

Pengendalian Banjir dengan Sudetan pada Sungai Marmoyo Kabupaten Jombang

Bagas Aryaseta¹

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia
(bagas.aryaseta.ts@upnjatim.ac.id;))

ABSTRAK

Pada era serba digital dengan kemampuan komputer yang sangat mumpuni, perkembangan ilmu pengetahuan tentang pemodelan berkembang sangat pesat. Salah satu metode pemodelan yang sangat populer di bidang teknik adalah Finite Element Method (FEM). Di bidang teknik sipil metode FEM sudah digunakan dalam banyak hal mulai dari bidang pemodelan struktur sampai dengan pemodelan perilaku tanah dan fluida. Dalam penelitian ini, dilakukan pemodelan sederhana sebuah pipa drainase. Hasilnya menunjukkan metode FEM dapat dengan baik memodelkan perilaku rembesan air melalui material tanah menuju pipa drainase. Dari studi ini didapatkan nilai tekanan air pori dan total head di masing-masing bagian tanah. Laju aliran air yang didapatkan sebesar $-0.000607 \text{ m}^3/\text{s}$.

Kata Kunci : *Finite Element Method*, Mekanika Fluida, Pemodelan

ABSTRACT

In this all-digital era with very capable computer specification, the development of modeling technology is growing very rapidly. One of the modeling methods that are very popular in the engineering field is the Finite Element Method (FEM). In civil engineering, the FEM method has been used in many ways, from structural modeling to soil and fluid behavior modeling. In this research, a simple modeling of a drainage pipe was carried out. The results show that the FEM method can properly model the behavior of water seepage through the soil material to the drainage pipe. From this study, the values of pore water pressure and total head were obtained in each part of the soil. The water flow rate obtained is $-0.000607 \text{ m}^3/\text{s}$.

Keywords : Finite Element Method, Fluid Mechanics, Modeling

I. PENDAHULUAN

Metode elemen hingga atau dikenal dengan *Finite Element Method* (FEM) adalah salah satu metode numerik yang paling banyak digunakan didalam dunia teknik. Secara sederhana metode ini memecahkan masalah dengan cara membagi masalah besar menjadi bagian yang lebih kecil (persamaan diferensial parsial) dan lebih sederhana yang disebut dengan elemen hingga. Meski hanya sebuah pendekatan, metode ini dikenal cukup ampuh untuk menyelesaikan struktur kompleks dalam analisis mekanika padat [1]. Beberapa permasalahan di bidang Geoteknik dapat diselesaikan dengan menggunakan pemodelan numerik FEM. Sebagai contoh misalnya permasalahan yang berkaitan dengan mekanika tanah seperti penggalian, dinding penahan, tanggul, rembesan, dan lain-lain dapat diselesaikan dengan menggunakan pendekatan numerik model FEM.

Beberapa publikasi terakhir membandingkan hasil penyelesaian metode FEM dengan hasil lapangan secara langsung. Hasilnya menunjukkan bahwa metode ini dapat dengan baik menyelesaikan permasalahan-permasalahan dengan akurasi yang cukup tinggi [2] [3] [4] [5] [6]. Dalam penelitian ini, dilakukan pemodelan sederhana FEM sebuah pipa drainase.

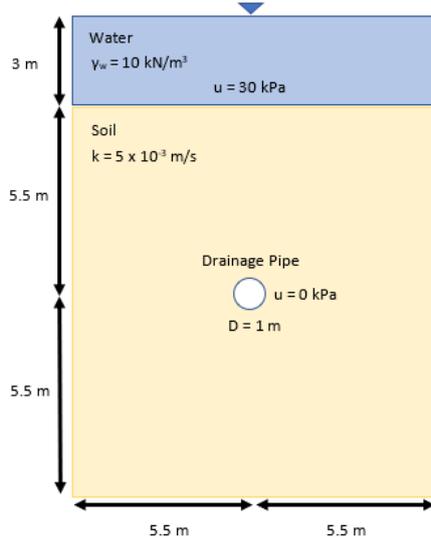
II. METODE

Pemodelan FEM pipa drainase sederhana dilakukan dengan menggunakan software ABAQUS. Beberapa parameter yang dipertimbangkan dalam model ini adalah tekanan air pori (pwp), elevasi head (he), dan permeabilitas tanah (k). Hasil yang diperoleh dari ABAQUS telah diverifikasi terhadap perhitungan

manual. Perhitungan akhir mencakup perhitungan tinggi total (*total head*) dan juga laju aliran air (q).

2.1 Latar Belakang

Gambar 1 di bawah ini menunjukkan pipa drainase horizontal panjang yang terletak di bawah permukaan. Tanah memiliki permeabilitas $k = 5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$, densitas $\rho = 0.8 \text{ kg/m}^3$, dan rasio rongga $e = 1$. Tebal tanah 11 m dan ditopang oleh lapisan kedap air. Pipa drainase memiliki diameter 1 m. Air dengan ketinggian 3 meter dan tekanan 30 kPa mengalir dari atas permukaan tanah.



Gambar 1. Model drainase pipa horizontal sederhana

2.1 Diagram Alir Penelitian

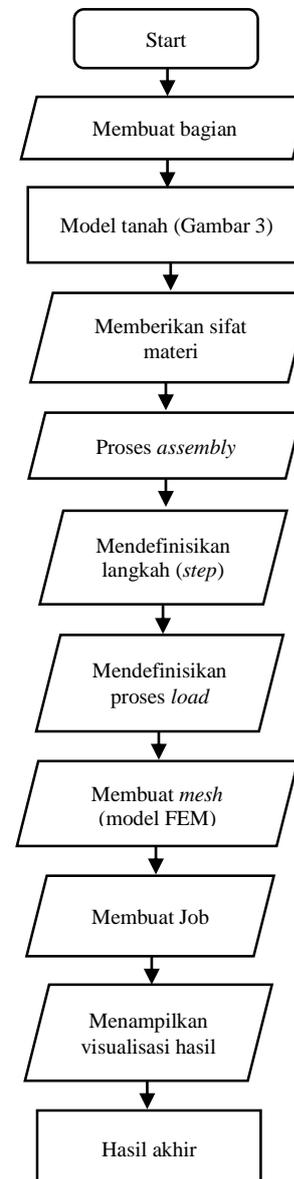
Module: Part

Langkah pertama adalah pembuatan model tanah (*module part*). Di dalam modul ini dilakukan input model sederhana tanah meliputi modeling space (2D planar), tipe struktur (*Deformable*), dan base feature (*Shell*). Setelah itu, dilakukan penggambaran model tanah seperti pada model awal. Hasilnya seperti pada gambar 3 dibawah.

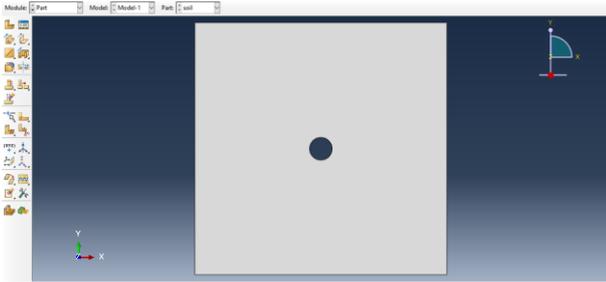
Module: Property

Langkah kedua adalah pemberian sifat-sifat atau *property* material meliputi densitas, elastisitas dan permeabilitas. Untuk *property* densitas, digunakan distribusi *uniform* dengan *mass density* 0.8. Permeabilitas bertipe *isotropic* dengan *specific weight of liquid* 10, bilangan $k 5 \times 10^{-5}$ dan *void ratio* 1.

Langkah selanjutnya adalah membuat bagian. Langkah ini bertujuan untuk menentukan kategori dan jenis bahan. Dalam model tanah ini, dipilih kategori *solid* dengan tipe *homogeneous*.



Gambar 2. Diagram Alir



Gambar 3. Model drainase sederhana

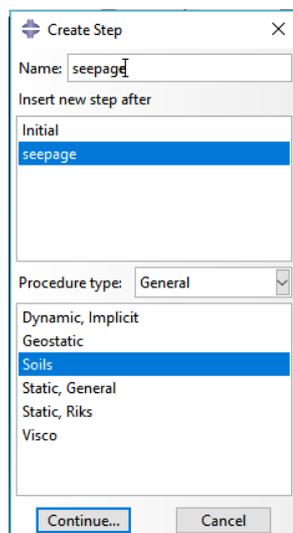
Module: Assembly

Setiap bagian yang telah dibuat masih berorientasi pada system koordinat masing-masing dan masih independent dengan bagian lainnya di dalam model. Oleh karena itu, digunakan modul *assembly* guna untuk mendefinisikan model geometri yang telah selesai dibuat.

Module: Step

Proses selanjutnya adalah mendefinisikan urutan proses (*sequence*) drainase di dalam modul step. Didalam system drainase sederhana, terdiri 2 langkah proses:

- Langkah awal (*initial step*): menerapkan kondisi batas ke dalam model
- Langkah umum (proses *seepage*): pada langkah ini diawali dengan adanya tekanan air dari atas tanah. Untuk tipe prosedurnya: *General, Soils*



Gambar 4. Penentuan proses drainase

Langkah awal (*initial step*) akan otomatis dilakukan oleh ABAQUS. Proses yang dilakukan secara mandiri hanyalah proses rembesan (*seepage*). Proses ini merupakan proses Ketika tekanan air diterapkan dari atas permukaan tanah.

Tahap selanjutnya adalah melakukan permintaan data keluaran. Software ABAQUS akan hanya menghasilkan luaran sesuai dengan permintaan pengguna. Di dalam penelitian ini, hasil yang diinginkan adalah tekanan air pori (pwp), total head (h) dan laju aliran air (q). Oleh karena itu, variable keluaran yang dibutuhkan adalah tekanan air pori (POR), elevasi head h_e (COORD), dan *reaction volume flux* (RVF).

Module: Load

Pada modul *load*, terdapat 3 jenis langkah yang akan dilakan. Langkah-langkah tersebut antara lain *predefined fields*, *boundary conditions*, dan *load*. Pada *predefined fields*, dipilih nilai *void ratio* sebesar 1. Untuk *boundary condition*, terdapat 3 kondisi. Pertama, ketika air diatas tanah, kondisi batas memiliki tipe tekanan pori 30 kPa. Kedua, terletak didalam lubang pipa dengan tekanan 0 kPa. Ketiga, kondisi batas dengan tipe *displacement/rotation* pada seluruh bagian tanah. Karena tidak ada pergerakan pada sumbu x (U1) dan sumbu y (U2), maka nilainya diisi dengan 0. Untuk *load*, dipilih tipe *gravity* dengan nilai 10 m/s^2 pada sumbu y di seluruh bagian tanah.

Module: Mesh

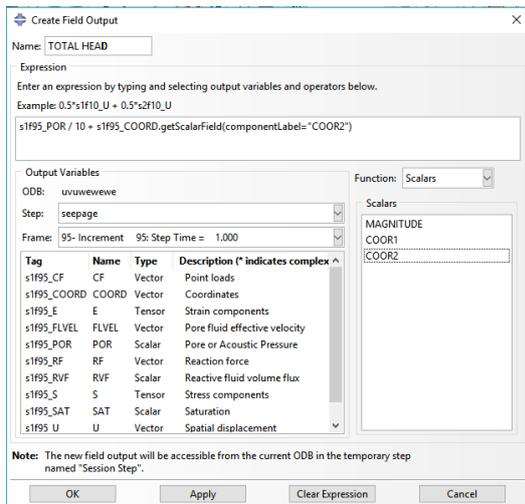
Langkah ini dilakukan untuk menghasilkan *finite element mesh*. Terdapat beberapa teknik *meshing* dalam ABAQUS. Teknik ini meliputi *element shape* dan *element type*. Pertama, dilakukan *mesh controls* untuk memeriksa teknik yang akan digunakan oleh ABAQUS untuk menggabungkan model dan *element shape* yang akan dihasilkan. Dalam hal ini dipilih bentuk elemen *Quad*. Kemudian, dipilih *element type* untuk menetapkan tipe elemen (*Pore Fluid/Stress Family*) yang digunakan kedalam model. Terakhir dilakukan proses *seed* dan *mesh* model dengan variabel *default*.

Module: Job

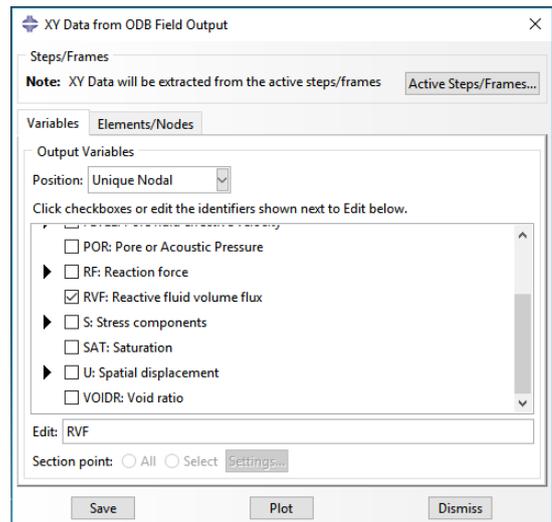
Setelah mengkonfigurasi semua langkah. Langkah selanjutnya adalah modul Job untuk *running* model yang telah dibuat.

Module: Visualization

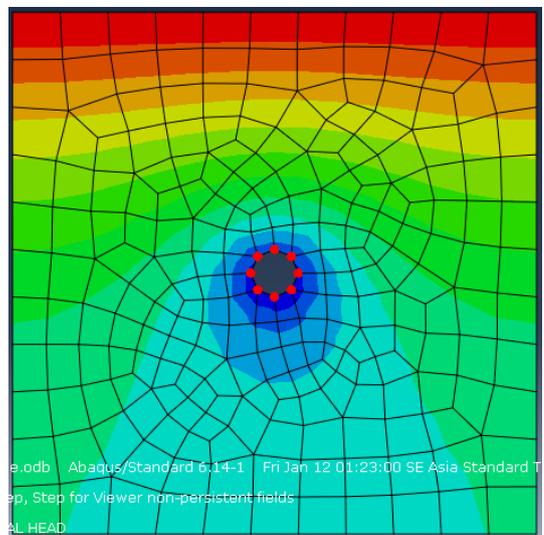
Modul ini menunjukkan hasil yang telah di-running oleh software. Selanjutnya, dilakukan beberapa langkah-langkah perhitungan. Untuk perhitungan *total head*, diperlukan perhitungan dengan menggunakan modul *create field output* dan memasukkan ekspresi rumusnya. Untuk perhitungan laju aliran air, diperlukan data XY dari ODB *field output*. Untuk variable outputnya, dipilih RVF. Kemudian didalam *element/nodes*, dipilih titik-titik aliran air dari tanah kedalam pipa. Kemudian data ditransfer ke dalam *Microsoft Excel* untuk dilakukan kalulasi.



Gambar 5. Langkah untuk perhitungan total head



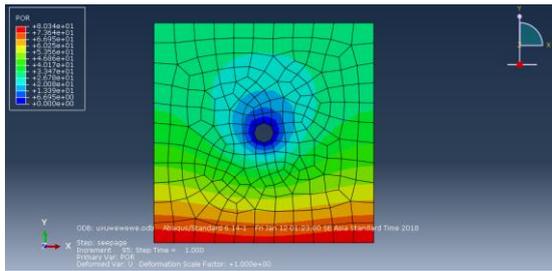
Gambar 6. Langkah untuk mengekstrak nilai RVF



Gambar 7. Penentuan titik aliran air dari tanah kedalam pipa

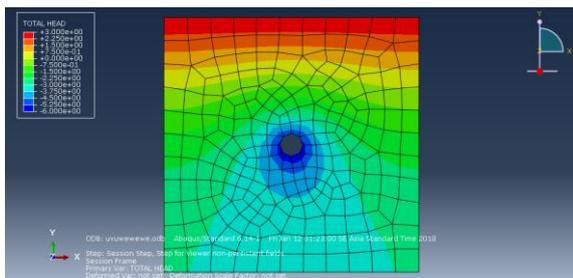
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan drainase pipa sederhana menggunakan ABAQUS menunjukkan tekanan air pori (POR), *total head* (h), dan laju aliran air (q). Gambar di bawah ini menunjukkan sebaran tekanan air pori (POR) dalam tanah. Nilai tekanan air pori (POR) dengan elevasi pada sumbu y (COORD) akan digunakan untuk menghitung *total head* (h).



Gambar 8. Tekanan air pori (pore water pressure)

Hasil selanjutnya adalah *total head* (h). Total head (h) adalah nilai yang merepresentasikan energi yang dimiliki oleh fluida pada titik tersebut.



Gambar 9. Total head (h)

Sebagai koreksi, jika dibandingkan dengan nilai perhitungan manual menggunakan persamaan Bernoulli di bawah ini untuk posisi atas tanah (warna merah gambar 9), hasil yang ditunjukkan oleh pemodelan ABAQUS memiliki nilai yang sama.

$$h = h_p + h_v + h_e = \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} + z = \frac{30}{10} + 0 + 0 = 3 \text{ m}$$

Hasil terakhir adalah nilai laju aliran air atau debit air. Laju aliran air adalah volume fluida yang mengalir per satuan waktu. Perhitungannya dilakukan dengan mengeksport nilai RVF ke Microsoft Excel. Perhitungannya dilakukan dengan menjumlahkan semua nilai RVF. Didapatkan laju aliran air sebesar 0.000607 m³/s.

0,97341	-7,987E-05	0,97341	-6,8E-05	0,97341	-7,9E-05	0,97341	-7,1E-4
0,98399	-8,074E-05	0,98399	-6,9E-05	0,98399	-8E-05	0,98399	-7,2E-4
0,99457	-8,161E-05	0,99457	-6,9E-05	0,99457	-8E-05	0,99457	-7,2E-4
1	-8,205E-05	1	-7E-05	1	-8,1E-05	1	-7,3E-4
Flow rate:	-0,000607						

Gambar 10. Perhitungan Microsoft Excel

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Pemodelan rembesan air pada tanah dengan menggunakan studi kasus pipa drainase sederhana menunjukkan hasil yang baik. Hal ini dibuktikan dengan hasil yang sesuai dengan perhitungan manual. Untuk kedepannya pemodelan dapat dilakukan dengan menggunakan data yang lebih kompleks dengan memodelkan tanah sesuai dengan parameter aslinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur atas rahmat dan karunia Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian ini. Penulis berterima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam proses pengerjaan penelitian ini. Apabila terdapat saran dan kritik yang membangun terkait dengan penelitian ini, akan senantiasa penulis terima. Semoga jurnal ini dapat bermanfaat bagi umum, civitas akademika dan perkembangan ilmu pengetahuan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Sabat and C. K. Kundu, "History of Finite Element Method: A Review," *Recent Developments in Sustainable Infrastructure*, vol. 75, pp. 395-404, 2020.
- [2] I. Arshad, "Finite Element Analysis of Seepage through an Earthen Dam by using Geo-Slope (SEEP/W) software," *International Journal of Research*, vol. 1, no. 8, 2014.
- [3] "Flow Nets For Homogeneous Isotropic Systems," [Online]. Available: http://www2.humboldt.edu/geology/courses/geology556/556_handouts/constructing_flow_nets.pdf.

- [4] S. Helwany, *Applied Soil Mechanics with ABAQUS Applications*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [5] D. F. Tian, H. Zheng and Z. F. Lie, "A 2D integrated FEM model for surface water-groundwater flow of slopes under rainfall condition," *Landslides*, vol. 14, pp. 677-593, 2017.
- [6] R. Y. Wang and Y. L. Zhu, "Finite element analysis of seepage of earth-rock dams in dry and rainy seasons," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019.
- [7] Penazzi, "A tutorial: Creating and analyzing a simple model," [Online]. Available: <http://perso.mines-albi.fr/~penazzi/emboutissage/getting-start-cae.pdf>.

Halaman ini sengaja dikosongkan