

Konvergensi Analisa Numerik Akibat Gaya Luar pada Rangka Beton Sederhana

Hendri Hermawan¹, Atik Wahyuni², Nuril Lutvi Azizah³

^{1,2,3}Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
hendrihermawan@umsida.ac.id

Abstrak— Analisa dinamik pada struktur merupakan tahapan lanjutan bagi profesional konstruksi dalam memahami bagaimana suatu struktur akan berperilaku. Jurnal ini meneliti konvergensi perhitungan numerik tiga metode yang sering digunakan, yaitu *Newmark*, *Chung-Hulbert* dan *Central Difference*. Rangka beton 2 lantai akan menjadi acuan untuk melihat keandalan ketiga metode numerik tersebut, ekstraksi matriks K dan matriks M akan diambil dari program bantu SAP2000 dan iterasi numerik akan memakai *python* sebagai *solver* nya. Kecepatan konvergensi untuk kondisi tanpa beban luar dicapai lebih cepat 1.5% dengan eksplisit *central difference*, sedangkan *Newmark* dan *Chung-Hulbert* tetap mencapai konvergen meskipun dnegan pengaruh beban luar.

Abstract - Dynamic analysis of structures is an advanced stage for construction professionals in understanding how a structure will behave. This journal examines the convergence of numerical calculations of three frequently used methods, namely *Newmark*, *Chung-Hulbert* and *Central Difference*. The 2-storey concrete frame will be a reference to see the reliability of the three numerical methods, the extraction of matrix K and matrix M will be taken from the SAP2000 output and numerical iteration will use *python* solver. The convergence rate for conditions without external load was achieved 1.5% faster with explicit *central difference*, while *Newmark* and *Chung-Hulbert* still achieved convergence despite the influence of external loads.

Keywords — dinamik, *newmark*, eksplisit, *python*, SAP2000

I. PENDAHULUAN

Persamaan dinamik orde kedua banyak digunakan praktisi rekayasa struktur untuk mengetahui perilaku alami suatu rangka beton maupun baja pada bangunan, penyelesaian numerik dengan metode implisit yang dirumuskan oleh *Newmark*, masih merupakan salah satu metode awal dan paling kuat yang digunakan untuk analisis dinamis struktur dan masalah propagasi gelombang [1].

Sedangkan algoritma numerik eksplisit digunakan untuk mengintegrasikan persamaan gerak yang dihasilkan, dengan adanya pengaruh gaya luar. Skema ini lebih stabil secara kondisional dan tidak memerlukan penggunaan teknik iteratif implisit [2]. Variasi algoritma numerik eksplisit *Chung-Hulbert* disajikan dengan melakukan variasi nilai atau faktor koreksi

α -*general* yang sebagai parameter dispasi numerik dengan frekuensi alami tinggi.[3]

Sebuah contoh kasus pada rangka beton bertulang 2-dimensi seperti pada *Figure 1* yang mengacu pada penelitian oleh [4] akan dianalisa dengan 3 metode numerik untuk mendapatkan gambaran sederhana efek gaya luar yang diterapkan.

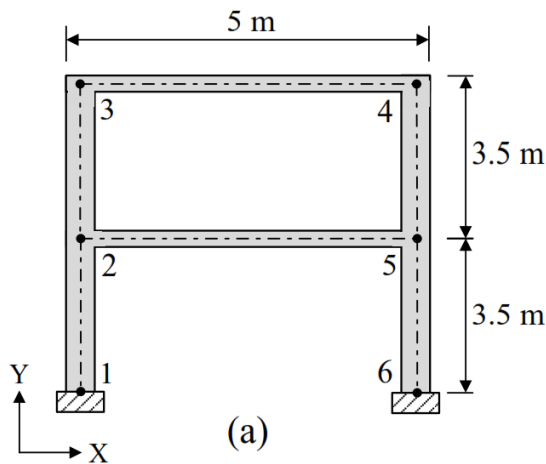


Figure 1. Rangka 2 Lantai beton bertulang

Program bantu yang dipakai sebagai solver pada jurnal ini menggunakan *open-source* python ver.3.12, dimana perlakuan serupa pernah diterapkan pada jurnal [5]

II. METODE PENELITIAN

Pemahaman terhadap ragam bentuk suatu benda apapun sudah mulai dikenalkan sejak dini lewat kurikulum sekolah, antara lain pendekatan fisika yang sudah membahas tentang getaran pada massa sederhana[6]. Hal tersebut diperdalam lagi dengan oleh program bantu SAP2000 yang hasil analisisnya memunculkan nilai-nilai getaran alami dari elemen struktur yang dimodelkan selain luaran berupa gaya internal dan deformasi struktural secara cepat dan akurat[7]

A. Ekstraksi data matriks K dan M

Dimensi rangka beton yang dipilih pada Figure 2 untuk penelitian pada jurnal ini ialah sebagai berikut:

- Balok: 25/30 cm
- Kolom: 30/30 cm
- Tinggi Lantai: 2 x 3.5m
- Lebar Bentang: 6m
- Modulus Young's / $E_c = 23000$ Mpa

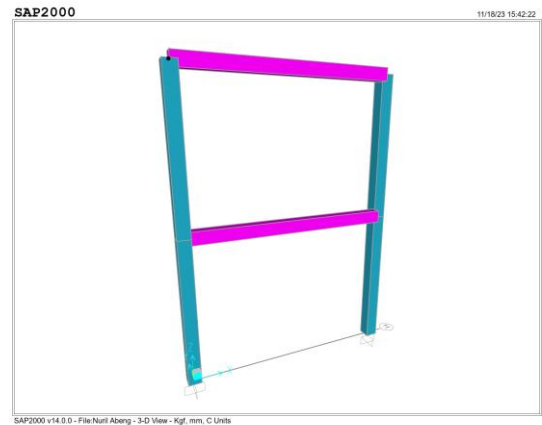


Figure 2. Tampak isometric rangka yang dihitung

B. Matriks massa

Perhitungan sumber massa yang diterapkan dalam perhitungan ialah berat sendiri dari elemen-elemen beton tersebut. Untuk hasil ekstraksi matriks kekakuan dan matriks massa dapat dilihat di lampiran. Pada lampiran matriks massa dapat dilihat merupakan jenis matriks *singular*, dimana nilai inverse nya tidak bisa diselesaikan secara tradisional, sehingga perlu menggunakan algoritma penyelesaian matriks *singular* mengikuti penelitian [8]

C. Matriks damping/redaman

Nilai damping/redaman suatu elemen akan menggunakan pendekatan yang dilakukan oleh[9] dimana secara proporsional diperbaharui disetiap proses langkah integrasi numerik nya. Secara garis besar pendekatan kurva redaman mengikuti Figure 3.

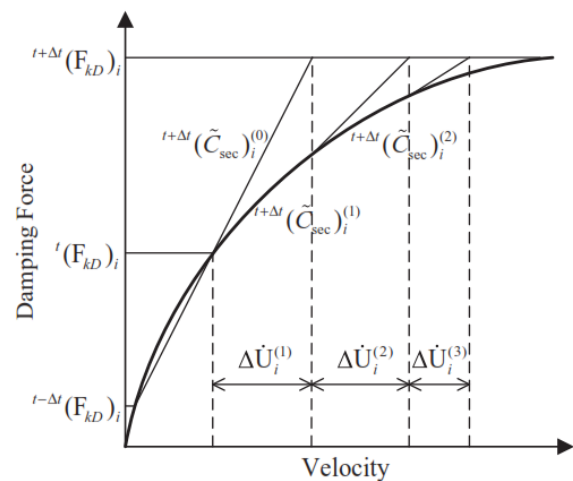


Figure 3. Kurva numerik untuk nilai redaman

D. Penulisan python script

Secara garis besar perhitungan numerik pada struktur 2 lantai tersebut akan dilakukan dalam dua tahap yaitu:

1. Memberikan kondisi batas berupa defleksi horizontal dan vertical di titik kolom, untuk membandingkan konvergensi ketiga metode numerik diatas
2. Memberi gaya luar untuk melihat pengaruh yang terjadi pada kondisi 1.

Secara lengkap algoritma python dapat merujuk pada lampiran di akhir jurnal ini.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil pada $t= 0.04s$; tanpa beban luar

Ketiga metode menunjukkan fluktuasi kurva yang serupa, dimana ujung kedua kurva defleksi tersebut mengarah pada suatu titik diam. Hal ini menunjukkan redaman sudah bekerja

Table 1. Titik tinjau pada 0.04 detik

Table Head	Hasil		
	Implicit Newmark	Explicit Chung-Hiber	Explicit CD
Displ.X	0.003292	0.003294	0.001863
Displ.Y	-0.000427	-0.000427	-0.000399

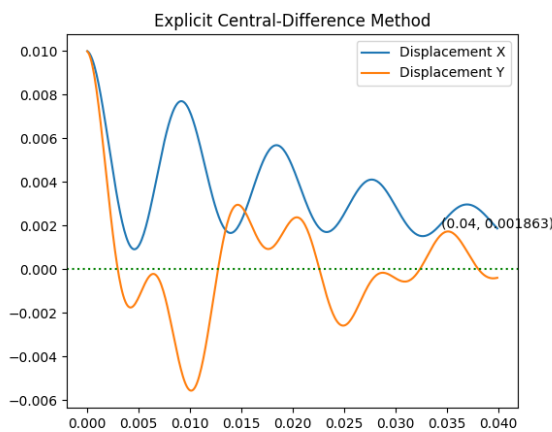


Figure 4. Explicit Central Difference

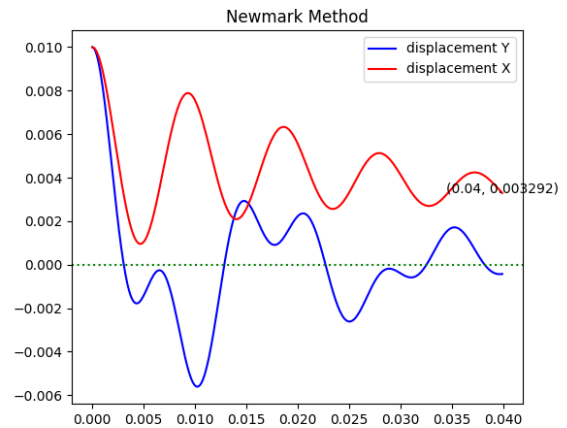


Figure 5. Implicit Newmark

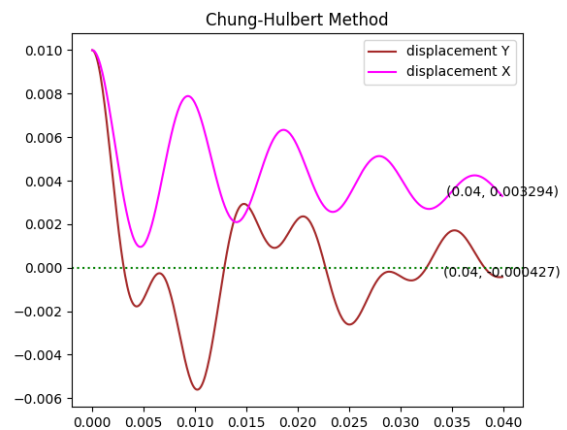


Figure 6. Explicit Chung-Hulbert

B. Hasil pada $t= 0.08s$; tanpa beban luar

Metode eksplisit *central difference* menunjukkan nilai konvergensi yang sangat tajam disbanding dua metode lain. Hal ini menunjukkan redaman lebih terbaca pada setiap proses integrasi nya.

Table 2. Titik tinjau pada 0.08 detik

Table Head	Hasil		
	Implicit Newmark	Explicit Chung-Hiber	Explicit CD
Displ.X	0.001959	0.001960	0.00075
Displ.Y	-0.000134	-0.000134	-0.00014

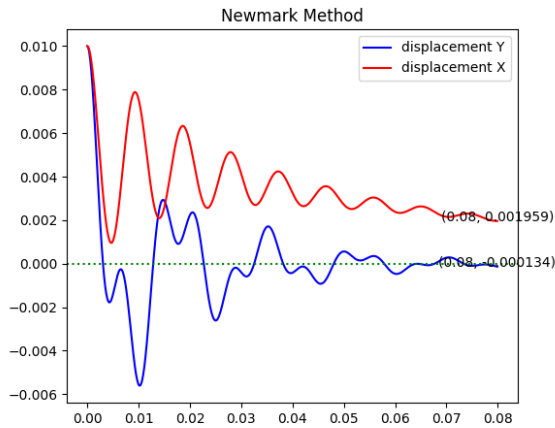


Figure 7. Implicit Newmark

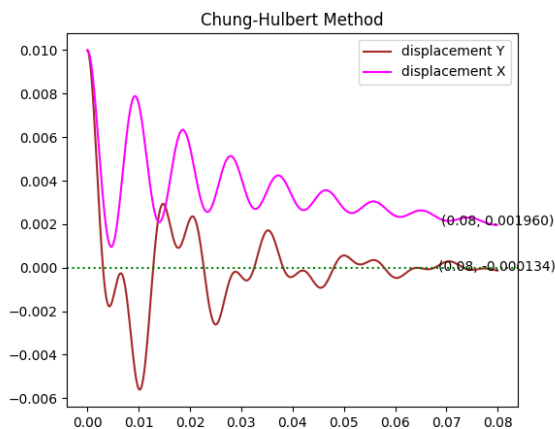


Figure 8. Explicit Chung-Hulbert

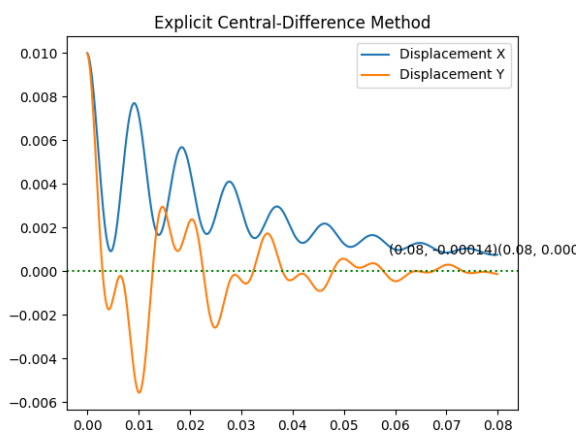


Figure 9. Explicit CD

Newmark dan Chung-Hulbert menunjukan tetap pada arah konvergen.

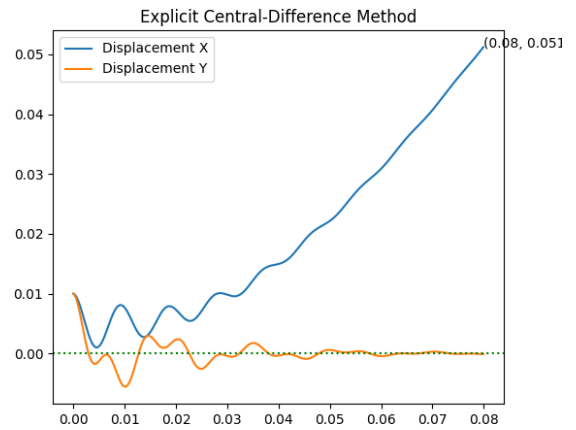


Figure 10. Explicit CD dan Beban 0.1 N

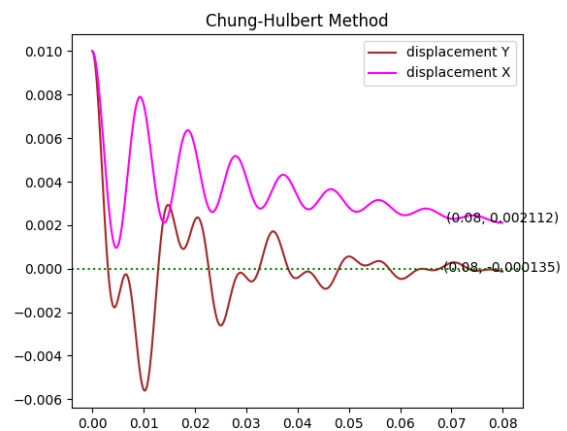


Figure 11. Explicit CH

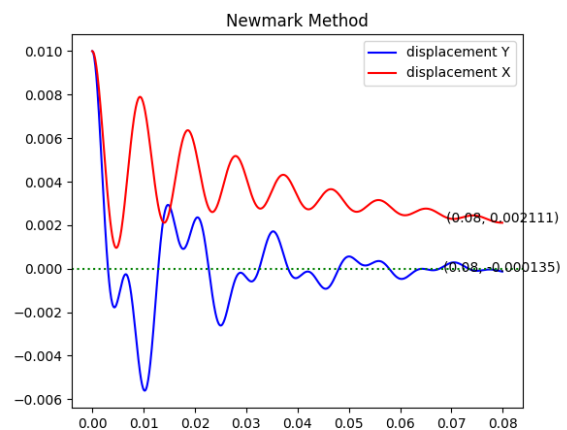


Figure 12. Implicit Newmark

C. Dengan pengaruh beban luar

Perbedaan signifikan terlihat hanya pada metode *central difference*, dimana beban 0.1 Newton sangat mempengaruhi konvergensi dari proses integrasi numeriknya. Sedangkan pada

IV. KESIMPULAN

Integrasi numerik sangat bergantung pada faktor berikut ini:

- Nilai redaman: perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap proporsi nilai redaman yang diberikan di tiap langkah integrasi
- Gaya luar: Integrasi eksplisit CD lebih cepat mencapai konvergen jika tidak dipengaruhi gaya luar.
- Kecepatan konvergensi explicit CD ialah 2.481 mm/s, sedangkan eksplisit CH dan Newmark di kisaran 2.45 mm/s

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Rostami dan R. Kamgar, "Insight to the Newmark Implicit Time Integration Method for Solving the Wave Propagation Problems," *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, vol. 46, no. 1, hlm. 679–697, Feb 2022, doi: 10.1007/s40996-021-00599-7.
- [2] V. H. Mucino, "CRASH," dalam *Encyclopedia of Vibration*, Elsevier, 2001, hlm. 302–314. doi: 10.1006/rwvb.2001.0164.
- [3] G. M. Hulbert dan J. Chung, "Explicit time integration algorithms for structural dynamics with optimal numerical dissipation," *Comput Methods Appl Mech Eng*, vol. 137, no. 2, hlm. 175–188, Okt 1996, doi: 10.1016/S0045-7825(96)01036-5.
- [4] T. Y. Lee, K. J. Chung, dan H. Chang, "A new implicit dynamic finite element analysis procedure with damping included," *Eng Struct*, vol. 147, hlm. 530–544, Sep 2017, doi: 10.1016/j.engstruct.2017.06.006.
- [5] J. Kortiš dan L. Daniel, "Application of the Newmark Numerical Method with Contact Algorithm to the Solution of the Vehicle-bridge Interaction," *Procedia Eng*, vol. 153, hlm. 298–303, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.119.
- [6] N. A. Azizah, S. Sukarmin, dan M. Masykuri, "Analysis of teacher's ability in planning and implementing learning on vibration, wave and sound submaterials," *J Phys Conf Ser*, vol. 1806, no. 1, hlm. 012132, Mar 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1806/1/012132.
- [7] S. A. R. S. Hasibuan dan A. A. Qolby, "Solution of Beam Structure Analysis Using SAP2000," *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*, vol. 11, no. 1, Jan 2023, doi: 10.55524/ijirest.2023.11.1.13.
- [8] G. Golub dan W. Kahan, "Calculating the Singular Values and Pseudo-Inverse of a Matrix," *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics Series B Numerical Analysis*, vol. 2, no. 2, hlm. 205–224, Jan 1965, doi: 10.1137/0702016.
- [9] S. Pradhan dan S. V. Modak, "A two-stage approach to updating of mass, stiffness and damping matrices," *Int J Mech Sci*, vol. 140, hlm. 133–150, Mei 2018, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2018.02.033.