

Model Salinitas Dari Air Tanah Menggunakan Metode Elemen Hingga

Arnita Irianti^{1,a)}, Acep Purqon^{2,b)}

¹Program Studi Sains Komputasi,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

² Fisika Bumi dan Sistem Kompleks,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

Abstrak

Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga (FEM) untuk menghitung perubahan salinitas air tanah berdasarkan nilai transmisivitas pada setiap lapisan air tanah. Perubahan Salinitas juga menggambarkan penurunan kuantitas dan kualitas air tanah akibat dari pembangunan yang merusak lingkungan terutama di daerah pesisir pantai. Pemodelan dan simulasi salinitas air tanah dengan FEM diperoleh head gradient terhadap posisi di titik domain masalah, selanjutnya menghitung perubahan transmisivitasnya. Sensivitas mesh dilakukan dengan merubah edge dari elemen untuk memperoleh efektifitas dan fleksibilitas dari matriks FEM dua dimensi (2D). Sehingga edge terkecil yang digunakan sebesar 0.1 dan yang terbesar 1 dengan jumlah elemen 14694 dan 157. Transmisivitas dihitung berdasarkan jenis lapisan air tanah pada daerah penelitian, sehingga diperoleh perubahan salinitas sebesar 1.6 % dari salinitas awal

Kata-kata kunci: salinitas air tanah, transmisivitas lapisan air tanah, metode elemen hingga, edge elemen

PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan, kebutuhan air untuk irigasi, dan pertumbuhan penduduk yang terus meningkat merupakan faktor yang menyebabkan terjadinya peningkatan kebutuhan air bersih, yang sebagian besar dipasok dari air tanah [1]. Adanya penurunan kualitas dan kuantitas air tanah akibat pencemaran yang dihasilkan, terutama daerah pesisir pantai sering terjadi intrusi air laut merupakan salah satu sumber pencemaran terhadap air tanah yang mengakibatkan kandungan air garam dalam air tanah meningkat [2]. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu penelitian untuk menyelesaikan masalah tersebut. Usaha dalam bidang eksperimen yang dilakukan membutuhkan biaya yang besar, waktu yang lama dan sangat sulit untuk dilakukan [4]. Salah satunya dengan memodelkan dan mensimulasikan sebagai gambaran solusi masalah tersebut dengan menggunakan metode elemen hingga (FEM).

Pemilihan bentuk elemen sesuai dengan filosofi metode elemen hingga yaitu menyederhanakan bentuk rumit daerah yang sedang ditinjau sehingga permasalahan dapat dipecahkan. Proses yang terlibat di dalam metode elemen hingga adalah interpolasi, integrasi dan fungsi pembobotan [3]. Adanya metode beda hingga (Finite Difference Method / FDM) yang merupakan salah satu solusi dalam penyelesaian masalah ini, tetapi untuk masalah dimana batas-batas yang tidak teratur atau media penelitian yang heterogen dan anisotropik, dan pemecahan masalah digabungkan, seperti transportasi kontaminan penggunaan dan pergerakan *water table*, FEM lebih fleksibel dalam kondisi tersebut [4]. FEM merupakan metode pendekatan guna menyelesaikan nilai batas yang tidak banyak membutuhkan memori [5].

Penelitian mengkaji model distribusi konsentrasi air tanah sekitar pesisir pantai dengan menghitung tingkat salinitasnya, sehingga kajian dari intrusi air laut memberikan gambaran tentang kondisi akuifer, dinamika potensi air tanah dan penyebaran intrusi air laut. Secara prinsip air tanah dari darat mengalir ke laut

melalui media akuifer, sedangkan air laut juga meresap ke darat karena tekanan hidrostatika air laut. Selain itu, bagaimana menyelesaikan model distribusi konsentrasi salinitas air tanah dengan parameter yang tidak konstan secara numerik dan persamaan adveksi serta dispersi dalam dua dimensi.

Pemodelan air tanah digambarkan pada persamaan diferensial parsial dalam dua dimensi dengan mengasumsikan bahwa aliran air di tanah tersebut dalam keadaan tunak (*steady state flow*), dengan lapisan yang homogen dan isotropik. Hal ini dapat di modelkan dengan menggunakan persamaan Laplace dan persamaan Poisson. Penelitian ini mengasumsikan salinitas awal terdistribusi merata dan dipengaruhi oleh fluks massa dan infiltrasi curah hujan sehingga mengabaikan aliran lain yang masuk ke dalam domain penelitian.

METODE ELEMEN HINGGA

Penggambaran Model Air Tanah

Air tanah dimodelkan berdasarkan gabungan persamaan Darcy, kontinuitas untuk aliran tunak, dan persamaan Laplace sehingga diperoleh persamaan (1) dan persamaan (2),

$$\Delta^2 h = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(T \frac{\partial h}{\partial z} \right) + R = 0 \tag{2}$$

Aproksimasi dari *head* di setiap element adalah penjumlahan dari fungsi basis yang telah dikalikan dengan *head* air tanah setiap node, sehingga diperoleh persamaan (3),

$$\hat{h} = \varepsilon_i h_i + \varepsilon_j h_j + \varepsilon_k h_k \tag{3}$$

Penggunaan persamaan (3) dalam 2 dimensi dan penerapan metode Residual - Galerkin sehingga diperoleh persamaan (4) dan (5):

$$\iint_D \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) N_L dx dy = - \iint_D \left(\frac{\partial \hat{h}}{\partial x} \frac{\partial N_L}{\partial x} + \frac{\partial \hat{h}}{\partial y} \frac{\partial N_L}{\partial y} \right) dx dy + \int_{\Gamma} \left(\frac{\partial \hat{h}}{\partial x} n_x + \frac{\partial \hat{h}}{\partial y} n_y \right) N_L d\sigma \tag{4}$$

$$\iint_D \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) N_L dx dy = \iint_D \frac{R}{T} N_L(x, y) dx dy + \int_{\Gamma} \left(\frac{\partial \hat{h}}{\partial x} n_x + \frac{\partial \hat{h}}{\partial y} n_y \right) N_L d\sigma \tag{5}$$

dimana R adalah resapan, dan T adalah transmisivitas yang diasumsikan konstan diseluruh domain masalah walaupun mempunyai nilai tersendiri untuk setiap lapisan pembentuk pada air tanah.

Penerapan kondisi batas menggunakan kondisi batas ,

$$h = \bar{h} \tag{6}$$

dimana K adalah konstanta konduktivitas hidrolis, \bar{h} merupakan *head tidak diketahui*. Setelah menyelesaikan persamaan diferensial pengatur dengan memberikan kondisi batas , distribusi *head* air tanah dan komponen kecepatan dalam arah x dan y dapat dihitung pada semua titik nodal dari domain aliran menggunakan hukum Darcy

Persamaan adveksi dan dispersi digambarkan pada persamaan (7),

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -u_x \frac{\partial c}{\partial x} - u_y \frac{\partial c}{\partial y} + D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \gamma \tag{7}$$

dengan C merupakan konsentrasi (massa/volume) dan $\frac{\partial u}{\partial t}$ merupakan perubahan konsentrasi garam terhadap

waktu, u_x dan u_y merupakan suku-suku adveksi yang menggambarkan kecepatan linier (meter/sekon) dalam dua dimensi. $[D^* + D_x]$ dan $[D^* + D_y]$ merupakan koefisien dispersi hidrodinamika yang terdiri dari difusi dan dispersi hidrodinamika.

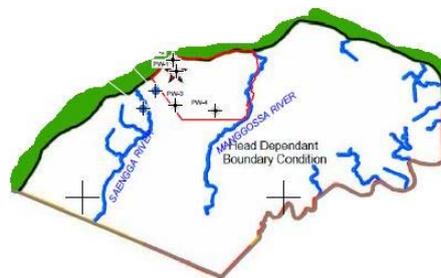
Komputasi menggunakan MATLAB 2012 dengan nilai inputan data sekunder dari peta geologi dan hidrologi serta nilai pendekatan yang menggambarkan kondisi daerah penelitian (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai parameter inputan dalam komputasi

Transmisivitas (T)	$1.2e - 7 \text{ km}^2/\text{hari}$ (pasir)
Recharge site (w)	8.852 km/hr
Dispersivitas (alpha)	0.5 km
Difusi molekuler (De)	$8.2e - 9 \text{ km}^2/\text{hr}$
Konsentrasi salinitas awal(c0)	1g/l
Waktu Simulasi (tend)	1, 5,, 10, 29 year
Time step(dt)	1hari
Ketebalan akuifer (b)	0.03km (pasir)

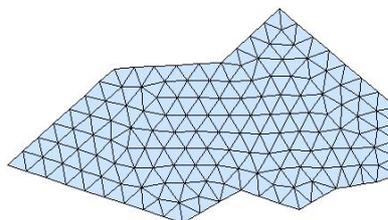
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan data sekunder dari cekungan Bintuni di Papua Barat. Pemodelan air tanah berdasarkan elemen segitiga linier dengan menggunakan persamaan laplace dua dimensi untuk menunjukkan perubahan *head gradient*



Gambar 1. Geometri domain yang akan didiskritisasi

Mesh Elemen Hingga dari Cekungan Air Tanah Bintuni-Teminabuan



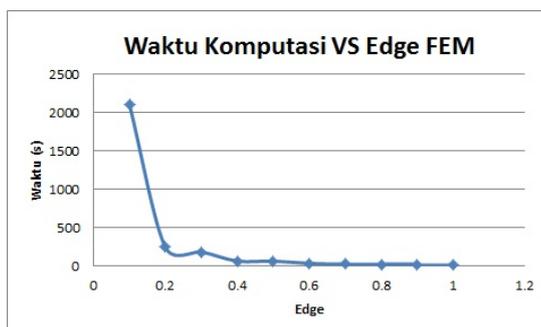
Gambar 2. Diskritisasi domain menggunakan elemen segitiga linier

Peninjauan efektifitas dan fleksibel dalam matriks 2D berdasarkan *edge* pada elemen segitiga linier *Edge* adalah dua jarak titik node dalam FEM 2D. Sehingga diperoleh *edge* terkecil adalah 0.1 sampai dengan *edge* terbesar adalah 1 dengan waktu komputasi masing-masing 2100 sekon dan 6 sekon (Tabel 2). Sensitivitas mesh berdasarkan *edge* untuk memperoleh efektifitas dan fleksibilitas matriks FEM 2D dalam menggambarkan model air tanah, sehingga digunakan *edge* 0.3 dengan 1637 elemen. Selanjutnya digunakan untuk pemodelan untuk menganalisis salinitas air tanah.

Berdasarkan pada hidrologi dan kondisi batas dengan keadaan awal analisis keadaan tunak (*steady state*). Perhitungan berdasarkan persamaan adveksi dan dispersi dengan nilai toleransi 2.7×10^{-3} (Tabel 2). Vektor kecepatan menggambarkan arah aliran untuk menunjukkan persamaan adveksi dan dispersi, sehingga pergerakan konsentrasi salinitas pada satu titik yang berada pada setiap elemen .

Tabel 2. Nilai edge terhadap rata-rata head gradient (\hat{h})

Edge	Jumlah Elemen	\hat{h}	Toleransi	Waktu (s)
1	157	0.77749		6
0.9	192	0.773572	0.00392	10
0.8	239	0.772534	0.00104	10
0.7	313	0.772177	0.00036	20
0.6	416	0.7773093	0.000862	30
0.5	599	0.776108	0.003068	60
0.4	932	0.771095	0.00501	60
0.3	1637	0.77038	0.00072	180
0.2	3679	0.769785	0.00059	240
0.1	14694	0.768956	0.00083	2100



Gambar 3. Pengaruh edge FEM terhadap waktu komputasi

Transmisivitas berdasarkan jenis penyusun lapisan akuifer (air tanah) dan ketebalan akuifer digambarkan pada persamaan dibawah ini:

$$T = k.b \tag{8}$$

dimana k merupakan konduktivitas akuifer, k adalah ketebalan lapisan (km)

Simulasi dilakukan dengan dua skenario transmisivitas (T) yang berbeda. Skenario tersebut adalah T lapisan dominan pasir sebesar $4 \times 10^{-4} km$ dan T lapisan dominan lempung sebesar $4 \times 10^{-8} km$. Perubahan salinitas awal dominasi pasir di ketebalan lapisan $0.06 km$ sekitar $1.015 g/L$, sedangkan lapisan dominan lempung dengan ketebalan $0.055 km$ sekitar $1.000027 g/L$. Sehingga diperoleh adanya peningkatan salinitas awal dari $1 g/L$ sebesar $1.6 \times 10^{-2} g/L$ dan $2.7 \times 10^{-3} g/L$ untuk masing-masing T dominan pasir dan T dominan lempung. Kenaikan salinitas tertinggi terjadi pada lapisan dominan lempung dibandingkan dominan pasir sebesar 1.6% . Hal ini menggambarkan bahwa daerah penelitian tidak terjadi perubahan salinitas yang signifikan selama waktu simulasi 10 tahun.

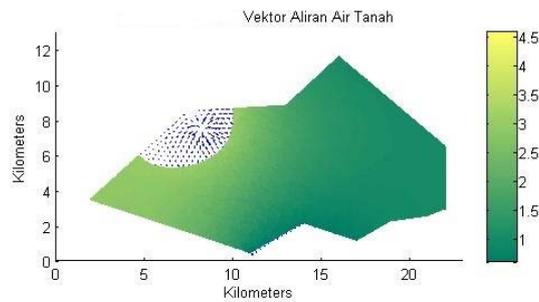


Gambar 4. Perubahan distribusi salinitas T dominan pasir

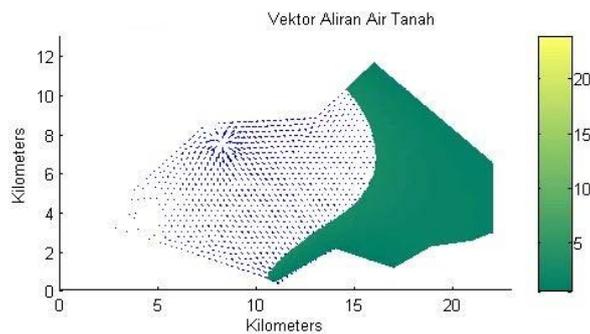


Gambar 5. Perubahan distribusi salinitas T dominan lempung

Selain itu, Perbedaan T diperoleh menyebabkan variasi spasial pada proses adveksi. Variasi spasial terbesar terjadi pada T dominan lempung (Gambar 7). Hal ini terjadi karena perbedaan nilai konduktivitas masing-masing lapisan



Gambar 6. Vektor aliran air tanah pada T dominan pasir



Gambar 7. Vektor aliran air tanah pada T dominan lempung

KESIMPULAN

Sensitivitas mesh berdasarkan *edge* dan penggambaran model, maka simulasi dari model salinitas air tanah menggunakan *edge* 0.3 dengan 1637 elemen. Perhitungan waktu simulasi terhadap rata-rata *head gradient* juga di perhitungkan sehingga dapat dihitung toleransi dari *head gradient*.

Konsentrasi salinitas air tanah dihitung berdasarkan persamaan adveksi dan dispersi. Simulasi dan pemodelan salinitas sir tanah berdasarkan *head gradient* transmisivitas dan waktu lama distribusi konsentrasi. Perbedaan transmisivitas (T) berdasarkan pada domain lapisan penyusun akuifer dan ketebalannya. Sehingga, ada dua skenario T yaitu domain pasir dengan ketebalan 60 m dan domain lempung dengan ketebalan 55 m. Perbedaan T menyebabkan perubahan salinitas terbesar pada lapisan dominan pasir sebesar 1.6% daripada lapisan dominan lempung.

Penelitian selanjutnya menghitung hasil simulasi dengan waktu yang lebih lama dengan lapisan heterogen sehingga dapat menggambarkan perubahan salinitas yang terjadi untuk melihat perubahan lingkungan di daerah penelitian akibat pembangunan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini.

REFERENSI

1. Sharief, S.M.V., dkk, *Optimal groundwater Remediation by Pump and Treat Using FEM- and EGA-Based Simulation-Optimization Model*, Journal Hazard. **16**:106-117 (2012).
2. Suhartono, E., dkk, *Kondisi Intrusi Air Laut Terhadap Air Tanah Pada Akuifer Di Kota Semarang*. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (2013).
3. Sutikno, S., dkk., *Metode Elemen Hingga Untuk Penyelesaian Persamaan Aliran Turbulen Aliran*, Jurnal Natur Indonesia, **6(1)**: 61-66 (2003).
4. Parsi, K. J. M., dkk, *Optimal Groundwater Remediation Design of Pump and Treat System Via A Simulation-Optimization Approach And Firefly Algorithm*, Taylor And Francis Group, Volume:47, **No.1**: 1-17 (2010).
5. Rahayu, S. E., dkk., *Konvergensi Metode Elemen Hingga Polygonal Hibrid dalam Analisis Kristal Fotonik 2D*, JNTETI, Volume 2, 1(2012).
6. Wang, F., A., dan Anderson, M., P., *Introduction to groundwater modeling: finite difference and finite element methods*. Academic Press, London, 1-17, 113-128 (1982).