

Material Point Method Draft Skripsi

19 Desember 2020



(2017410211)

Universitas Katolik Parahyangan
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil
2021

Daftar Isi

1	Pendahuluan	4
1.1	Latar Belakang	4
1.2	Identifikasi Masalah	4
1.3	Rumusan Masalah	4
1.4	Tujuan Penelitian	4
2	Dasar Teori	5
2.1	Analisis Numerik	5
2.2	Metode Komputasi	5
2.2.1	Mesh-based Approaches	5
2.2.2	Mesh-free Approaches	5
2.3	Limit Equilibrium Method (<i>Empirical Method</i>)	5
2.4	Finite Element Method	5
2.5	Material Point Method	5
2.6	CB-Geo - High Performance Material Point Method[2]	5
2.6.1	About	5
2.6.2	MPM-Benchmarks ¹	5
2.6.3	Pre-processing	9
2.6.4	Postprocessing	9
2.6.5	Material	9
2.7	Model Konstitutif Material	9
2.7.1	Mohr-Colomn	9
2.7.2	Bingham	9
2.7.3	NorSand	9
2.8	Efek Peredaman dan Elastisitas pada Material	9
2.8.1	Frekuensi Natural dan Amplitudo	10
2.8.2	Koefisien Peredaman dan Ratio Peredaman	10
3	Metodologi Penelitian	11
4	Data dan Analisa	12
5	Kesimpulan[1]	13
	Bibliografi	14

¹<https://github.com/cb-geo/mpm-benchmarks.git>

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

1.2 Identifikasi Masalah

1.3 Rumusah Masalah

1.4 Tujuan Penelitian

2 Dasar Teori

2.1 Analisis Numerik

2.2 Metode Komputasi

2.2.1 Mesh-based Approaches

2.2.2 Mesh-free Approaches

2.3 Limit Equilibrium Method (*Empirical Method*)

2.4 Finite Element Method

2.5 Material Point Method

2.6 CB-Geo - High Performance Material Point Method[2]

2.6.1 About

2.6.2 MPM-Benchmarks¹

MPM-Benchmarks adalah serangkat model uji untuk memeriksa konsistensi dari mesin dalam mengkalkulasikan dinamika yang terjadi pada model. Ada dua macam pengujian yang dapat yang dilakukan yaitu pengujian model 2D dan pengujian model 3D. Dalam repositori CB-Geo, terdapat 5 model uji 2D yaitu:

- Uniaxial stress test
- Hydrostatic column
- Sliding block on inclined boundary
- Uniaxial traction

¹<https://github.com/cb-geo/mpm-benchmarks.git>

- Plate with hole (isoparametric)

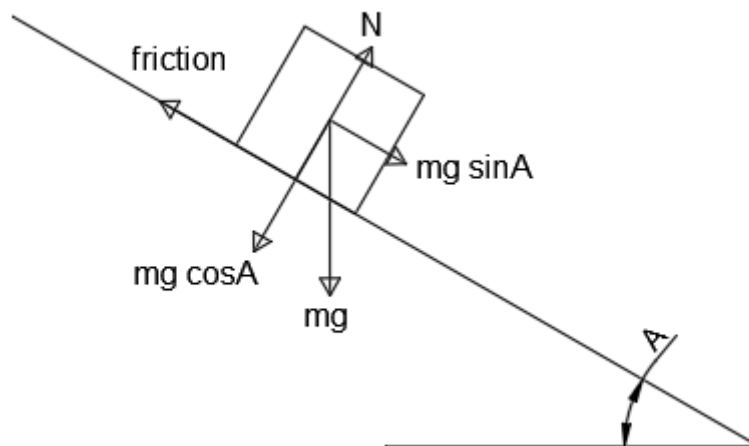
Sedangkan untuk pengujian 3D terdapat 4 model uji, yaitu:

- Uniaxial stress test
- Sliding block on inclined boundary
- Hydrostatic column
- Dam break

Dalam pembahasan MPM Benchmark ini hanya dilakukan 4 buah simulasi uji coba dengan 3 buah simulasi 2D dan 1 buah simulasi 3D. Simulasi 2D yang diambil adalah sliding block inclined boundary, hydrostatic column, dan plate with holes sedangkan untuk 3D simulasi yang dilakukan adalah simulasi dam break. Selanjutnya pada masing - masing simulasi akan dibuat beberapa buah kasus untuk dapat mengenal karakteristik analisis yang disediakan oleh CB-Geo secara lebih mendalam.

Sliding Block Inclined Boundary

Dalam model uji ini, disimulasikan sebuah benda uji berbentuk persegi panjang dengan permukaan panjangnya menempel pada suatu bidang miring yang ditentukan oleh kondisi batas. Gaya aktif yang berpengaruh pada benda ini hanyalah gravitasi. Model kemudian disimulasikan bergerak sesuai dengan *initial force*-nya dan dibiarkan jatuh mengikuti bidang.



Gambar 2.6.1: Sliding BLock Inclined Boundary - Freebody Diagram

Untuk memverifikasi hasil analisis dari MPM, maka dilakukan suatu perhitungan analitikal sebagai kontrol. Perhitungan ini didasarkan pada distribusi gaya yang

bekerja pada massa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.1.

$$\begin{aligned}
 N &= m \cdot g \cdot \cos A \\
 f &= N \times \mu \\
 F &= m \cdot g \cdot \sin A - f \\
 m \cdot a &= m \cdot g \cdot \sin A - m \cdot g \cdot \cos A \times \mu \\
 a &= g \cdot (\sin A - \cos A \times \mu)
 \end{aligned} \tag{2.6.1}$$

Mensubstitusikan persamaan 2.6.1 kedalam persamaan kecepatan maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V &= a \cdot t \\
 V &= g \cdot (\sin A - \cos A \times \mu) \times t \\
 V &= g \cdot (\tan A \cdot \cos A - \cos A \times \mu) \times t \\
 V &= g \cdot \cos A \cdot (\tan A - \mu) \times t
 \end{aligned} \tag{2.6.2}$$

Bila diketahui kemiringan bidang boundary adalah 30 deg, percepatan gravitasi $9,8 \text{ m/s}^2$, dan koefisien gesk maka, kita dapat memperoleh besar kecepatan pada setiap perubahan waktu. Untuk pengujian, dilakukan perhitungan untuk 3 buah kasus dengan nilai koefisien gesek yang berbeda - beda.

Method	Time	$\mu = 0.1$	$\mu = 0.3$	$\mu = 0.6$
MPM	0,2 s			
	0,4 s			
Analitikal	0,2 s			
	0,4 s			

Tabel 2.1: Perbandingan Hasil Perhitungan MPM dan Analitikal

Dari hasil perhitungan tersebut, dapat dilihat bahwa pada perhitungan kecepatan menggunakan metode material point, hasilnya sangat konsisten. Selain menghasilkan perhitungan kepecepatan, MPM juga menghitung tegangan dan regangan yang terjadi pada setiap titik partikel material. Berikut beberapa gambar grafik dan data yang dikeluarkan oleh MPM dan telah diolah dalam program Paraview ²

Hydrostatic Column

Model ini mensimulasikan suatu massa benda yang diletakan didalam suatu wadah penahan secara lateral pada dua sisi dan secara vertikal pada sisi bawah massa. Lalu, masa diberikan gaya gravitasi agar mengalami tegangan hidrostatik. Dalam benchmark yang disediakan CB-Geo, material benda yang digunakan adalah Fluida

²paraview.org

Newtonian yang memiliki nilai Modulus Elastisitas $10^6 \frac{N}{m^2}$ dan Ratio Poisson 0. Model ini digunakan sebagai kontrol terhadap beberapa uji yang kemudian dilakukan pada material yang berbeda yaitu, tanah granular tipikal dan tanah kohesif tipikal. Terdapat dua macam mesh yang disediakan, segitiga dan segiempat. Akan tetapi, dalam uji coba awal kali ini yang digunakan hanyalah mesh segi empat.

Kasus 1. Newtonian Fluids

Kasus 2. Linear Elastic ($E = 1 \text{ MPa}$)

Kasus 3. Linear Super-Elastic ($E = 1 \text{ KPa}$)

Kasus 4. Typical Granular Soils

Kasus 5. Typical Cohesive Soils

Hasil dari ketiga kasus tersebut menunjukkan bahwa pada analisis yang dilakukan oleh CB-Geo MPM untuk kasus kolom hidrostatik, terpadat efek osilasi yang sangat kecil akibat perubahan dari *initial condition* menjadi *applied condition* yang terjadi pada step pertama. Fenomena ini bisa terjadi karena adanya efek peredaman dan elastisitas yang dibahas di subbab 2.8

Plate With Holes

Model ini mensimulasikan suatu pelat dengan lebar 5 meter dan panjang 8 meter yang memiliki lubang dengan diameter 0,5 meter yang mengalami gaya tarik aksial tersebar merata searah sumbu x dengan besar $\sigma_x = 100 \text{ Pa}$. Karena geometri benda yang simetris, maka model hanya menghitung seperempat luasan dari bidang sesuai dengan potongan simetrinya.

Dam Break

Model ini mensimulasikan sebuah kolom material fluida newtonian 3 dimensi yang dibiarkan bebas hanya pada salah satu sisinya dan sisi atasnya. Kemudian, kolom dibiarkan runtuh akibat gaya gravitasi sehingga pergerakannya dapat visualisasikan.

2.6.3 Pre-processing

Mesh and Particle Generation

Boundary Condition and

2.6.4 Postprocessing

VTK ³

HDF5 ⁴

2.6.5 Material

Bingham

Newtonian

MohrColoumb

Modified Cam-Clay

Norsand

2.7 Model Konstitutif Material

2.7.1 Mohr-Colomn

2.7.2 Bingham

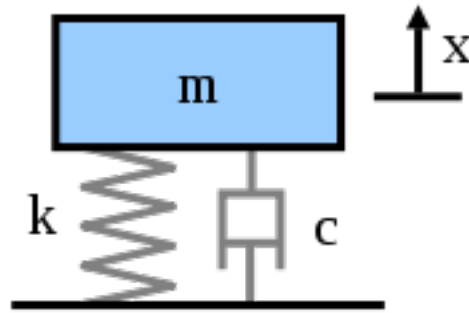
2.7.3 NorSand

2.8 Efek Peredaman dan Elastisitas pada Material

Pada simulasi Hydrostatic Column (2.6.2), ditemukan bahwa perhitungan menggunakan metode analisis material point mengintroduksi suatu osilasi tepat setelah simulasi dimulai. Fenomena ini muncul akibat perubahan kondisi material dari tidak terbeban menjadi terbeban. Karena pada dasarnya seluruh material memiliki suatu nilai elastisitas tertentu maka fenomena ini dapat kita ilustrasikan sebagai sistem pegas vertikal dengan peredam seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8.1.

³The Vizualization Toolkit (vtk.org)

⁴Hierarchical Data Format 5th version (<https://portal.hdfgroup.org/display/HDF5/HDF5>)



Gambar 2.8.1: Sistem pegas vertikal dengan regangan

Bedasarkan Hukum Hooke maka persamaan untuk gaya pegas adalah koefisien pegas dikali dengan perubahan panjang pegas.

$$F_{pegas} = k \cdot x \quad (2.8.1)$$

Jika kemudian diimplementasikan Hukum Newton kedalam sistem maka dapat dibuat persamaan aksi reaksi dengan besar gaya pegas sama dengan beban benda.

$$F_{pegas} = F_{beban} \quad (2.8.2)$$

$$k \cdot x = F_{beban}$$

$$k = \frac{F_{beban}}{x}$$

$$\frac{k}{A} = \frac{\frac{F_{beban}}{A}}{x} \quad (2.8.3)$$

$$\frac{k}{A} = \frac{\sigma_{beban}}{\epsilon}$$

$$\frac{k}{A} = E \quad (2.8.4)$$

Dengan menurunkan persamaan aksi reaksi dan membagi kedua ruas dengan luas maka dapat dilihat bahwa sebenarnya koefisien pegas hanyalah Modulus Elastisitas (Modulus Young) dari material benda. Maka, jika demikian seluruh perhitungan gerak harmonik sederhana kita dapat implementasikan ke dalam sistem dan menghitung berbagai macam properti lainnya seperti *natural frequency* dan amplitudo dari sistem. Menariknya, pada metode material point kaidah yang digunakan adalah hukum konservasi masa, dengan demikian kehilangan energi sebenarnya dapat dilihat dan digunakan untuk menghitung properti lainnya seperti besar rasio peredaman akibat gravitasi, kehilangan energi, dan imperfeksi perhitungan.

2.8.1 Frekuensi Natural dan Amplitudo

2.8.2 Koefisien Peredaman dan Ratio Peredaman

3 Metodologi Penelitian

4 Data dan Analisa

5 Kesimpulan[1]

Bibliografi

- [1] Rudolph Bonaparte, Robert C. Bachus, and Beth A. Gross. Geotechnical Stability of Waste Fills: Lessons Learned and Continuing Challenges. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 146(11):05020010, November 2020.
- [2] Krishna Kumar, Jeffrey Salmond, Shyamini Kularathna, Christopher Wilkes, Ezra Tjung, Giovanna Biscontin, and Kenichi Soga. Scalable and modular material point method for large-scale simulations. *arXiv:1909.13380 [physics]*, September 2019. arXiv: 1909.13380.