
menjalankan fungsi untuk mendefinisikan variabel defGV)
- e. Structure geometry modeling
menjalankan fungsi untuk memodelkan geometri struktur (*spandef*, *axisdef*)
- f. Define Material
concrete unconfined material
menjalankan fungsi untuk memodelkan material beton tidak terkekang (*matdefU*)
- g. concrete confined material
menjalankan fungsi untuk memodelkan material beton terkekang (*matdefC*)
- h. Steel reinforcing material
menjalankan fungsi untuk definisi material tulangan baja (*matdefS*)
- i. Define Section
Column

- menjalankan fungsi untuk memodelkan section beton (secdefC)
- Beam
- menjalankan fungsi untuk memodelkan section balok (secdefB)
- j. Definition of transformation
 - menjalankan fungsi untuk mendefinisikan transformasi elemen (eltrf)
- k. Definition of elemen
 - Column
 - menjalankan fungsi untuk memodelkan elemen kolom (eledefC)
 - Beam
 - menjalankan fungsi untuk memodelkan elemen balok (eledefB)
- l. Definition of gravity load for individual column
 - menjalankan fungsi untuk memodelkan beban gravitasi pada titik tertentu (loaddefG)
- m. Definition of gravity load for all columns at curent floor
 - menjalankan fungsi untuk memodelkan beban gravitasi untuk semua titik pada lantai tertentu (loaddefGA)
- n. Definition of mass for individual column
 - menjalankan fungsi untuk memodelkan massa untuk titik tertentu (massdef)
- o. Definition of mass for all columns at curent floor
 - menjalankan fungsi untuk memodelkan massa untuk semua titik pada lantai tertentu (massdefA)
- p. Clear global variable
 - menjalankan fungsi untuk membersihkan variabel global yang sedangkan digunakan pada program ini (clearGV)

Permodelan struktur dengan OpenSees

Permodelan struktur pada program OpenSees menggunakan interpreter berupa bahasa pemrograman TCL untuk mendefinisikan dan menjalankan simulasi. TCL sebagai bahasa perintah untuk OpenSees, memungkinkan bagi pengguna untuk berinteraksi dan mengontrol OpenSees dengan menulis syntax yang berisi serangkaian perintah. Perintah-perintah ini merupakan perintah satu baris yang memiliki tugas khusus untuk menentukan permodelan struktur, prosedur analisis, properti material, dan mengontrol aspek lain dari simulasi (OpenSees 2022). Secara umum kerangka penulisan perintah untuk permodelan struktur struktur beton bertulang sebagai berikut:

- a. Set Up of Workspace
- b. Define model builder
 - mendefinisikan *spatial dimension* dari struktur dan jumlah DOF tiap titik
- c. Global Geometry
 - mendefinisikan data geometri struktur (jumlah portal arah X dan Y, jumlah lantai, jarak antar kolom pada arah X dan Y serta tinggi lantai)

- d. Definition of Nodes
 - mendefinisikan data titik (koordinat)
- e. Restraints
 - memodelkan perletakan
- f. Constraints
 - memodelkan constrasin
- g. Materials
 - memodelkan material (beton tidak terkekang, beton terkekang, dan baja tulangan)
- h. Sections
 - memodelkan *section* dari kolom dan balok dan membentuk *fiber* untuk analisis elemen hingga
- i. Elements
 - memodelkan elemen balok dan kolom (titik awal dan akhir, transformasi elemen)
- j. Gravity Loads
 - mendefinisikan beban gravitasi pada titik
- k. Masses
 - mendefinisikan massa pada titik
- l. Analysis
 - mendefinisikan proses analisis
- m. Output
 - mendefinisikan output

Kerangka penulisan perintah-perintah pada OpenSees dapat beragam tergantung pada jenis struktur, material dan kebutuhan output dari pengguna. Kerangka penulisan perintah di atas mengacu pada model struktur dari tutorial yang dibuat oleh Gutiérrez Urzúa (Gutiérrez-Urzúa 2021).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan melakukan analisis terhadap tiga model struktur beton bertulang simetris yang syntax perintah permodelannya digenerate secara otomatis menggunakan program bantu *RCstructureMDL*. Tiga model struktur yang dianalisis yaitu (1) Model struktur yang digunakan oleh Gutiérrez Urzúa dalam tutorialnya berupa struktur satu lantai dengan dua portal arah X dan Y (2) Model struktur enam lantai dengan empat portal arah X dan Y, dan (3) Model struktur 12 lantai dengan empat portal arah X dan Y (Gutiérrez-Urzúa 2021). Model struktur pada penelitian ini dibatasi untuk struktur simetris (persegi). Data dari ketiga model dapat dilihat pada tabel 2 dan gambar 1. Beban gravitasi vertikal sebesar 80 kN dikerjakan pada setiap titik lantai teratas dari model pertama, pada model kedua dan ketiga dikerjakan beban vertikal sebesar 100 kN, dan khusus untuk model ketiga ditambahkan beban horizontal arah X sebesar 100 kN (kekanan +) untuk mendapatkan nilai reaksi perletakan.

Tabel 1. Fungsi pada program *RCstructureMDL*

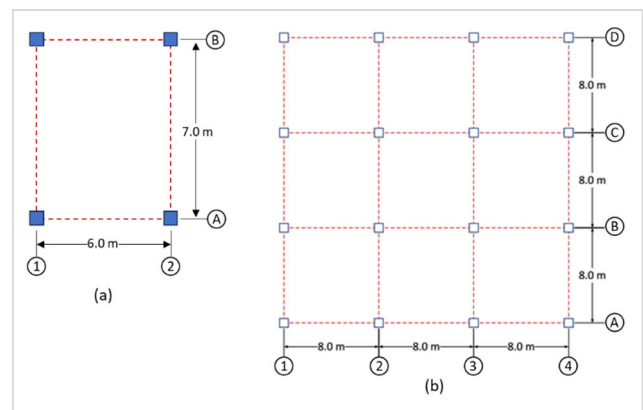
No	Program	Fungsi	Syntax
1	defGV.m	Mendefinisikan variabel global yang akan dipakai oleh semua fungsi pada program <i>RCstructureMDL</i>	GV= defGV(v1,v2,v3,v4,v5,v6,v7,v8,v9)
2	spandef.m	Menghasilkan perintah untuk mendefinisikan jarak antar portal dalam arah X dan Y dan tinggi antar lantai	[x,y,x]=spandef()

No	Program	Fungsi	Syntax
3	axisdef.m	Menghasilkan perintah untuk mendefinisikan sumbu (<i>axes</i>) dalam arah X dan Y, titik (koordinat x, y), perletakan dan <i>constrain</i>	[x,y,z]=axisdef()
4	matdefU.m	Menghasilkan perintah untuk mendefinisikan material beton bertulang tidak terkekang (<i>unconfined</i>)	[ID,fc,ec,eu,lmd]= matdefU(ID,fc,ec,eu,lmd)
5	matdefC.m	Menghasilkan perintah untuk mendefinisikan material beton bertulang terkekang (<i>confined</i>)	[ID,fc,ec,eu,lmd]= matdefU(ID,fc,ec,eu,lmd)
6	matdefS.m	Menghasilkan perintah untuk mendefinisikan material tulang beton	[ID,fy,Es,b,R0,cR1,cR2]= matdefS(ma,mb,mc,md,me,mf,mg)
7	secdefC	Menghasilkan perintah untuk mendefinisikan penampang kolom	[ID,b,h,cv,db,ntop,nbot,nmid] = secdefC(ID,bc,hc,rc,db,ntop,nbot,nmid)
8	secdefB	Menghasilkan perintah untuk mendefinisikan penampang balok	[ID,b,h,cv,db,ntop,nbot,nmid] = secdefB(ID,bb,hb,rb,db,ntop,nbot,nmid)
9	eltrf.m	Menghasilkan perintah untuk mendefinisikan transformasi dari elemen	[ct,bx,by,ni] = eltrf(ct,bx,by,ni)
10	eledefC	Menghasilkan perintah untuk memodelkan elemen kolom	[ID,fl,b,h] = eledefC(ID,fl,b1,h1)
11	eledefB	Menghasilkan perintah untuk memodelkan elemen balok	[ID,fl,b,h] = eledefB(ID,fl,b1,h1)
12	loaddefG	Menghasilkan perintah untuk memodelkan beban gravitasi pada kolom tertentu	[ID,nID,g1,g2,g3,g4,g5,g6] = loaddefG(ID,nID,g1,g2,g3,g4,g5,g6)
13	loaddefGA	Menghasilkan perintah untuk memodelkan beban gravitasi untuk semua kolom pada lantai tertentu	[ID,flD,g1,g2,g3,g4,g5,g6] = loaddefGA(ID,flD,g1,g2,g3,g4,g5,g6)
14	massdef.m	Menghasilkan perintah untuk memodelkan massa bangunan pada titik tertentu	[ID,nID,g1,g2,g3,g4,g5,g6] = massdef(ID,nID,g1,g2,g3,g4,g5,g6)
15	massdefA	Menghasilkan perintah untuk memodelkan massa bangunan untuk semua titik pada lantai tertentu	[ID,flD,g1,g2,g3,g4,g5,g6] = massdefA(ID,flD,g1,g2,g3,g4,g5,g6)
16	clearGV	Menghasilkan perintah untuk membersihkan variabel global yang sedang digunakan	CGV=clearGV()

Tabel 2. Dimensi balok, kolom dan jumlah tulangan memanjang

Model	Nama Section	Lantai	Dimensi (b x h) – cm	Tulangan Memanjang
1	C	0-1	30x40	10D25
	B	1	30x60	10D25
2	C1	0-1, 1-2	60x60	24D25
	C2	2-3, 3-4	55x55	20D25
	C3	4-5, 5-6	40x40	20D22
	B1	1, 2	40x50	10D22
	B2	3, 4	35x40	10D19
	B3	5, 6	30x35	8D19
3	C1	0-1, 1-2, 2-3	80x80	24D29
	C2	3-4, 4-5, 5-6	70x70	24D25
	C3	6-7, 7-8, 8-9	55x55	20D25
	C4	9-10, 10-11, 11-12	50x50	20D22
	B1	1, 2, 3	40x50	12D22
	B2	4, 5, 6	40x45	12D19
	B3	7, 8, 9	35x45	10D19
	B4	10, 11, 12	35x40	10D19

Perubahan jumlah bentangan dari model ke-1 ke model ke-2 dan jumlah lantai dari ketiga model digunakan untuk menguji fleksibilitas *RCstructureMDL* dalam memodelkan struktur terutama terhadap perubahan geometri. Selain menguji fleksibilitas, hasil analisis berupa reaksi perletakan juga diambil guna menguji kebenaran dari permodelan struktur yang digenerate oleh program ini. Hasil dan pembahasan dalam penelitian ini akan disajikan dalam bentuk tangkapan layar dan tabulasi yang selanjutnya digunakan untuk menarik kesimpulan.



Gambar 1. Geometri struktur tiga model (a) untuk model 1, (b) untuk model 2 dan 3

TEMUAN DAN PEMBAHASAN

Fleksibilitas RCstructureMDL

Program bantu RCstructureMDL berbasis Octave memanfaatkan beberapa fungsi (*function*) tambahan untuk membentuk perintah-perintah yang akan dijalankan pada OpenSees. Untuk menjalankan fungsi tambahan tersebut pengguna perlu menuliskan *syntax* dengan kerangka seperti pada bagian 1.1. Penulisan *syntax* tersebut dapat dilakukan pada *window Editor* dari Octave (gambar 2).

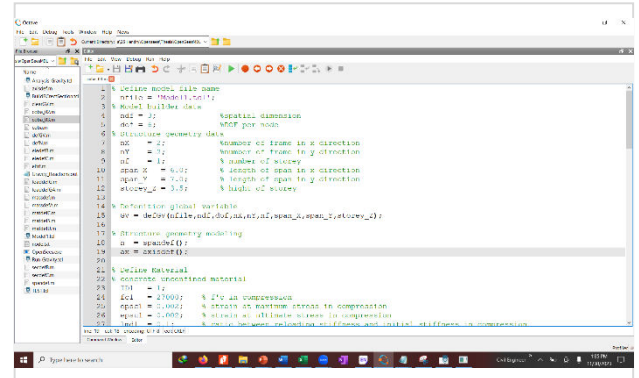
Perubahan geometri struktur dapat dilakukan pada bagian "*structure geometry data*" dengan merubah nilai nX , nY , nf untuk jumlah portal pada arah X dan Y serta jumlah lantai, dan nilai pada variabel $span_X$, $span_Y$, dan $storey_Z$ untuk jarak antar portal dalam arah X, arah Y serta tinggi antar lantai (nama variabel dapat disesuaikan oleh pengguna). Gambar 3, 4, dan 5 masing-masing menunjukkan penulisan perintah untuk geometri ketiga model. Untuk mendefinisikan elemen kolom dan balok pada pada lantai tertentu, *syntax* ditulis pada bagian "*definition of element*" dengan memasukkan ID dari kolom atau balok yang akan digunakan (berupa integer) dan nomor lantai (berupa integer). Pendefinisian titik awal dan akhir dari elemen balok dan kolom mengikuti aturan kiri ke kanan untuk balok dan atas ke bawah untuk kolom (gambar 6).

Fleksibilitas program bantu RCstructureMDL untuk membentuk perintah pada OpenSees dalam kaitannya dengan perubahan geometri dari struktur terlihat dari pengguna cukup merubah nilai dari variabel nX , nY , nf , $span_X$, $span_Y$, dan $storey_Z$ pada editor Octave maka RCstructureMDL akan membuat perintah-perintah pada TCL untuk mendefinisikan setiap titik dan elemen dalam satu baris perintah. Hal ini tentunya akan mengurangi bahkan meniadakan kesalahan pengetikan. Contohnya untuk model ke-tiga berupa struktur 12 lantai dengan empat portal arah X dan Y, geometri strukturnya dibentuk dari 208 titik, 192 elemen kolom, dan 288 elemen balok, artinya untuk memodelkan geometri dari model ke-tiga ini pengguna harus membuat 688 baris perintah jika dilakukan secara manual, belum termasuk perintah untuk memodelkan material, *section* dan beban yang oleh RCstructureMDL akan digenerate secara otomatis dengan hanya memasukan data nX , nY , nf , $span_X$, $span_Y$, dan $storey_Z$ seperti terlihat pada gambar 5.

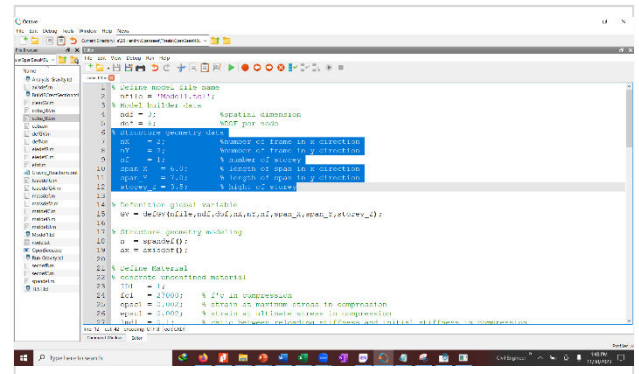
Kebenaran model dari RCstructureMDL

Perintah-perintah yang digenerate secara otomatis oleh RCstructureMDL hanya untuk permodelan struktur, pembentukan *section fiber* untuk kerangka elemen hingga menggunakan prosedur *BuildRCrectSection* yang dibuat oleh Mazzoni, et al. (Mazzoni et al. 2006), tahapan analisis menggunakan prosedur yang telah dibuat Gutiérrez Urzúa (Gutiérrez-Urzúa 2021). Analisis dilakukan hanya untuk beban gravitasi dan output yang diambil dari analisis ini hanya berupa reaksi perletakan pada setiap titik perletakan, untuk menguji kebenaran dari model.

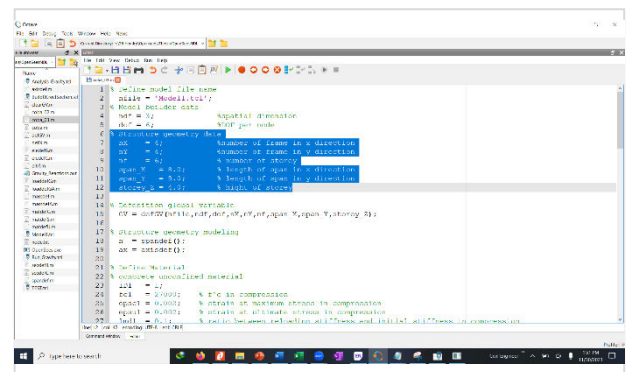
Tabel 3. menunjukkan besaran reaksi perletakan pada beberapa titik perletakan dari tiga model yang dianalisis. Penamaan pada titik menunjukkan posisi dari titik yaitu huruf setelah N menunjukkan nama as struktur pada sumbu X dan angka disebelah huruf menunjukkan nama as struktur pada sumbu Y, sedangkan angka terakhir menunjukkan posisi lantai.



Gambar 2. Tangkapan layar *window editor* pada GNU Octave



Gambar 3. Tangkapan layar *window editor* untuk geometri model 1



Gambar 4. Tangkapan layar *window editor* untuk geometri model 2

[illegible]

Model	Reaksi Perletakan						
	Titik	DOF 1 (kN)	DOF 2 (kN)	DOF 3 (kN)	DOF 4 (kN.m)	DOF 5 (kN.m)	DOF 6 (kN.m)
1	N_A1_0	0.00	0.00	80.00	0.00	0.00	0.00
	N_A2_0	0.00	0.00	80.00	0.00	0.00	0.00
	N_B1_0	0.00	0.00	80.00	0.00	0.00	0.00
2	N_B2_0	0.00	0.00	80.00	0.00	0.00	0.00
	N_A1_0	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
	N_B2_0	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
	N_C3_0	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
	N_D4_0	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
3	N_A4_0	-100.00	0.00	100.07	0.00	-4199.67	0.00
	N_B3_0	-100.00	0.00	100.00	0.00	-4199.53	0.00
	N_C2_0	-100.00	0.00	100.00	0.00	-4199.53	0.00
	N_D1_0	-100.00	0.00	99.93	0.00	-4199.67	0.00

REFERENSI

- Aghagholizadeh, Mehrdad. 2020. "A Finite Element Model for Seismic Response Analysis of Vertically-Damped Rocking-Columns." *Engineering Structures* 219 (September):110894. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110894>.
- Arfiadi, Yoyong. 2019. "Pengaruh Deformasi Geser Pada Program Bantu Analisis Struktur REALIN2D Untuk Portal 2 Dimensi." In *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS)*. <https://repository.uajy.ac.id/id/eprint/21897/>.
- Eaton, John W. 2012. "GNU Octave and Reproducible Research." *Journal of Process Control* 22 (8): 1433–38. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2012.04.006>.
- Gutiérrez-Urzúa, Fernando. 2021. *OpenSees - Reinforced Concrete 3D Model - 1 Model Definition*. <https://www.youtube.com/watch?v=2-R91GclKzs>.
- Mashayekhi, Mohammadreza, Alireza Shirpour, and Reza Sadeghi. 2023. "Finding Optimum Parameters of Passive Tuned Mass Damper by PSO, WOA, and Hybrid PSO-WOA (HPW) Algorithms." *Journal of Soft Computing in Civil Engineering* 7 (4): 72–92.
- Mazzoni, Silvia, Frank McKenna, Michael H. Scott, and Gregory L. Fenves. 2006. *OpenSees Command Language Manual*. California: Pacific earthquake engineering research center.
- Minafò, Giovanni, and Gaetano Camarda. 2023. "Development of a Software Package with GUI for the Evaluation of Monolithicity Factors of RC Jacketed Columns." *Structures* 48 (February):1939–48. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.01.061>.
- OpenSees. 2022. "OpenSees Examples" <https://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/Examples>
- Shabani, Amirhosein, and Mahdi Kioumars. 2022. "Hyperomet: An OpenSees Interface for Nonlinear Analysis of Unreinforced Masonry Buildings." *SoftwareX* 20 (December):101230. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2022.101230>.
- Velasco, Luis, Antonio Hospitaler, and Hector Guerrero. 2022. "Optimal Design of the Seismic Retrofitting of Reinforced Concrete Framed Structures Using BRBs." *Bulletin of Earthquake Engineering* 20 (10): 5135–60. <https://doi.org/10.1007/s10518-022-01394-z>.
- Yu, Jinguang, Chu Zhao, Weihui Zhong, and Xu Zhao. 2023. "Genetic Algorithm Model of PEC Column-Steel Plate Shear Wall with Flush End-Plate Joints Based on Component Method." *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 170 (July):107910. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2023.107910>.
- Zhu, Hanbo, Jinsheng Cheng, Mei-Ling Zhuang, Chuanzhi Sun, Li Gao, Youzhi Wang, Junxiang Shao, Lu Han, Haibo Fang, and Lin Zhao. 2023. "Numerical Simulation Methods for Reinforced Concrete Columns Considering Parameter Stochasticity." *Structures* 57 (November):105325. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105325>.

This page is intentionally left blank