

EFEK PENURUNAN MUKA AIR TANAH TERHADAP INTRUSI AIR LAUT DI KABUPATEN JENEPONTO

Sugiarto Badaruddin¹⁾, Akhmad Azis¹⁾, Indra Mutiara¹⁾

¹⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRAK

Ground water which is a renewable natural resource currently has an important role in providing clean water for various human needs. As a result of the increasing need for clean water that is in line with the increase in population has caused excessive groundwater exploitation and one of the impacts is a decrease in groundwater level. A further consequence of this groundwater level decline is the occurrence of sea water intrusion (SWI) which damages the quality and quantity of groundwater in aquifers. The purpose of this study was to determine the influence of groundwater decline on sea water intrusion that occurred in Jeneponto Regency based on data obtained from the field and secondary data and then simulated in a numerical model. It was found that groundwater level decline gives the maximum effect in increasing the SWI on Binamu2 aquifer. Within 100 years after groundwater decline, SEAWAT numerical simulation estimated an increase in the value of SWI by 43% from the initial condition, which is 642 m in the Binamu2 aquifer, while for the Binamu1 aquifer, Arungkeke 1 and Arungkeke 2, the values were 559 m, 272 m, and 300 m, respectively. It can be seen that it takes quite a long time for seawater to intrude freshwater in the aquifer for each scenario of groundwater level decline. This is most likely due to the sufficiently thick aquifer conditions from each observation location that support the aquifer's ability to resist intrusion. In addition, the relatively small hydraulic conductivity value also helps to slow the occurrence of SWI so that it takes longer for sea water intrusion to reach steady-state conditions.

Keywords: *Groundwater decline, seawater intrusion, Numerical Modelling*

1. PENDAHULUAN

Air tanah yang merupakan sumberdaya alam terbarukan (renewable natural resources) saat ini telah memainkan peran penting seperti halnya air permukaan pada penyediaan pasokan kebutuhan air bagi berbagai keperluan sehingga menyebabkan terjadinya pergeseran nilai terhadap air tanah itu sendiri. Mengingat peran air tanah semakin penting, maka pemanfaatan air tanah harus didasarkan pada keseimbangan dan kelestarian air tanah itu sendiri, atau dengan kata lain pemanfaatan air tanah harus berwawasan lingkungan dan berkelanjutan. Air tanah merupakan salah satu pilihan sumber air yang dapat dikembangkan pemakaiannya dalam jumlah besar, namun jumlahnya tidak bisa mendekati atau melebihi besarnya air yang masuk ke dalam tanah. Pemanfaatan air tanah dalam haruslah sesuai daya dukung akuifer setempat yang penggunaannya diatur dengan perangkat kebijakan yaitu Undang-undang Sumber Daya Air No.7 Tahun 2004, Peraturan Pemerintah No.43 Tahun 2008 tentang Air Tanah serta Peraturan Daerah.

Dalam sepuluh tahun terakhir ini telah terjadi pertumbuhan penduduk yang sangat pesat di dunia, dan hal tersebut menyebabkan eksploitasi air bawah tanah terus meningkat dengan pesat. Gejala ini telah menyebabkan dampak negatif terhadap kuantitas maupun kualitas air tanah, antara lain penurunan muka air tanah, fluktuasi yang semakin besar serta penurunan kualitas air tanah, serta terjadinya intrusi air laut (IAL) di beberapa wilayah. Dengan demikian perlu dilakukan upaya nyata dan terpadu untuk meminimalkan dampak negatif tersebut, baik oleh pemerintah, masyarakat maupun swasta.

Berdasarkan sejarahnya, terjadinya IAL umumnya diakibatkan oleh pemompaan air tanah yang berlebihan atau pengambilan air tanah di daratan dan hal ini bisa menyebabkan kehilangan yang signifikan pada ketersediaan air tanah di dalam akuifer pantai di seluruh dunia [1-3]. Meskipun demikian, efek perubahan iklim (misalnya kenaikan muka air laut dan penurunan jumlah imbuhan air tanah) bisa juga menyebabkan terjadinya IAL [4]. Oleh sebab itu, kerentanan akuifer pantai terhadap perubahan iklim, peningkatan volume pemompaan air tanah dan kenaikan muka air laut harus dipertimbangan secara integral dalam investigasi manajemen air tanah. Pada satu dekade terakhir ini telah terjadi pertumbuhan penduduk yang sangat pesat di seluruh dunia termasuk di Indonesia, dan hal tersebut menyebabkan eksploitasi air bawah tanah terus meningkat dengan pesat [5]. Fenomena ini telah menyebabkan dampak negatif terhadap kuantitas maupun kualitas air tanah, antara lain penurunan muka air tanah, fluktuasi yang semakin besar serta penurunan kualitas air tanah, serta terjadinya

¹⁾Korespondensi penulis: Sugiarto Badaruddin, Telp: 082291300808, sugibadaruddin@poliupg.ac.id

intrusi air laut (IAL) di beberapa wilayah. Dengan demikian perlu dilakukan upaya nyata dan terpadu untuk meminimalkan dampak negatif tersebut, baik oleh pemerintah, masyarakat maupun swasta.

Dalam penelitian ini, kami mengaplikasikan pemodelan numerik untuk melihat pengaruh penurunan muka air tanah terhadap IAL di dua kecamatan di Kabupaten Jeneponto. Kabupaten Jeneponto adalah salah satu kabupaten di Sulawesi Selatan Indonesia yang posisinya berada di tepi laut dan sangat memungkinkan untuk mengalami proses IAL karena air tanah di kabupaten tersebut sudah lama digunakan untuk keperluan domestik dan irigasi. Untuk pertama kalinya, metode analitis dan metode numerik 2 dimensi diaplikasikan dalam mengetahui pengaruh penurunan muka air tanah terhadap intrusi air laut di Kabupaten Jeneponto. Dengan melihat kondisi yang ada di Kabupaten Jeneponto yang sudah lama menggunakan air tanah (khususnya untuk keperluan pertanian dan domesik) (Syamsuddin et al., 2009), maka dibutuhkan pelaksanaan penilaian mengenai pengaruh penurunan muka air tanah terhadap IAL di daerah tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian ini meliputi tahap persiapan, pengambilan data primer, data sekunder, pengolahan data, dan pembahasan. Penelitian dilakukan di 2 (dua) Kecamatan (Kec. Binamu dan Kec. Arungkeke) di Kabupaten Jeneponto. Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer berupa data hasil pengukuran muka air tanah dan foto-foto singkapan tanah di lokasi penelitian, sedangkan data sekunder berupa data-data penelitian terdahulu yang mendukung tercapainya tujuan penelitian ini, antara lain data hidrologi dan hidrogeologi di daerah penelitian. Setelah mendapatkan data yang diperlukan, langkah selanjutnya adalah mengolah data tersebut.

Dalam penelitian ini digunakan pemodelan 2D (dua dimensi) dengan memakai program SEAWAT yang digunakan untuk pemodelan aliran dengan variasi kepadatan dan transportasi larutan. Program ini menggunakan metode beda hingga yang dapat dipergunakan hanya untuk aliran dengan kondisi jenuh air. Deskripsi metode numerik dan persamaan yang dipakai dalam SEAWAT dapat dilihat di Guo and Langevin (2002) dan Langevin et al. (2008).

Hasil penelitian dari Badaruddin et al. (2018) dijadikan sebagai data awal dalam pemodelan numerik. Berdasarkan hasil penelitian dari Badaruddin et al. (2018), berikut pada Tabel 1 disajikan data tinggi muka air di 4 (empat) titik pengamatan di masing-masing kecamatan Binamu dan Kecamatan Arungkeke di Kabupaten Jeneponto dan berdasarkan hasil penelitian Syamsuddin et al. (2009), disajikan pula data besar penurunan muka air tanah untuk ke empat lokasi tersebut. Untuk meningkatkan reliabilitas penggunaan hasil penelitian Syamsuddin et al. (2009), hanya 50% dari besar nilai penurunan muka air tanah dari penelitian tersebut yang digunakan dalam penelitian ini. Berdasarkan data pengamatan muka air yang diperoleh dari Badaruddin et al. (2018), diketahui bahwa muka air tanah di lokasi pengamatan cukup variatif yang kemungkinan disebabkan oleh kondisi tanah yang heterogen. Dalam penelitian ini, heterogenitas tanah di lokasi studi diabaikan karena dibutuhkan dana yang cukup besar untuk mendapatkan data-data tersebut. Secara detail, data heterogenitas tanah dapat diperoleh dengan menggunakan survey geofisika dan bor dalam (standard penetration test) yang dilakukan di beberapa titik di daerah penelitian.

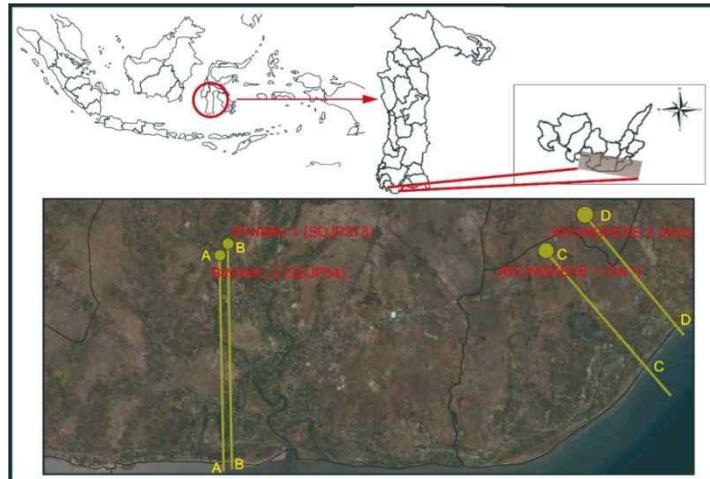
Tabel 1. Tinggi muka air dan penurunan muka air di lokasi pengamatan (muka air tanah/MAT dihitung dari muka air laut/MAL)

Kode	Kecamatan	Koordinat		Elevasi MAT dari MAL (m)	Besar penurunan MAT (Syamsuddin et al. (2009) (m)
		Lintang	Bujur		
Binamu1/SDJP273	Binamu	5°39'25''	119°43'52''	3.6	2.1
Binamu2/SDJP54	Binamu	5°39'33.5''	119°43'46''	2	2.1
Arungkeke1/AK1/TP1	Arungkeke	5°39'28.7''	119°47'42''	9.5	3.5
Arungkeke2/AK2/TP2	Arungkeke	5°39'2.4''	119°48'10''	8.7	3.5

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Konseptualisasi dan Parameterisasi Model Daerah Penelitian

Dalam penelitian ini, analisa IAL dilakukan pada 4 (empat) potongan melintang yang tersebar di lokasi-lokasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan hanya pada kondisi tunak (steady-state). Karena keterbatasan data hidrologi dan hidrogeologi yang tersedia (misalnya stratigraphi tanah, recharge dan tampungan spesifik), maka penyederhanaan dilakukan pada beberapa data hidrogeologi tetapi tetap mempertimbangkan data-data sekunder dari penelitian terdahulu. Karena belum ada data boring log detail yang bisa memberikan deskripsi kondisi stratigrafi lapisan tanah di daerah lokasi penelitian secara komprehensif, maka diasumsikan bahwa tipe akuifer di lokasi penelitian adalah akuifer tidak tertekan (unconfined aquifer) dengan mempertimbangkan tidak adanya sumur artesis di sekitar lokasi. Tabel 2 memberikan data-data hidrogeologi yang digunakan dalam analisa IAL pada penelitian ini.



Gambar 1. Peta garis pengamatan IAL (garis pengamatan ditunjukkan dengan garis kuning).

Tabel 2. Data hidrogeologi lokasi penelitian yang digunakan dalam pemodelan.

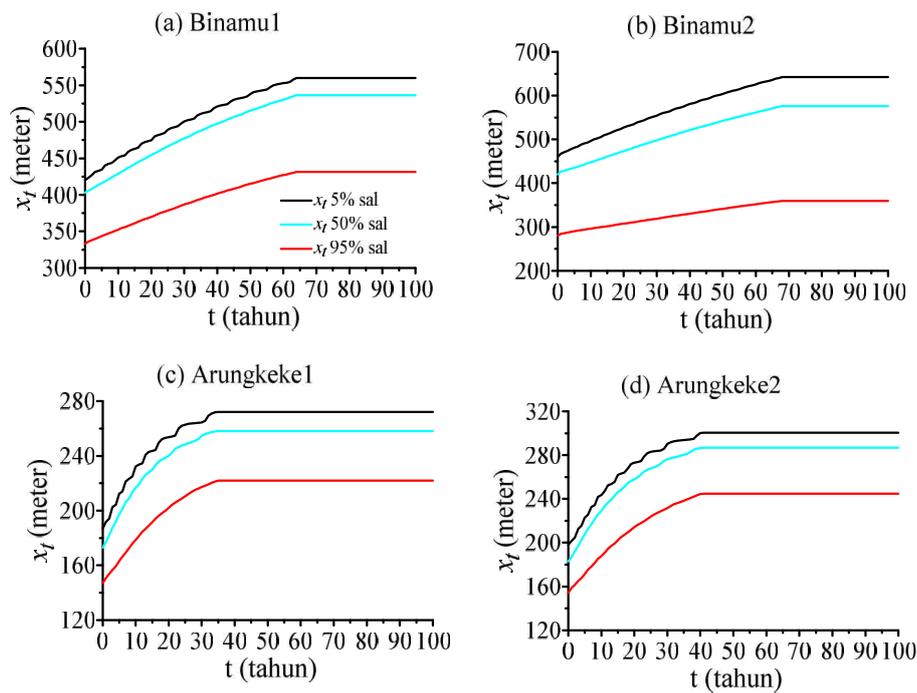
Parameter	Kasus			
	Binamu1	Binamu2	Arungkeke1	Arungkeke2
K (m/d)	5.80	5.80	5.80	5.80
h_s (m)	68	68	64	64
MAT Awal h_{f0} (m)	3.6	2.0	9.5	8.7
MAT Akhir h_{f1} (m)	1.5	-0.1	6	5.2
x_f (m)	5000	4800	3300	3200
n (-)	0.46	0.46	0.46	0.46
S_y (-)	0.32	0.32	0.32	0.32
α_L (m)	1	1	1	1
α_T (m)	0.1	0.1	0.1	0.1
D_m (m ² /d)	8.6×10^{-5}	8.6×10^{-5}	8.6×10^{-5}	8.6×10^{-5}
δ (-)	0.025	0.025	0.025	0.025
W_{net} (mm/y)	56.70	56.70	56.70	56.70

Konsep akuifer dari keempat lokasi penelitian yang digunakan dalam model SEAWAT diasumsikan sebagai akuifer terpisah untuk akuifer Binamu1, Binamu2, Arungkeke1 dan Arungkeke2 dan dimodelkan dalam dua dimensi dan potongan melintang tegak lurus ke arah pantai. Dalam penelitian ini, semua kondisi batas diasumsikan sebagai kondisi “head controlled” (kondisi batas Dirichlet untuk kontrol tinggi energi) (Werner et al., 2012) dan tinggi energinya dianggap tetap. Domain model didiskritisasi secara seragam dalam melakukan simulasi “steady-state” dan “transient” untuk keempat akuifer, di mana untuk akuifer Binamu1 menggunakan 500 kolom vertikal dengan lebar 10 m dan 76 lapisan horizontal dengan tebal 1 m, akuifer Binamu2 menggunakan 480 kolom vertikal dengan lebar 10 m dan 76 lapisan horizontal dengan tebal 1 m, akuifer Arungkeke1 menggunakan 330 kolom vertikal dengan lebar 10 m dan 78 lapisan horizontal dengan

tebal 1 m, sementara akuifer Arungkeke2 menggunakan 320 kolom vertikal dan 78 lapisan horizontal dengan tebal 1 m. Diskritisasi ini konsisten dengan Peclet number lebih kecil dari 4, yang direkomendasikan oleh Voss and Souza (1987) untuk mereduksi osilasi numerik. Kondisi “tinggi energy tertentu” diasumsikan pada kondisi batas muka air tanah di daratan dan kondisi “konsentrasi konstan” diasumsikan pada kondisi batas daerah pantai, dengan konsentrasi air laut sebesar 35 kg/m^3 . Preconditioned Conjugate-Gradient 2 (PCG2) and General Conjugate Gradient (GCG) berturut-turut digunakan sebagai solusi untuk persamaan aliran dan transportasi larutan. Skema differensial hingga digunakan untuk solusi adveksi dengan nomor Courant sebesar 0.75. Penggunaan nomor Courant lebih kecil atau sama dengan 1 biasanya dibutuhkan untuk membatasi terjadinya disperse numerik dalam rangka mencapai hasil yang lebih akurat (Zheng and Bennet, 2002).

3.2. Efek penurunan muka air tanah terhadap IAL dari pemodelan numerik SEAWAT

Gambar 3 menunjukkan kondisi IAL yang terjadi pada keempat akuifer yang diteliti dimana posisi intrusinya ditunjukkan dengan menggunakan tiga nilai isochlor yaitu 5%, 50% dan 95%. Seperti yang terlihat pada Gambar 3, besar nilai x_t untuk nilai isochlor 5% yang diperoleh untuk akuifer Binamu1, Binamu2, Arungkeke1 dan Arungkeke2 yaitu setelah 100 tahun sejak penurunan muka air tanah adalah 559 m, 642 m, 272 m, dan 300 m berturut-turut. Besar nilai x_t untuk nilai isochlor 50% yang diperoleh untuk akuifer Binamu1, Binamu2, Arungkeke1 dan Arungkeke2 yaitu setelah 100 tahun sejak penurunan muka air tanah adalah 536 m, 576 m, 258 m, dan 287 m berturut-turut. Sedangkan besar nilai x_t untuk nilai isochlor 95% yang diperoleh untuk akuifer Binamu1, Binamu2, Arungkeke1 dan Arungkeke2 yaitu setelah 100 tahun sejak penurunan muka air tanah adalah 431 m, 359 m, 222 m, dan 245 m berturut-turut. Bisa diamati pula bahwa terjadi daerah pencampuran yang cukup besar antara air tawar dan air laut pada setiap kasus yang diamati. Dibanding dengan akuifer yang lain, bisa dilihat bahwa tingkat IAL terbesar tetap terjadi di akuifer Binamu2, dan ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya dari Badaruddin et al. (2018) dimana nilai IAL pada akuifer ini meningkat sebesar 43% dari kondisi ‘steady-state’ awal.



Gambar 2. Hasil simulasi numerik SEAWAT untuk prediksi pergerakan IAL akibat penurunan muka air tanah pada (a) akuifer Binamu1, (b) akuifer Binamu2, (c) akuifer Arungkeke1, dan (d) akuifer Arungkeke2, dalam jangka waktu 100 tahun.

Gambar 3 juga menunjukkan bahwa sejak penurunan muka air tanah, terjadi perbedaan untuk setiap kasus intrusi untuk mencapai kondisi ‘steady-state’ kedua. Dapat dilihat bahwa waktu yang diperlukan untuk kasus Binamu1, Binamu 2, Arungkeke1, dan Arungkeke 2 untuk mencapai kondisi steady-state yang kedua adalah masing-masing 65 tahun, 71 tahun, 35 tahun, dan 40 tahun. Dibutuhkan waktu yang lebih lama bagi

akuifer Binamu1 dan Binamu 2 untuk mencapai kondisi “steady-state” kedua karena disebabkan perbedaan head yang cukup kecil antara muka air tanah akhir dengan muka air laut. Perbedaan head yang kecil ini selain menyebabkan terjadinya peningkatan nilai IAL, hal ini juga mempengaruhi waktu IAL mencapai kondisi stabil. Di samping itu, nilai konduktivitas hidrolik yang relative kecil juga sangat berpengaruh terhadap laju IAL di setiap kasus yang diamati.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Wilayah Provinsi Sulawesi Selatan memiliki pesisir pantai yang sangat panjang dan sangat potensial untuk mengalami intrusi air laut. Salah satu wilayah yang memiliki garis pantai yang cukup panjang di provinsi ini adalah Kabupaten Jeneponto. Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa tingkat intrusi air laut wilayah di Kabupaten Jeneponto, khususnya di daerah yang diamati dalam penelitian ini (Kecamatan Binamu dan Arungkeke) tergolong masih relatif aman.

Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa efek penurunan muka air tanah berpengaruh cukup besar terhadap intrusi air laut yang terjadi wilayah Kabupaten Jeneponto. Dari seluruh lokasi yang diamati, penurunan muka air tanah memberikan pengaruh paling besar pada peningkatan nilai IAL di Akuifer Binamu2 yaitu meningkat sebesar 43% dari posisi intrusi air laut semula. Adapun besar nilai x_t untuk nilai isochlor 5% yang diperoleh dari simulasi numerik adalah untuk akuifer Binamu1, Binamu2, Arungkeke1 dan Arungkeke2 yaitu setelah 100 tahun sejak penurunan muka air tanah, nilainya adalah 559 m, 642 m, 272 m, dan 300 m berturut-turut.

Pemodelan numerik juga menunjukkan bahwa dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk setiap kasus yang diamati bagi intrusi air laut mencapai kondisi steady-state setelah peristiwa penurunan muka air tanah. Pemodelan menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk kasus Binamu1, Binamu 2, Arungkeke1, dan Arungkeke 2 untuk mencapai kondisi steady-state yang kedua adalah masing-masing 65 tahun, 71 tahun, 35 tahun, dan 40 tahun. Dibutuhkan data lapangan yang lebih banyak, khususnya data lapisan tanah dan air tanah untuk menunjang hasil penelitian yang lebih akurat dan kompleks dalam penelitian ini.

4.2. Saran

Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan beberapa parameter yang berbeda dengan yang digunakan dalam penelitian ini, misalnya heterogenitas tanah dan tutupan lahan dan demikian pula dengan data penggunaan air tanah di daerah penelitian agar memungkinkan untuk melakukan prediksi IAL sampai beberapa ratus tahun ke depan dengan berdasarkan pada kondisi eksisting yang ada.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Badaruddin, A. D. and e. a. Werner, "Water table salinization due to seawater intrusion," *Water Resources Research*, 2015.
- [2] FAO, *Seawater intrusion in coastal aquifers: Guidelines for study, monitoring and control*. Rome, Italy: FAO Water Reports no. 11. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, 1997.
- [3] M. S.S., S. Badaruddin, and S. Khatibi, "Abstraction, desalination and recharge method to control seawater intrusion into unconfined coastal aquifers," *Global Journal of Environmental Science and Management*, vol. 5, pp. 107-118, 2019.
- [4] V. Post, "Fresh and saline groundwater interaction in coastal aquifers: Is our technology ready for the problems ahead?," *Hydrogeology Journal* vol. 13, pp. 120-123, 2005.
- [5] A. Azis, S. , Z. Badaruddin, M. T. I. Faisal, and H.A. Hasanuddin, "Numerical model on the application of sand columns in recharge reservoir. ," *Groundwater for Sustainable Development*, vol. 8, 2019.