

Determinasi Perubahan Volume Air Terhadap Nilai Parameter Kualitas Air pada Sumur Gali Masyarakat di Kelurahan Fitu – Kota Ternate Selatan

Salnuddin¹, Nurhalis Wahidin², Halima Malaka³, Nida Humaida⁴, Muhammad Said Alhadad², dan Asmar Hi Daud⁵

¹Prodi Ilmu Kelautan, FPIK, Universitas Khairun, Indonesia; email: sal.unkhair@gmail.com

²Prodi Manajemen Sumberdaya Perairan, FPIK, Universitas Khairun, Indonesia

³Badan Perencanaan Pembangunan, Riset dan Inovasi Daerah, Kota Tidore Kepulauan, Indonesia

⁴Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Cibinong, Indonesia

⁵Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Khairun, Indonesia

ABSTRAK

Penurunan kualitas air tanah pada pulau kecil vulkanik merupakan permasalahan serius dan kompleks dialami Pulau Ternate. Penurunan kualitas air tanah umumnya dikaitkan dengan intrusi air laut dan upaya identifikasi sumber penurunan tersebut lebih kompleks sebagai pulau vulkanik. Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan volume air terhadap parameter kualitas air pada sumur gali di Kelurahan Fitu, Kota Ternate Selatan, serta mengevaluasi potensi intrusi air laut melalui pendekatan keseimbangan hidrostatik. Pengukuran parameter kualitas air menggunakan *Water Quality Checker* pada 3 sumur sampel dan 1 titik di perairan pantai. Parameter terukur meliputi parameter fisika (suhu dan tekanan permukaan) dan parameter kimia (salinitas, DO, DHL, dan TDS). Analisis data dengan perhitungan perubahan volume air, *flushing rate*, dan analisis regresi antara perubahan volume air dengan parameter kualitas air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan permukaan air pada sumur sampel terjadi minimal 27 menit setelah titik balik pasang surut. Variasi perubahan volume air pada sumur sampel 1 lebih dominan terjadi saat air bergerak surut (65%), sedangkan pada sumur sampel 2 dan 3 dominan terjadi saat air bergerak pasang. Sumur sampel 2 memiliki potensi perubahan kualitas air yang lebih besar akibat *flushing rate* yang lebih kecil (13,7%) dibandingkan sumur sampel 1 (56,6%). Berdasarkan analisis regresi ($p > 0,05$), penambahan volume air bukan merupakan faktor dominan dalam perubahan kualitas air pada sumur gali di Kelurahan Fitu. Penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang dinamika kualitas air tanah di pulau kecil vulkanik serta menjadi dasar pengembangan strategi pengelolaan sumber daya air yang lebih efektif di wilayah serupa.

Kata kunci: air tanah, flushing rate, hidrogeologi pulau vulkanik, kualitas air, sumur gali

ABSTRACT

Groundwater quality degradation in small volcanic islands presents complex challenges for freshwater availability, particularly where communities heavily rely on groundwater resources. A study of groundwater dynamics in dug wells on Ternate Island, Indonesia, examined the relationship between water volume changes and water quality parameters while evaluating seawater intrusion potential through hydrostatic balance analysis. Researchers measured physical parameters (temperature, surface pressure) and chemical parameters (salinity, dissolved oxygen, electrical conductivity, total dissolved solids) in three sample wells and one coastal point. The analysis incorporated calculations of water volume changes, flushing rates, and regression analysis between water volume changes and water quality parameters to assess the dynamics of groundwater quality fluctuations. Water level changes showed a 27-minute lag after tidal shifts, with well 1 showing dominant volume changes during ebb tide (65%), while wells 2 and 3 were dominant during flood tide. Well 2 showed higher susceptibility to quality changes due to its lower flushing rate (13.7%) compared to well 1 (56.6%). Statistical analysis revealed that water volume increases did not significantly influence water quality changes ($p > 0.05$). These findings enhance our understanding of groundwater dynamics in volcanic islands and suggest that factors beyond water volume changes should be considered when managing groundwater resources in these settings. The research provides valuable insights for developing effective water resource management strategies in similar geological contexts worldwide.

Keywords: dug wells, flushing rate, groundwater, volcanic island hydrogeology, water quality

Citation: Salnuddin, Wahidin, N., Malaka, H., Humaida, N., Alhadad, M. S., dan Daud, A. H. (2025). Determinasi Perubahan Volume Air Terhadap Nilai Parameter Kualitas Air pada Sumur Gali Masyarakat di Kelurahan Fitu – Kota Ternate Selatan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(4), 896-906, doi:10.14710/jil.23.4.896-906

1. PENDAHULUAN

Pulau Ternate merupakan pulau kecil dan pulau gunung api, dengan luas wilayah 101,68 km² (BPS 2023a) serta menjadi pusat Pemerintahan Kota Ternate sekaligus sebagai pusat perekonomian dan pendidikan di Maluku Utara. Peruntukan ruang dalam RTRW Kota Ternate 2012-2032 mengarahkan wilayah Kecamatan Ternate Selatan sebagai pusat pendidikan dan termasuk dalam wilayah strategi kawasan kota baru, sehingga pemanfaatan ruang darat untuk pemukiman dan pembangunan fasilitas perekonomian makin besar, termasuk di Kelurahan Fitu yang saat ini dihuni oleh penduduk sebanyak 3.940, jiwa dengan kepadatan 994,94 jiwa/km² (BPS, 2023b). Kebutuhan air bersih masyarakat di Kelurahan Fitu terpenuhi dari layanan PDAM Kota Ternate serta dari penggunaan sumur gali.

Sebagai wilayah dengan status Pulau kecil serta pulau gunung api, maka kebutuhan air bersih bagi masyarakat Kota Ternate hanya bersumber dari keberadaan air tanah. Saat ini PDAM Kota Ternate mengelola 34 sumur dangkal dan dalam yang difungsikan untuk memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat di Pulau Ternate, dimana salah satu sumber air tersebut telah terintrusi air laut (Mongabay, 2017). Berdasarkan arahan peruntukan ruang RTRW Kota Ternate serta pemanfaatannya maka perlu penataan ruang yang efektif dalam menjamin ketersediaan air tanah (Kodoatie, 2012) termasuk juga penataan ruang di kawasan pemukiman agar tidak memberi kontribusi terhadap penurunan kualitas air tanah melalui masukan limbah domestik (Gufran & Mawardi, 2019; Aji & Jailani, 2020; Prasetyo, 2022). Berdasarkan hasil penelitian Indrajaya (2020), bahwa Kelurahan Fitu termasuk kategori kawasan pemukiman kumuh berat dan membutuhkan penanganan yang berkelanjutan, kategori kawasan pemukiman tersebut mengindikasikan adanya potensi masuknya limbah domestik pada sistem akuifera dan menurunkan kualitas air sumur gali masyarakat di Kelurahan Fitu.

Penurunan kualitas air tanah lebih banyak dipahami sebagai dampak masuknya air laut dalam sistem akuifera tanah dengan parameter utama yang digunakan adalah kadar salinitas (Mulyono & Putro, 2019, Marganingrum *et al.*, 2023). Intrusi memberi dampak kerugian yang sangat luas terutama potensinya mengubah sifat dan kandungan kimiawi, biologi, dan fisika air tanah, yang selanjutnya mengubah kondisi ekologi (Adelina *et al.*, 2021) maupun kesehatan masyarakat (Wahyono *et al.*, 2021). Konsekuensi tersebut menjadikan intrusi merupakan salah satu aspek sumber bencana, maka kajian tentang intrusi menjadi penting terutama untuk wilayah pulau kecil dan gunung api.

Penelitian kondisi air tanah di Pulau Ternate, khususnya di Kecamatan Ternate Selatan relatif sedikit, penelitian yang telah dilakukan meliputi perbandingan kualitas air tanah dengan nilai baku mutu (Robo *et al.*, 2019), struktur akuifera (Parnadi & Salam, 2022) dan oleh pengaruh pergerakan pasang surut (Salnuddin *et al.*, 2024). Penelitian lainnya dilakukan di bagian utara Pulau Ternate untuk studi struktur akuifera (Achmad *et al.*, 2016, Salam *et al.*, 2018, Simamora *et al.*, 2022). Penelitian lainnya dengan karakter wilayah yang sama dilakukan oleh Malaka (2015) yang melakukan penelitian di Pulau Tidore menjumpai adanya kualitas air tanah yang di bawah baku mutu meskipun lokasinya jauh dari garis pantai. Informasi tersebut mengindikasikan bahwa perubahan kualitas air tanah di pulau kecil gunung api bukan hanya bersumber dari masuknya air laut pada sistem akuifera (intrusi), namun memungkinkan adanya faktor lain. Mekanisme perubahan kualitas air tersebut menjadi lebih kompleks dari berbagai faktor penyebab penurunan kualitas air pada sumur gali di wilayah pulau kecil dan gunung api, sekaligus membutuhkan kajian dalam upaya menentukan faktor penurunan kualitas air di suatu wilayah dan perencanaan pengelolaannya (Hussain *et al.*, 2019).

Perubahan kualitas air tanah merupakan ketidakseimbangan hidrostatik yang terjadi pada sistem akuifera tanah (Indriatmoko, 2016), dari faktor pergerakan pasang surut maupun tekanan pada lapisan akuifera. Deteksi perubahan tersebut membutuhkan peralatan pengukuran maupun pendekatan analisis yang kompleks melalui pemodelan (Lee *et al.*, 2019), olehnya itu dibutuhkan suatu pendekatan sederhana untuk mendeteksi penyebab penurunan kualitas air tanah dengan memanfaatkan data pengukuran kualitas air dan perubahan volume atau tinggi muka air pada sumur sampel terhadap pergerakan pasang surut, mendeterminasi *flushing rate* yang terjadi pada sumur sampel.

Berdasarkan kompleksitas permasalahan kualitas air tanah di pulau kecil dan gunung api seperti Pulau Ternate, maka penelitian ini bertujuan (1) Menganalisis pengaruh perubahan volume air terhadap parameter kualitas air pada sumur gali di Kelurahan Fitu, (2) Mengevaluasi potensi intrusi air laut dengan pendekatan keseimbangan hidrostatik dari pergerakan pasang surut melalui nilai *flushing rate* (3) Mengidentifikasi faktor-faktor dominan yang mempengaruhi perubahan kualitas air tanah pada sumur gali di wilayah penelitian; (4) Menilai kesesuaian kualitas air sumur gali dengan standar baku mutu air minum dan pemandian umum sesuai Permenkes No 2 Tahun 2023;

Penelitian ini menggunakan pendekatan yang lebih komprehensif dengan mempertimbangkan

dinamika perubahan volume air, parameter kualitas air, dan pengaruh pasang surut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang mekanisme perubahan kualitas air tanah di pulau kecil dan gunung api, serta menjadi dasar untuk pengembangan strategi pengelolaan air di wilayah serupa.

2. METODE PENELITIAN

Metode survei digunakan dalam pengambilan data penelitian. Pengukuran parameter kualitas air dilakukan pada 3 sumur sampel (sumur gali) milik masyarakat di Kelurahan Fitu dan 1 titik pengukuran di perairan pantai (Gambar 1). Pengukuran kualitas air dilakukan tiap interval 2 jam mulai pagi hari (jam 7:00 WIT) hingga petang (jam 19:00 WIT) selama 2 hari, pengukuran hanya dilakukan pada siang hari agar tidak mengganggu kenyamanan pemilik sumur jika pengukuran dilakukan pada malam hari. Pengukuran kualitas air menggunakan *Water Quality Checker Hanna Instrument* (HI) 98194 untuk data suhu (oC) Salinitas (PSU), DO (%), DHL (µS/cm), TDS (ppt) dan tekanan permukaan (mbar).

Pengukuran parameter kualitas air dilakukan relatif dalam waktu bersamaan dengan pengukuran pergerakan pasang surut, dimana pergerakan pasang surut diukur dengan menggunakan MOTIWALI (*Mobile Tide and Water Level Instrumen*) dengan interval perekaman tiap 30 menit sebagaimana arahan Bemba; *et al.*, (2019). Pengukuran pergerakan pasang surut dilakukan selama 3 hari untuk mendapatkan nilai *mean sea level* harian (MSLh) dan nilai tunggang air (IOC, 2006, Salnuddin *et al.*, 2015) Perubahan tinggi muka air pada sumur sampel diketahui dari pengukuran kedalaman air hingga permukaan sumur sampel, sedangkan tinggi sumur sampel terhadap permukaan laut diketahui dari hasil pengukuran elevasi permukaan tanah menggunakan *theodolit*. Titik ikat darat dan laut sebagai *beachmark* terpasang di pesisir pantai lokasi penelitian. Referensi tunggang air terhadap titik ikat menggunakan nilai MSLh (IOC, 2006) yang dihitung dengan Metode *Admiralty* dalam buku *Overzicht der Getijleer* yang diformulasikan.

$$MSLh = \frac{\sum_{n=1}^{n=39} \sum (N \times D)}{30}$$

dimana N = data pengukuran pasang surut untuk 39 jam pengukuran; D = Nilai Doodson.

Konstituen harmonik pasang surut dalam perhitungan tunggang air menggunakan data konstanta harmonik Stasiun Ternate yang dikeluarkan oleh Dishidros (2008) sedangkan perhitungan tunggang air pasang surut menggunakan persamaan yang dikeluarkan oleh ICSM-PCTMS.

(2021) Perhitungan volume air pada sumur sampel dihitung menggunakan persamaan dasar dalam perhitungan volume (Luas alas x tinggi), dimana data perhitungan diperoleh dari hasil pengukuran dimensi sumur sampel (Gambar 2). Data dimensi sumur dan perubahan tinggi air (TA) pada sumur sampel dipergunakan untuk mendapatkan besarnya volume air (Vol) dan perubahannya (ΔVol) pada masing-masing sumur sampel.

$$Vol_{awal} = \pi r^2 \times TA$$

$$Vol_{akhir} = \pi (r \pm TA \tan \alpha)^2 \times TA$$

$$\Delta Vol = Vol_{awal} \pm (Vol_{awal} - Vol_{akhir})$$

Dimana: Vol_{awal} = volume awal; Vol_{akhir} = volume akhir; $\pi = 3,14$; r = jari-jari sumur sampel; α sudut kemiringan mulut sumur; TA = tinggi air; ΔTA = perubahan tinggi air dari 2 pengukuran yang berurutan; $\pm$ = kondisi air bergerak pasang/ABP (+) dan kondisi air bergerak surut/ABS (-). Vol_{in} = perubahan Volume saat ABP; Vol_{in} = perubahan Volume saat ABS.

Selisih volume yang masuk dan keluar oleh pengaruh pasang surut terhadap volume *water table* merupakan data yang dibutuhkan dalam menentukan nilai *flushing rate* (FR) pada sumur sampel. Perhitungannya dikembangkan dari persamaan yang dikemukakan oleh Mayer *et al.* (2015).

$$FR (\%) = \frac{Vol_{in} - Vol_{out}}{Volume\ water\ table} \times 100$$

Dimana Vol_{in} adalah perubahan Volume saat ABP (masuk); Vol_{out} adalah perubahan Volume saat ABS (keluar); Vol water tabel adalah volume air pada sumur sampel di bawah kedalaman *Lowest Amplitudo Tide* (LAT).

Identifikasi kecenderungan perubahan volume air pada sumur sampel terhadap pergerakan pasang surut dan juga pengaruhnya pada perubahan parameter kualitas air terukur. dilakukan dengan pendekatan analisis statistik (Salnuddin *et al.* 2024). Analisis regresi diterapkan untuk mengetahui hubungan antara perubahan volume air dengan parameter kualitas air pada sumur sampel. Dua model regresi digunakan dalam analisis ini, yaitu regresi linear dan regresi polinomial orde dua. Model regresi linear menggunakan persamaan $Y = bX + C$, sedangkan model regresi polinomial orde dua menggunakan persamaan $Y = aX^2 + bX + C$, di mana Y adalah parameter kualitas air, X adalah perubahan volume air, a dan b adalah koefisien regresi, dan C adalah konstanta/*intersept*. Pemilihan model terbaik didasarkan pada nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi. Analisis regresi dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel.



Sumber data: Google earth dan sumber peta Salnuddin et al. (2024)

Gambar 1. Peta wilayah Kelurahan Fitu dan Titik Pengambilan Data

Data pengukuran, selanjutnya dikelompokkan berdasarkan kondisi pergerakan pasang surut yakni kondisi air bergerak pasang (ABP) dan kondisi air bergerak surut (ABS). Pengelompokan tersebut didasarkan pada penyesuaian waktu pengukuran, jika pengukuran kualitas air dilakukan saat kondisi ABP maka perubahan volume (ΔVol) pada sumur sampel akan bertambah (+), demikian pula sebaliknya saat ABS. Hasil perhitungan volume air dan perubahan volume dari pengaruh pergerakan pasang surut dikorelasikan dengan parameter kualitas air dan perubahannya sebagai bagian dari pengelolaan wilayah pesisir (Salnuddin 2016).

Data pengukuran, selanjutnya dikelompokkan berdasarkan kondisi pergerakan pasang surut yakni kondisi air bergerak pasang (ABP) dan kondisi air bergerak surut (ABS). Pengelompokan tersebut didasarkan pada penyesuaian waktu pengukuran, jika pengukuran kualitas air dilakukan saat kondisi ABP maka perubahan volume (ΔVol) pada sumur sampel akan bertambah (+) demikian pula sebaliknya saat ABS. Hasil perhitungan volume air dan perubahan volume dari pengaruh pergerakan pasang surut dikorelasikan dengan parameter kualitas air dan perubahannya sebagai bagian dari pengelolaan wilayah pesisir (Salnuddin 2016), Nilai volume air yang tertampung pada sumur sampel menjelaskan kemampuan tekanan air laut memasuki dan bekerja pada sistem akuifera yang ditunjukkan dengan persentase *flushing rate* yang terjadi.

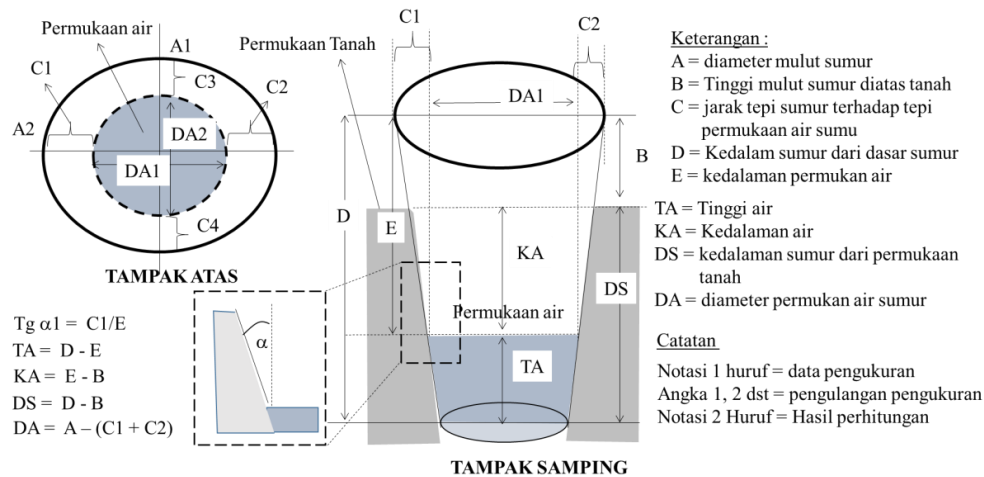
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Sumur Sampel dan Tunggang Air Pasang Surut

Hasil pengukuran dimensi sumur (Tabel 1) menunjukkan semakin jauh posisi sumur dari pantai maka kedalaman sumur menjadi semakin dalam. dan perhitungan posisi sumur sampel, diketahui bahwa sumur 1 berada sejauh 5,11 m dari titik ikat vertikal

BM (*Benhcmark*) yang berada di garis pantai, sedangkan sumur sampel 2 dan 3 masing-masing sejauh 8,64 cm dan 15,1 m (Gambar 3A). jarak miring tersebut secara horizontal tentunya akan lebih dekat dengan garis pantai. Hasil perhitungan tunggang air pasang surut diperoleh sebesar 193 cm, dimana nilai *Lowest Aplitudo Tide* (LAT) berada sejauh 152 cm di bawah nilai *Mean Sea level* harian (MSLh) sedangkan *Highest Amplitudo Tide* (HAT) berada 41 cm di atas MSL. Tinggi titik ikat di darat (BM) berada 2,3 cm. Nilai tunggang air pergerakan pasang surut terhadap kedalaman sumur sampel menunjukkan bahwa sumur sampel 1 dan 2 mempunyai kedalaman berada di bawah garis LAT, masing-masing sejauh 26,20 cm dan 109,20 cm. Kondisi tersebut menjelaskan bahwa saat surut terendah, sumur sampel masih mempunyai air (*water table*) dan berbeda dengan sumur sampel 3 yang kedalamannya 26 cm di atas garis LAT, sehingga tidak mempunyai volume *water table*. Besarnya volume *water table* masing-masing sumur sampel diperlihatkan pada Tabel 5.

Kedalaman sumur sampel terhadap tunggang air, memperlihatkan bahwa sumur sampel 1 dan 2 berpotensi mendapat pengaruh dari keseluruhan pergerakan pasang surut setinggi nilai tunggang air, namun pada sumur sampel 3 pengaruhnya hanya setinggi 167 cm. Pengaruh datum elevasi pergerakan pasang surut tersebut akan mengontrol aliran air pada akuifera untuk menuju laut dan menumpuk akibat beda densitas massa air. Penumpukan tersebut akan menaikkan tinggi air pada sumur sampel sebagai dampak keseimbangan hidrostatik pada sistem akuifera tanah (Gambar 3B). Variasi tinggi rendah kenaikan muka air pada sumur sampel memberikan informasi bahwa tekanan hidrostatik pada akuifera bekerja pada sumur sampel melalui perubahan volume air. Berdasarkan waktu pengukuran, sebagian besar pengukuran berada pada kondisi ABS (8 data) dan hanya 4 data pengukuran dalam kondisi ABP.



Catatan: untuk sumur dengan dasar berbentuk persegi juga menerapkan prinsip yang sama

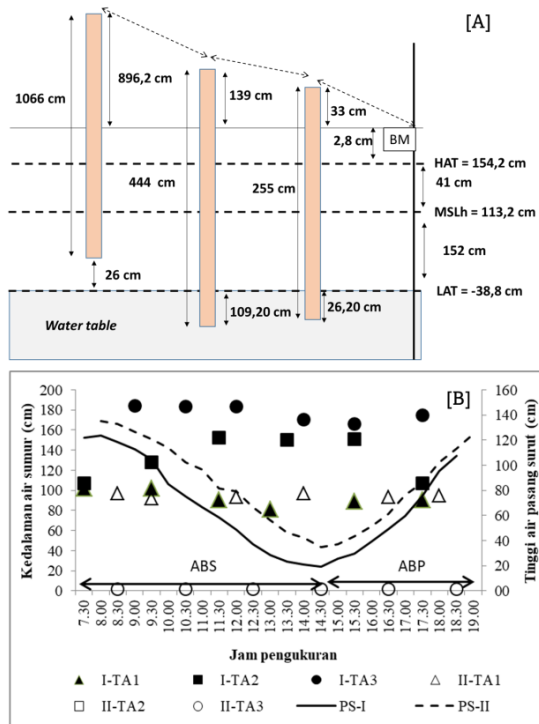
Gambar 2. Ilustrasi Bagian dan Pengukuran Dimensi Sumur Sampel

Tabel 1. Dimensi Sumur Sampel

Kode	Dimensi Sumur Sampel	Satuan	Sumur I		Sumur II*		Sumur III	
			U ₁	U ₂	Panjang	Lebar	U ₁	U ₂
A	Diameter mulut sumur	Cm	66	53	92	75	77	76
B	Tinggi sumur dari atas tanah	(m)	0,75		0,54		0,67	
C	Jarak tepi sumur terhadap tepi permukaan air sumu	(cm)	12	14	9	10	12	17
D	Kedalaman sumur dari dasar sumur	(m)	2,55		4,44		10,66	

Sumber: Data Penelitian; sesuaikan "kode" dengan keterangan pada Gambar 2

Keterangan : * = Sumur berbentuk persegi; U₁ dan U₂ adalah pengulangan pengukuran (sisi lain dari dimensi sumur)



Sumber: Hasil pengolahan data; (Gambar tanpa skala)

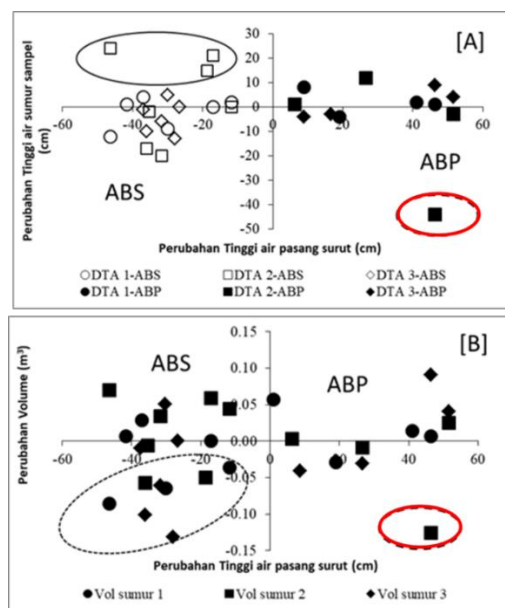
Gambar 3. Penampang Vertikal Kedalaman Sumur Sampel Terhadap Tunggai Air Pasang Surut (Atas) dan Variasi Kedalaman Air pada Sumur Sampel Terhadap Pergerakan Pasang Surut (Bawah)

3.2. Volume dan Perubahan Volume pada Sumur Sampel Terhadap Pergerakan Pasang Surut

Pengukuran dimensi sumur sampel (Tabel 1) menunjukkan sudut kemiringan kedalaman sumur sampel (C) relatif kecil dengan pergeseran diameter permukaan sumur dan di atas permukaan air berkisar 9 – 17 cm atau membentuk sudut (α°) berkisar 1,9° – 3,02°. Variasi kedalaman air sumur sampel (TA) relatif mengikuti pergerakan pasang surut meskipun kedalaman airnya mempunyai perbedaan yang kecil (Gambar 4) terutama pada sumur 1 dan 2, sedangkan pada sumur 3 tidak memperlihatkan perubahan yang signifikan.

Perubahan volume pada sumur sampel merupakan fungsi dimensi sumur sampel dan perubahan tinggi muka air, dimana perubahan tinggi muka air mengindikasikan kerja dari pergerakan pasang surut. Perhitungan tinggi air pasang surut dan perubahan kedalaman air pada sumur sampel menunjukkan fenomena yang unik (Gambar 4A), meskipun secara umum tinggi air pada sumur sampel mengikuti pola pergerakan pasang surut. Keunikan ditunjukkan dengan berkurangnya tinggi air pada sumur sampel saat kondisi air bergerak pasang/ABP (lingkaran putus-putus) dan juga saat air bergerak surut/ABS (lingkaran). Fenomena yang terjadi di sumur sampel 2, terjadi pada sumur sampel lainnya, namun dengan perubahan tinggi air yang relatif kecil (< 7 cm) dan penyebarannya berada di sekitar sumbu axis. Perubahan kecil yang terjadi pada sumur sampel

lebih disebabkan oleh faktor permeabilitas tanah pada lapisan akuifera (Werner & Simmons 2009), sehingga perubahan tinggi air pasang surut terhalang dan memperlambat naik turunnya air pada sumur sampel (Gambar 4). Faktor tersebut ditunjukkan pada data pengukuran saat berada pada titik balik pergerakan pasang surut dari bergerak pasang ke surut atau sebaliknya atau saat kondisi *slack water* (Salnuddin *et al.* 2017). Berdasarkan waktu terjadinya *slack water* di siang hari (jam 14.00 – 15.00 WIT) menunjukkan bahwa saat pengukuran pasang surut dilakukan saat fase bulan purnama (Salnuddin 2017), sehingga pergerakan tinggi air dari pergerakan pasang surut maksimum.



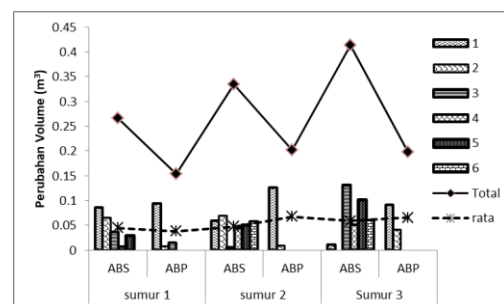
Sumber: Hasil pengolahan data

Gambar 4. Perubahan Tinggi Air Pasang Surut, Kedalaman Air dan Perubahan Volume pada Sumur Sampel

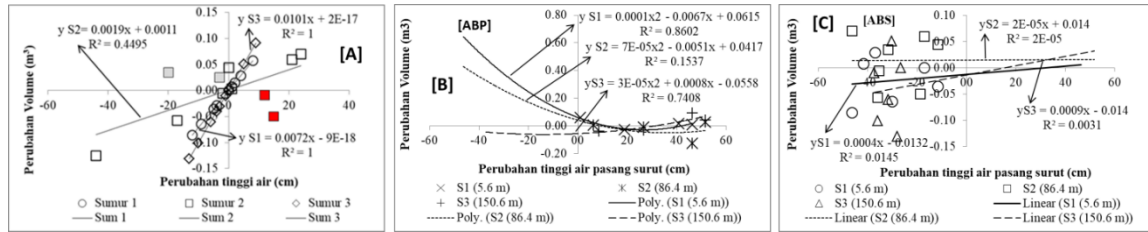
Kecepatan perubahan tinggi air pada pergerakan pasang surut, tidak diikuti secara langsung dengan perubahan tinggi air pada sumur sampel, dibutuhkan waktu minimal 27 menit setelah waktu terjadinya *slack water* mulai memperlihatkan perubahan tinggi air pada sumur sampel. kondisi tersebut menunjukkan adanya mekanisme keseimbangan hidrostatik dan permeabilitas pada sistem akuifera lapisan tanah (Huntley 1986). Perubahan tinggi air pada sumur sampel, akan menentukan perubahan volume air pada sumur tersebut. Perhitungan volume air yang berada di bawah garis LAT (*water table*) pada sumur sampel 1 dan 2 masing-masing sebesar 0,19 m³ dan 1,11 m³. Perubahan tinggi air pada sumur sampel

(Gambar 4B) menunjukkan pola perubahan volume air terhadap pasang surut dengan perubahan tinggi air yang kecil namun perubahan volume yang besar, kecuali yang ditunjukkan pada sumur sampel 2 (Lingkaran merah) dengan penambahan volume yang kecil. Kecilnya perubahan volume air tersebut akibat saat pengambilan data (jam 08.00 – 10.00 WIT) merupakan waktu maksimum penggunaan sumur oleh masyarakat, sedangkan waktu penggunaan air minimum terjadi pada jam 12:00 – 1400 WIT dimana perubahan volume air pada sumur sampel ditunjukkan pada lingkaran hitam (Gambar 4) saat kondisi ABS. Variasi perubahan volume air tersebut, diduga pula akibat sistem akuifera yang berbeda di sekitar sumur sampel (Hussain *et al.* 2019).

Hasil analisis statistik untuk pengaruh pergerakan tinggi air dan perubahan volume air pada sumur sampel (Gambar 5) dan ditabulasikan pada Tabel 3 memperlihatkan bahwa perubahan volume air pada sumur sampel 1 dan 3 menunjukkan pola yang konsisten (Gambar 5A) antara perubahan tinggi air dan perubahan volume ($R^2 = 100\%$) dengan tingkat perubahan pada sumur 1 lebih kecil ($b = 0,007$ m³/cm) perubahan tinggi air, dibandingkan dengan sumur sampel 3 ($b = 0,01$ m³/cm). Perbedaan tersebut diketahui pula perbandingan perubahan volume air saat ABP dan ABS. Volume air pada sumur sampel 1 saat ABP < ABS (Gambar 5B dan 5C) masing-masing 0,02 m³ (35%) dan 0,04 m³ (65%), kondisi tersebut menunjukkan bahwa air yang terdapat pada sumur sampel 1 dominan rembesan dari arah darat melalui akuifera (Trglavcnik 2016). Besarnya volume air yang masuk pada sistem sumur gali masyarakat memperlihatkan bahwa saat ABS lebih banyak air yang masuk ke sistem sumur dibandingkan saat ABP (Gambar 6). Kondisi tersebut disebabkan saat ABS air bergerak, air yang terdapat pada akuifera bergerak secara gravitasi menuju daerah yang lebih rendah (Fenton *et al.* 2011).



Gambar 5. Fluktuasi Volume Air yang Masuk dan Keluar Sumur Sampel



Gambar 6. Perubahan Tinggi Air Terhadap Perubahan Volume Air pada Sumur Sampel

Tabel 2. Nilai Parameter Kualitas Air Terukur saat Kondisi ABS dan ABP

Kondisi Pasang Surut	Lokasi pengukuran	Nilai	Parameter Kualitas Air						
			pH	DO %	DHL (µS/cm)	TDS (ppt)	Salinitas PSU	Suhu °C	Tekanan mbar
Air Bergerak Pasang (ABP)	Pantai (N = 5)	Maksimum	7,9	95,5	540,3	24,7	36,2	26,3	999,7
		Minimum	7,8	60,2	478,2	24,1	34,6	25,0	997,2
		Rata-rata	7,8	82,4	498,0	24,3	35,4	25,5	997,8
		Deviasi	0,05	15,22	25,08	0,30	0,72	0,48	1,08
	Sumur 1 (N = 4)	Maksimum	6,8	71,3	596,0	300,0	0,3	24,5	997,6
		Minimum	6,7	36,3	513,0	255,0	0,3	24,4	997,1
		Rata-rata	6,7	47,8	548,5	273,8	0,3	24,4	997,3
		Deviasi	0,06	16,50	35,63	19,31	0,02	0,02	0,22
	Sum 2 (N = 4)	Maksimum	6,5	65,5	642,0	321,0	0,3	24,1	997,8
		Minimum	6,4	33,3	626,0	313,0	0,3	14,1	997,1
		Rata-rata	6,4	48,1	632,0	316,3	0,3	21,6	997,4
		Deviasi	0,04	15,34	7,12	3,59	0,01	5,01	0,30
	Sum 3 (N = 4)	Maksimum	6,3	71,1	456,0	228,0	0,2	23,4	997,2
		Minimum	6,3	38,5	451,0	226,0	0,2	23,2	996,4
		Rata-rata	6,3	55,2	453,0	226,8	0,2	23,3	996,8
		Deviasi	0,02	15,21	2,16	0,96	0,00	0,08	0,37
Air Bergerak Surut (ABS)	Pantai (N = 7)	Maksimum	7,9	97,2	4963,0	24,8	36,0	26,8	1000,9
		Minimum	7,8	71,0	4721,0	23,7	33,1	25,2	997,8
		Rata-rata	7,8	85,8	4859,1	24,3	35,1	26,0	999,7
		Deviasi	0,06	10,33	108,96	0,52	1,07	0,56	0,98
	Sum 1 (N = 8)	Maksimum	6,9	46,6	542,0	273,0	0,3	24,4	1000,9
		Minimum	6,7	18,8	506,0	253,0	0,3	24,2	997,2
		Rata-rata	6,7	26,8	527,9	264,6	0,3	24,3	999,3
		Deviasi	0,07	8,70	12,10	6,78	0,01	0,07	1,18
	Sum 2 (N = 8)	Maksimum	6,6	49,3	643,0	322,0	0,3	24,6	999,5
		Minimum	6,4	22,8	622,0	312,0	0,3	23,9	997,5
		Rata-rata	6,5	31,5	629,3	314,8	0,3	24,2	998,6
		Deviasi	0,06	8,78	7,81	3,41	0,01	0,23	0,79
	Sum 3 (N = 8)	Maksimum	6,4	56,3	457,0	228,0	0,2	23,7	999,3
		Minimum	6,2	28,5	447,0	224,0	0,2	23,2	996,7
		Rata-rata	6,3	40,6	451,4	225,6	0,2	23,4	998,2
		Deviasi	0,06	11,57	3,70	1,60	0,00	0,16	0,94

Sumber: Data penelitian; Keterangan: Sum = sumur; N = jumlah data

Perubahan volume air pada sumur sampel 2 dan 3 saat ABP dan ABS berbeda dengan kondisi yang terjadi pada sumur sampel 1, dimana pada sumur sampel 1, saat ABP volume air sebesar $0,05\text{ m}^3$ atau lebih besar dibandingkan saat ABS ($0,04\text{ m}^3$) dengan selisih yang sama sebesar $0,01\text{ m}^3$. Kondisi tersebut menggambarkan adanya pengaruh sistem hidrodinamika dari aliran air tanah pada sistem akuifera (Lee *et al.* 2019, Lesmana *et al.* 2021), dimana pada sumur sampel 1 yang dekat dengan pantai mendapat pasokan penambahan air yang lebih besar dibandingkan sumur sampel 2 (Gambar 4). Penambahan volume air berdasarkan kondisi pasang surut menunjukkan bahwa saat ABS penambahan volume air lebih besar dibandingkan saat ABP (Gambar 6). Perbedaan penambahan volume air 902

tersebut mengindikasikan bahwa adanya aliran yang masuk pada sumur sampel 2 dan 1 akibat posisi sumur sampel yang lebih rendah, dengan adanya aliran gravitasi bagian atas menuju ke pantai saat pergerakan air surut (Cantelon *et al.* 2022).

Parameter kualitas air di pantai terhadap parameter kualitas air di sumur sampel untuk parameter pH, Tekanan permukaan dan salinitas (Tabel 2) memberikan nilai deviasi yang relatif sama (nilai kecil) dengan nilai rata-rata masing-masing yang berbeda, kecuali pada parameter tekanan. Parameter pH secara umum menunjukkan nilai perbedaan yang kecil, namun memberikan informasi kadar TDS sekaligus sebagai indikator terjadinya instruksi (Widada 2007). Nilai parameter tekanan rata-rata di keseluruhan titik pengukuran rata-rata

sebesar 997 mbar atau mendekati nilai tekanan 1 Atm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa secara hidrostatik sumur sampel berada dalam keadaan keseimbangan pada sistem aliran di akuifera (Lee *et al.* 2019) dan tetap terjadi proses hidrodinamika yang ditunjukkan oleh nilai deviasi parameter lain seperti suhu, salinitas dan volume. Nilai parameter suhu di sumur sampel dan pantai mempunyai nilai yang relatif sama berkisar 24-25°C dengan deviasi yang kecil ($dev < 10^\circ C$) kecuali pada sumur sampel 2 dengan suhu rata-rata lebih rendah 21,51°C ($dev = 5,01^\circ C$). Nilai suhu tersebut dan tekanan permukaan mengindikasikan adanya aliran dan perubahan volume atau kadar material pada sumur sampel 2, Bukti aliran ditunjukkan oleh nilai parameter DHL dan TDS yang lebih besar dibandingkan sumur sampel lainnya.

3.3. Perubahan Volume Air dan Parameter Kualitas Air pada Sumur Sampel

Parameter kualitas air terukur pada perairan pantai dan sumur sampel memperlihatkan bahwa ketujuh parameter kualitas air (Tabel 2), parameter DO mempunyai nilai deviasi yang besar untuk seluruh lokasi pengukuran, dimana pada perairan pantai kadar DO mempunyai nilai $84,42 \pm 12,06 \%$, disusul oleh kadar DO di sumur sampel 1 dan 3 masing-masing $33,81 \pm 15,12 \%$ dan $45,44 \pm 14,15\%$. Parameter TDS (ppt) dengan deviasi tertinggi dijumpai pada sumur sampel 1 dan 2 masing-masing $267,67 \pm 12,29$ ppt dan $315,25 \pm 3,39$ ppt, kadar tersebut menunjukkan bahwa sumur sampel yang jauh dari pantai maka makin kecil kadar TDS

(Afrianita *et al.* 2017, Sari *et al.* 2023), namun pada sumur sampel 2 kadar TDS lebih besar dibandingkan pada sumur sampel 1. Kondisi tersebut disebabkan lokasi sumur sampel 2 berada pada daerah cekungan Fitu (Parnadi & Salam 2022). Fenomena kadar TDS, serupa dengan nilai DHL dimana pada sumur sampel 2 mempunyai kadar yang lebih tinggi ($630,17 \pm 7,38 \mu S/cm$) dibandingkan pada sumur sampel 1 ($534,75 \pm 23,29 \mu S/cm$). Nilai DHL yang terukur menunjukkan karakter air tanah segar (Mandel 2012).

Nilai deviasi yang besar untuk parameter kualitas air tertentu pada sumur sampel, menggambarkan bahwa data yang terukur mempunyai nilai yang berbeda dibandingkan hasil pengukuran parameter yang sama di waktu yang berbeda atau menginformasikan bahwa parameter tersebut sensitif dengan perubahan lingkungan. Hasil analisis regresi untuk mengidentifikasi kecenderungan perubahan kualitas air terhadap perubahan volume air (Tabel 3) menunjukkan bahwa sebagian besar persamaan yang dihasilkan mempunyai nilai determinan yang kecil ($R^2 < 50\%$) meskipun telah menggunakan dua pendekatan (linear atau polinomial) agar menghasilkan nilai R^2 yang lebih besar. Nilai koefisien determinan (R^2) tertinggi hanya dijumpai pada persamaan perubahan volume air terhadap parameter DO di sumur sampel 2 ($R^2 = 72\%$). Memperhatikan nilai koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan menjelaskan bahwa perubahan volume air bukan faktor dominan utama penyebab perubahan kualitas air pada sumur sampel, namun disebabkan oleh faktor yang kompleks.

Tabel 3. Persamaan Regresi Perubahan Volume Air dan Nilai Parameter Kualitas Air pada Sumur Sampel

Par	Sumur Sampel 1 ¹⁾				Sumur Sampel 2 ¹⁾				Sumur Sampel 3 ¹⁾			
	aX ²	bX	C	R ²	aX ²	bX	C	R ²	aX ²	bX	C	R ²
pH	17,77	2,22	-0,04	0,23	-	-0,47	-0,02	0,07	0,61	0,09	-0,01	0,01
DO	855,6	19,42	1,82	0,02	1007,6	29,85	7,72	0,72	782,2	23,8	1,24	0,29
DHL	-2791,3	-124,9	13,1	0,12	-280,3	38,87	1,88	0,17	-682,2	2,25	4,04	0,47
TDS	-1024,1	-29,5	5,86	0,05	393,7	2,15	-0,09	0,04	-278,3	-0,26	0,70	0,07
Sal	-1,20	-0,05	0,01	0,04	0,17	0,05	0,001	0,11	0	0	0	N/A
Suhu	-14,01	-0,27	0,01	0,10	-	-2,99	-0,03	0,33	-33,82	-1,99	0,05	0,08
Tek	-182,3	-3,13	0,08	0,06	-76,1	0,51	-0,05	0,04	-158,9	-4,60	0,001	0,10

Sumber: Hasil analisis data;

Keterangan: *) = Mengambil persamaan (trendline) dengan nilai R^2 tertinggi dari analisis regresi linear dan polinomial; Par = parameter; X = perubahan volume air; a dan b = koefisien korelasi, C = intercept; R^2 = koefisien determinan; N/A = tidak dapat dianalisis.

Tabel 4. Selisih Nilai Baku Mutu Terhadap Nilai Parameter Kualitas Air Sumur Sampel

Parameter	Pantai	Sumur 1		Sumur 2		Sumur 3		Baku Mutu
		Nilai	Selisih	Nilai	Selisih	Nilai	Selisih	
pH	8,0	6,95	1,55	6,65	-1,85	6,47	-2,03	8,5
DO (%)	110,7	87,8	-7,8	80,84	-0,84	86,31	-6,31	< 80% ²⁾
DHL ($\mu S/cm$)	5072,0	631,6	868,4	650,81	849,19	460,70	1039,30	< 1500 ¹⁾
TDS (ppt)	25,3	319,3	-19,3	325,41	-25,41	229,60	70,40	< 300 ¹⁾
Salinitas (PSU)	37,0	0,342	0,158	0,3458	0,15	0,24	0,26	< 0,5 ¹⁾
Suhu ($^\circ C$)	27,3	24,51	5,787	29,145	1,15	23,86	6,44	SU** + 3 ²⁾
Tekanan (mbar)	1001,9	1002	-	1000,3	-	1000,2	-	***

Sumber: Hasil analisis data; *** = baku mutu Tekanan tidak terdapat dalam Permenkes No 2 Tahun 2023;

Keterangan: * Nilai = rata-rata (nilai maksimum + deviasi) pada Tabel 2; Selisih = nilai baku mutu - nilai parameter, SU** = suhu udara rata-rata 27,3 $^\circ C$ (sumber data BPS (2023a)); a) baku mutu menurut Permenkes No 2 Tahun 2023; 1) baku mutu wajib air minum, 2) baku mutu media air permandian umum.

Persamaan regresi (Tabel 3), untuk parameter DO pada sumur sampel 2 dan parameter DHL pada sumur sampel 3 dengan nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi dari semua parameter kualitas air yang terpengaruh dengan penambahan volume air dengan bentuk persamaan masing-masing:

$$DO = 1007,6(\Delta Vol)^2 + 29,85(\Delta Vol) + 7,72 \quad (R^2 = 0,72)$$

$$DHL = -682,2(\Delta Vol)^2 + 2,25(\Delta Vol) + 4,04 \quad (R^2 = 0,47)$$

Persamaan regresi tersebut menunjukkan kecenderungan (72% data) akan mengalami peningkatan kadar DO sebesar 29,85 %, dengan penambahan satu satuan volume air (m^3) di sumur sampel 2, kecenderungan tersebut menjelaskan adanya potensi penambahan volume air bersumber dari pergerakan pasang surut namun berbeda dengan kecenderungan yang terjadi pada sumur sampel 3 ($R^2 = 0,02$) yang tidak terpengaruh langsung oleh pergerakan pasang surut. Parameter kualitas air yang terpengaruh pada penambahan volume pada sumur sampel 3 ditunjukkan pada parameter DHL ($R^2 = 0,47$) yang menjelaskan bahwa 47 % data memberikan kontribusi pengaruh penambahan volume air sebesar 2,25 $\mu S/cm$. untuk nilai parameter DHL. Perubahan kadar parameter tersebut menunjukkan bahwa penambahan volume air pada sumur sampel 3 berasal dari aliran air tanah yang mengandung ion dari hasil mineralisasi atau pelapukan batuan (Febriarta 2020, Lesmana *et al.* 2021) dan tertampung pada ruang sumur gali. Kondisi tersebut juga ditunjukkan pula pada nilai salinitas terukur selama pengukuran relatif sama (deviasi kecil) namun nilai DHL lebih tinggi (Tabel 2) saat pengukuran dilakukan dengan kondisi ABS.

Kisaran nilai parameter kualitas air (Tabel 2) terhadap nilai baku mutu pada ketiga sumur sampel menunjukkan kadar masih berada di bawah nilai baku mutu menurut Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan (SBMKL) yang termuat dalam Permenkes No. 2 Tahun 2023 untuk kelayakan air minum dan untuk permandian umum. Pendekatan analisis dengan menggunakan nilai selisih dari parameter kualitas air terhadap nilai SBMK, dapat diartikan sebagai nilai potensial penurunan kualitas air pada sumur sampel, dimana nilai parameter kualitas air adalah akumulasi dari nilai rata-rata dan deviasinya. Hasil perhitungan (Tabel 4) memperlihatkan bahwa selisih terendah lebih banyak terjadi pada sumur sampel 2 untuk parameter DHL, TDS, salinitas, suhu dan pH (hitam tebal), sedangkan pada sumur sampel 3 hanya parameter DO yang mendekati batas dari nilai baku mutu. Parameter yang berpotensi melebihi nilai baku mutu (kotak) dijumpai pada sumur sampel 1 dan 2 untuk parameter pH dan TDS, dimana besarnya nilai selisih yang dihasilkan (tanda minus) dari parameter tersebut akan mencapai nilai baku mutu.

Informasi dari Tabel (4) dapat diduga bahwa faktor *flushing rate* pada sumur sampel 2 (Tabel 5) yang lebih kecil (13,7%) dari volume air yang tertampung pada sumur sampel sangat berpotensi menghasilkan penumpukan material (Cantelon *et al.* 2022) dan akan menurunkan kualitas air terutama untuk parameter TDS (Sari *et al.* 2023), Pada sumur sampel 1 penurunan parameter pH yang cenderung membuat air menjadi asam diduga lebih banyak berasal dari masuknya serasah sebagai material berurukan clay (Huntley 1986) yang ikut bersama aliran air saat ABS dan juga faktor *flushing rate* yang lebih besar (56,6%) dengan volume *water table* yang lebih besar (Trglavcnik 2016).

Tabel 5. Hasil Perhitungan Flushing Rate

Lokasi	Perubahan Volume air (m^3)			FR
	Vol _{in}	Vol _{out}	WT	
Sumur 1	0,115	0,222	0,19	0,566
Sumur 2	0,287	0,134	1,11	0,137
Sumur 3	0,132	0,354	-	-

Catatan: WT = Volume air Water table, FR= Flushing rate

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data, dapat disimpulkan bahwa kenaikan permukaan air pada sumur sampel membutuhkan waktu minimal 27 menit setelah titik balik pergerakan pasang surut. Variasi perubahan volume air menunjukkan pola yang berbeda pada setiap sumur sampel, dengan sumur sampel 1 lebih dominan terjadi saat air bergerak surut (65%), sedangkan pada sumur sampel 2 dan 3 dominan terjadi saat air bergerak pasang. Potensi perubahan kualitas air pada sumur sampel 2 lebih besar, disebabkan oleh kemampuan *flushing* yang kecil (13,7%) dibandingkan pada sumur sampel 1 (56,6%), mengakibatkan penumpukan material yang lebih besar. Analisis regresi mengungkapkan bahwa penambahan volume air bukan merupakan faktor dominan dalam perubahan kualitas air pada sumur gali masyarakat di Kelurahan Fitu, sekaligus menunjukkan kompleksitas sistem akuifer di wilayah tersebut sebagai daerah pulau kecil gunung api.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan pada warga kelurahan Fitu atas izin penggunaan sumur sampel selama pengambilan data dilakukan. Terima kasih pula disampaikan pada kelompok studi dan riset mahasiswa *Marine Instrumentation and Accoustic* (MIC) atas bantuan dalam pengambilan data lapangan. Ucapan yang sama kepada editor dan reviewer yang membantu dalam peningkatan kualitas artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

Achmad R, Hadi MP, Purnama S. 2016. Kerentanan Penyusupan Air Laut Di Pesisir Utara Pulau Ternate (Vulnerability of Sea Water Intrusion in Northern

- Salnuddin, Wahidin, N., Malaka, H., Humaida, N., Alhadad, M. S., dan Daud, A. H. (2025). Determinasi Perubahan Volume Air Terhadap Nilai Parameter Kualitas Air pada Sumur Gali Masyarakat di Kelurahan Fitu – Kota Ternate Selatan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(4), 896-906. doi:10.14710/jil.23.4.896-906
- Coastal of Ternate Island). *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 23(2): 163-168. doi: <https://doi.org/10.22146/jml.18787>.
- Adelina C, Gamal A, Marthanty D. 2021. Literature Review: How Does Water Play a Role in Forming Land Value? Di dalam: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. hlm. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/837/1/012011>; 1755-1315
- Afrianita R, Edwin T, Alawiyah A. 2017. Analisis intrusi air laut dengan pengukuran Total Dissolved Solids (TDS) air sumur gali di Kecamatan Padang Utara. *Jurnal Dampak*. 14(1): 62-72. doi: <https://doi.org/10.25077/dampak.14.1.62-72.2017>.
- Aji MT, Jailani AQ. 2020. Studi Kualitas Air Tanah Kota Magelang Akibat Dampak Limbah Domestik dan Industri Study of Groundwater Quality in Magelang City Due to the Impact of Domestic and Industrial Waste. *Journal of Aquaculture*. 5(2): 120-128. doi: <https://doi.org/10.31093/joas.v5i2.122>
- Bemba; J, Salnuddin; Wahidin; N. 2019. Uji akurasi pembacaan motiwali terhadap jarak transduser dengan densitas permukaan medium yang berbeda. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 11(2): 323-334. doi: <https://doi.org/10.29244/jitkt.v11i2.21662>.
- BPS, 2023a, Kota Ternate Dalam Angka 2023. . Ternate BPSK. Kota Ternate, Ternate. ©BPS Kota Ternate. 102001.8271
- BPS, 2023b, Kota Ternate Selatan Dalam Angka 2023. Ternate BPSK. Kota Ternate, Ternate. ©BPS Kota Ternate. 1102001.8271020
- Cantelon JA, Guimond JA, Robinson CE, Michael HA, Kurylyk BL. 2022. Vertical saltwater intrusion in coastal aquifers driven by episodic flooding: A review. *Water Resources Research*. 58(11): e2022WR032614. doi: <https://doi.org/10.1029/2022WR032614>.
- Dishidros, 2008, Daftar arus pasang surut kepulauan Indonesia. tidal stream tables : Jawatan Hidro-Oceanografi, Jakarta. Dinas Hidro-Oceanografi TNI Angkatan Laut, <https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpac.aspx?id=421010#>
- Febriarta E. 2020. Kajian kualitas air tanah dampak intrusi di sebagian pesisir Kabupaten Tuban. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*. 17(2): 39-48. doi: <https://doi.org/10.15294/jg.v17i2.24143>.
- Fenton O, Schulte RP, Jordan P, Lalor ST, Richards KG. 2011. Time lag: a methodology for the estimation of vertical and horizontal travel and flushing timescales to nitrate threshold concentrations in Irish aquifers. *Environmental Science & Policy*. 14(4): 419-431. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.03.006>.
- Gufran M, Mawardi M. 2019. Dampak pembuangan limbah domestik terhadap pencemaran air Tanah di Kabupaten Pidie Jaya. *Jurnal Serambi Engineering*. 4(1): 416-425. doi: <https://doi.org/10.32672/jse.v4i1.852>.
- Huntley D. 1986. Relations between permeability and electrical resistivity in granular aquifers. *Groundwater*. 24(4): 466-474. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1986.tb01025.x>.
- Hussain MS, Abd-Elhamid HF, Javadi AA, Sherif MM. 2019. Management of seawater intrusion in coastal aquifers: a review. *Water*. 11(12): 2467. doi: <https://doi.org/10.3390/w11122467>.
- ICSM-PCTMS., 2021, Australian Tides Manual SP9 Version 6. Level PCOTAMS, Darwin. Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, <https://www.icsm.gov.au/publications/sp9-australian-tides-manual-version-6-june-2021>
- Indrajaya. 2020. Identification Of Urban Slums Fitu Village In The South Ternate District Of The Ternate City Of North Maluku Province. . *Jurnal Ilmiah Ecosystem Universitas Bosowa*. 20(2): 140-149. <https://journal.unibos.ac.id/eco/article/view/760>
- Indriatmoko RH. 2016. Analisis Terhadap Perubahan Salinitas Air Tanah Dangkal Pada Sistem Akuifer Tak Tertekan Cekungan Jakarta. *Jurnal Air Indonesia*. 9(1). doi: <https://doi.org/10.29122/jai.v9i1.2474>.
- IOC, 2006, Manual on sea level measurement and interpretation. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, DOI: <https://doi.org/10.25607/OBP-1398>
- Kodoatie RJ. 2012. *Tata ruang air tanah*. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.^979293250X^540.p
- Lee WD, Jeong YH, Jeon HS. 2019. Groundwater flow Analysis In A Coastal Aquifer With The Coexistence Of Seawater And Freshwater By Using A Non-Hydrostatic Pressure Model. *Journal of Coastal Research*. 91(SI): 121-125. doi: <https://doi.org/10.2112/SI91-025.1>.
- Lesmana A, CSSSA BY, Iskandarsyah TYWM. 2021. Karakteristik Hidrokimia Air Tanah Pada Bagian Timur Cekungan Air Tanah Bandung–Soreang: Studi Kasus Sebagian Kecamatan Cicalengka Dan Kecamatan Cimanggung, Provinsi Jawa Barat. *Geoscience Journal*. 5(6): 546-561
- Malaka H. 2015. Pemodelan Kebutuhan Air dan Ketersediaan Air Tanah di Pulau Tidore. Thesis. Bogor: IPB (Bogor Agricultural University). . <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/77254>
- Mandel S. 2012. *Groundwater resources: investigation and development*. Elsevier.^0323157823^
- Marganingrum D, Ismail MFA, Wulan DR. 2023. Assessment of shallow groundwater contamination on Pari Island, Indonesia. *Environmental Monitoring and Assessment*. 195(1): 87. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10649-w>.
- Mayer B, Stacke T, Stottmeister I, Pohlmann T. 2015. Sunda Shelf Seas: flushing rates and residence times. *Ocean Science Discussions*. 12(3): 863-895. doi: <https://doi.org/10.5194/osd-12-863-2015>.
- Mongabay. (2017). "Ternate Menuju Masa Krisis Air (Bagian 1)." Retrieved 03/10/2023, from <https://www.mongabay.co.id/2017/12/13/ternate-menuju-masa-krisis-air-bagian-1/>.
- Mulyono PF, Putro H. 2019. Analisis Ketahanan Air Di Kota Ternate Provinsi Maluku Utara. *Jurnal Teknik* 905

- Pengairan: *Journal of Water Resources Engineering*. 10(2): 120-125. doi: <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2019.010.0>
- Parnadi WW, Salam R. 2022. Identifikasi Akuifer Air Tanah Di Kaki Gunung Api Gamalama Pulau Ternate Menggunakan Data Geolistrik Tahanan Jenis 2-Dimensi. *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya*. 9(2): 65-78. doi: <https://doi.org/10.24252/jft.v9i2.33725>.
- Prasetyo CP. 2022. Pengaruh Air Limbah Domestik Pada Kualitas Air Tanah di Kelurahan Bandar Kidul Kota Kediri. *JURNAL TECNOSCIENTIA*. 7(1):115-133. doi: <https://doi.org/10.51158/tecnoscienza.v7i1.803>.
- Robo T, Sofyan A, Banapon J. 2019. Kajian Intrusi Air Laut Terhadap Kualitas Air Tanah Di Kelurahan Gambesi Kecamatan Ternate Selatan Kota Ternate. *Pangea: Wahana Informasi Pengembangan Profesi dan Ilmu Geografi*. 1(01). doi: <https://doi.org/10.33387/pangea.v1i1.1185>.
- Salam R, Nagu N, Lessy MR, Achmad R. 2018. Gambaran Resistivitas Batuan Bawah Permukaan Daerah Intursi Air Laut (Studi Kasus Pulau Ternate). *GEOSAINS KUTAI BASIN*. 1(1).doi:<https://doi.org/10.30872/geofisunmul.v1i1.165>.
- Salnuddin S. 2016. Penentuan Karakter Pasang Surut Dengan Metode Manzilah Untuk Mendukung Upaya Perencanaan, Pemanfaatan Dan Pengelolaan Wilayah Pesisir. Di dalam: Prosiding Seminar Nasional Kemaritiman dan Sumber Daya Pulau-Pulau Kecil. Univ. Khairun-Ternate108-120. <https://ejournal.unkhair.ac.id/index.php/ksppk/article/view/455>
- Salnuddin S. 2017. Indikator Penciri Penanggalan Hijriah pada Pergerakan Pasang Surut. *AHKAM: Jurnal Ilmu Syariah*. 17(2). doi: <https://doi.org/10.15408/ajis.v17i2.5686>.
- Salnuddin S, Bemba J, Harahap ZA, Kader MF, Wahidin N, Ichsan KH, Taeran I. 2024. Pengaruh Pergerakan Pasang Surut terhadap Perubahan Kualitas Air Sumur Gali Masyarakat di Pesisir Kelurahan Fitu-Kota Ternate Selatan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 22(3): 781-792. doi: <https://doi.org/10.14710/jil.22.3.781-792>.
- Salnuddin S, Nurjaya IW, Jaya I, Natih NM. 2017. Ethnoceanography dan titik temu aspek Syar'ī dalam penentuan awal bulan Ramadhan dan Syawal oleh Joguru Kesultanan Tidore. *Al-Ahkam*. 27(1): 111-132. doi: <https://doi.org/10.21580/ahkam.2017.27.1.1073>.
- Salnuddin, Nurjaya; IW, Jaya; I, Natih;" MM. 2015. Perhitungan Tunggang Air Pasang Surut Berdasarkan Kearifan Lokal Masyarakat Suku Sama di Wilayah Timur Indonesia. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 7. doi: <https://doi.org/10.29244/jitkt.v7i1.9817>.
- Sari NR, Putra SA, Abrar A. 2023. Analisis Intrusi Air Laut Dengan Pengukuran Total Dissolved Solid (TDS) dan Turbidity Air Sumur Gali di Kecamatan Dumai Selatan. *SLUMP TeS: Jurnal Teknik Sipil*. 1(2):91-100. doi: <https://doi.org/10.52072/slumpes.v1i2.384>.
- Simamora EAS, Rizka R, Parnadi WW, Salam R. 2022. Aplikasi Electrical Resistivity Tomography (ERT) Untuk Menentukan Interface Air Tawar Dan Air Asin di Pesisir Pulau Ternate. *Jurnal Geosaintek*. 8(2): 206-215. doi: <http://dx.doi.org/10.12962/j25023659.v8i2.13827>
- Trglavcnik VA. 2016. Combined Analysis of Tide-and Wave-induced Water Table Fluctuations for Structural Characterization of a Coastal Aquifer Canada: The University of Western Ontario.
- Wahyono SC, Siregar SS, Minarto O, Wianto T, Sari N. 2021. Impact of Seawater Intrusion on Freshwater Quality in Coastal Area of South Kalimantan. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*. 7:3. doi: <https://doi.org/10.22161/ijeab>.
- Werner AD, Simmons CT. 2009. Impact of sea-level rise on sea water intrusion in coastal aquifers. *Groundwater*. 47(2): 197-204. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2008.00535.x>.
- Widada S. 2007. Gejala intrusi air laut di daerah pantai kota pekalongan. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*. 12(1):45-52