

# Pengaruh Pergerakan Pasang Surut terhadap Perubahan Kualitas Air Sumur Gali Masyarakat di Pesisir Kelurahan Fitu – Kota Ternate Selatan

Salnuddin<sup>1\*</sup>, Jefry Bemba<sup>1</sup>, Zulhan Arifin Harahap<sup>1</sup>, Muhammad Faisal Kader<sup>1</sup>, Nurhalis Wahidin<sup>2</sup>, Kusdi Hi Ichsan<sup>2</sup>, dan Imran Taeran<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Unkhair; email: [sal.unkhair@gmail.com](mailto:sal.unkhair@gmail.com)

<sup>2</sup>Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Unkhair

<sup>3</sup>Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, unkhair

## ABSTRAK

Air merupakan salah satu elemen penting yang menyokong keberlangsungan hidup manusia tak terkecuali masyarakat pesisir Kelurahan Fitu- Kota Ternate Selatan yang berada di wilayah pulau kecil dan gunung api. Sumber air bersih masyarakat pesisir umumnya bersumber dari sumur gali dan memiliki potensi dicemarkan oleh berbagai macam faktor terutama intrusi air laut. Penelitian bertujuan untuk mendeterminasi pengaruh pergerakan pasang surut terhadap perubahan kualitas sumur gali dalam upaya determinasi karakteristik dan parameter penciri intrusi air tanah di pulau kecil gunung api. Pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran dan observasi dengan bantuan instrument survei sedangkan analisis data menggunakan persamaan umum matematik serta analisis statistik regresi linear sederhana dengan 3 pendekatan analisis berdasarkan input data yang diberikan. Hasil analisis Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa pendekatan analisis III lebih informatif dalam mendeterminasi pola hubungan pergerakan pasang surut dan perubahan kualitas air tanah di sumur gali masyarakat. Kecenderungan hubungan tersebut lebih konsisten berdasarkan nilai "b" (koefisien korelasi) yang mengikuti pergerakan pasang surut terhadap masing-masing parameter kualitas air. Pergerakan pasang surut berpotensi mempengaruhi kualitas air tanah pada sumur gali masyarakat terutama untuk parameter DHL dan salinitas pada sumur sampel 1 ( $R^2 > 50\%$ ) dan juga pada sumur sampel 2 ( $R^2 = 14\%$  dan  $62\%$ ) saat ABP. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) menunjukkan bahwa masih banyak faktor lain yang mempengaruhi perubahan kualitas air pada sumur sampel selain oleh pergerakan pasang surut.

**Kata Kunci:** Fitu, Kualitas Air, sumur gali, pasang Surut, determinasi

## ABSTRACT

Water is one of the important elements that support human survival, including the coastal community of Fitu Village, South Ternate City, which is located in a small island and volcano area. The fresh water source of coastal communities is generally sourced from dug wells and has the potential to be polluted by various factors, especially seawater intrusion. The study aims to determine the effect of tidal movements on changes in the quality of dug wells in an effort to determine the characteristics and parameters of groundwater intrusion in the small island of volcano. Data collection was conducted through measurement and observation with the help of survey instruments while data analysis used general mathematical equations and simple linear regression statistical analysis with 3 analysis approaches based on the input data given. The results of the analysis showed that the third analytical approach was more informative in determining the pattern of relationship between tidal movement and changes in groundwater quality in community dug wells. The trend of the relationship is more consistent based on the "b" value (correlation coefficient) that follows the tidal movement on each water quality parameter. Tidal movements have the potential to affect groundwater quality in community dug wells, especially for DHL and salinity parameters in sample well 1 ( $R^2 > 50\%$ ) and also in sample well 2 ( $R^2 = 14\%$  and  $62\%$ ) during ABP. The coefficient of determination ( $R^2$ ) indicates that there are many other factors that affect changes in water quality in the sample wells besides tidal movements

**Keywords:** Fitu, Water Quality, dug wells, tidal, determination

**Citation:** Salnuddin, Bemba, J., Harahap, Z. A., Kader, M. F., Wahidin, N., Ihsan, K. H., dan 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:10.14710/jil.22.3.781-792

## 1. PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu elemen penting yang menyokong keberlangsungan hidup manusia. Danaryanto & Said (2004), menjelaskan bahwa manusia memanfaatkan air tidak sekedar hanya untuk keperluan air rumah tangga, tetapi diperlukan untuk semua sektor kehidupan termasuk pariwisata. Manusia membutuhkan air dimanfaatkan untuk keberlangsungan hidupnya, tidak terkecuali bagi masyarakat pesisir (Hamzah 2011), sebagian masyarakat pesisir memanfaatkan air tawar yang bersumber dari air tanah (sumur gali), dimana kondisinya di wilayah pesisir rentan terhadap pencemaran akibat adanya kontak langsung dengan air laut (Purnama 2005, Purnama *et al.* 2019). Persinggungan antara air tanah tawar dan air asin sebagai zona *interface* terjadi pada area sistem akuifera pada wilayah pesisir. Konsekuensi mekanisme tersebut menyebabkan ruang kosong pada ruang *interface* akan diisi oleh air laut sehingga terjadinya intrusi atau akibat adanya jebakan air asin dari sejarah pengendapan material.

Intrusi atau penyusupan air asin ke dalam akuifera di daratan, pada dasarnya adalah proses masuknya air laut di bawah permukaan tanah melalui akuifera di daratan atau daerah pantai, dengan pengertian lain, yaitu proses terdesaknya air bawah tanah tawar oleh air laut di dalam akuifera pada daerah pantai (Hendrayana 2002). Migrasi air laut ke daratan tersebut merupakan salah satu faktor yang dapat mengganggu kualitas air tanah, dimana awalnya air bersih yang diperoleh dari air tanah memiliki kualitas air bersih layak minum mengalami penurunan kualitas dikarenakan terkontaminasi dengan air laut, Hamam (2004) menjelaskan bahwa perubahan kualitas air sumur tidak hanya disebabkan oleh intrusi air laut, namun juga oleh masuknya material dari darat (tanah), dimana keseimbangan hidrostatik pada akuifera antara air tawar dan asin menjadi dasar perubahan kualitas air tanah (Herlambang & Indriatmoko 2005). Lebih lanjut, dijelaskan pula, bahwa yang mengontrol keseimbangan tekanan hidrostatik dominan berasal dari pergerakan pasang surut (Aris 2010). Perbedaan tinggi pergerakan pasang surut menyebabkan gangguan keseimbangan hidrostatik pada area yang luas. Gangguan tersebut menyebabkan percampuran massa air tawar dan air laut dan merubah komposisi kimiawi air tanah, dimana percampuran tersebut dipicu oleh variasi tekanan permukaan di wilayah pesisir.

Potensi dan keberadaan air tanah di wilayah pesisir pulau sangatlah terbatas dan umumnya bersumber pada air tanah dangkal (Azhari & Sulistianingtyas 2008). Keterbatasan tersebut serta potensi sumber air tawar mendapat gangguan (terkontaminasi) dari sistem dinamika di wilayah pesisir (Cahyadi 2017) memerlukan perhatian khusus untuk menjamin kualitas dan keberadaan air tanah. Kondisi tersebut sangat potensial terjadi di Maluku Utara, dimana umumnya masyarakat bermukim di

wilayah pesisir dan pulau kecil yang kebutuhan air bersih bersumber dari air tanah, termasuk masyarakat yang bermukim di Kelurahan Fitu -Kota Ternate yang berada di pulau kecil dan pulau gunung api.

Masyarakat Kelurahan Fitu umumnya memanfaatkan air tanah dari sumur gali untuk memenuhi kebutuhan air bersih mereka, hanya sebagian kecil masyarakat menggunakan sumber air yang dikelola oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Kondisi kawasan pemukiman penduduk di kelurahan Fitu memperlihatkan tipologi dan tingkat kekumuhan kawasan permukiman yang termasuk dalam katagori kumuh berat (Indrajaya 2020). serta berada pada daerah rawan bencana alam (gunung api). Kondisi tersebut memerlukan penanganan dan pengendalian secara komprehensif berkelanjutan. Secara keruangan Kelurahan Fitu merupakan bagian dari tepi Danau Ngade (Gambar 1), dimana danau tersebut memungkinkan sebagai kaldera Gunung Api Gamalama dan masih membutuhkan pembuktian geologi untuk memastikannya.

Kelurahan Fitu, merupakan wilayah pengembangan "kota Baru" di bagian selatan Pulau Ternate dengan peruntukan sebagai wilayah pendidikan dan pertumbuhan ekonomi. Dampak kebijakan tersebut menyebabkan pemanfaatan ruang pesisir untuk pembangunan fisik tidak dapat dihindari sekaligus terjadinya pertumbuhan penduduk akan mempengaruhi tingkat penggunaan air tanah. Penelusuran kegiatan penelitian tentang status air tanah atau sejenisnya di wilayah Kelurahan Fitu belum banyak dilakukan, penelitian tersebut terfokus pada struktur geologi dan akuifera (Parnadi & Salam 2022), topik penelitian tentang kerentanan instruksi di utara Pulau Ternate dilakukan oleh (Achmad *et al.* 2016), tentang sebaran air tanah dangkal di utara Pulau Ternate (Kusrini 2018), dan tentang intrusi oleh Robo *et al.* (2019).

Umumnya analisis data kondisi air tanah dianalisis dengan pendekatan statistik untuk mendapatkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebagaimana penelitian Afrianita *et al.* (2017) dan Irham *et al.* (2022), oleh karena itu diperlukan penelitian tentang kondisi air tanah di pulau kecil gunung api secara bertahap guna mendapatkan faktor dominan sekaligus karakteristik dari parameter penyuplai instruksi air tanah di pulau kecil gunung api dengan pendekatan statistik untuk mengetahui pengaruh pergerakan pasang surut terhadap perubahan kualitas air pada sumur gali masyarakat. Penelitian ini bertujuan membangun pendekatan analisis data pergerakan pasang surut terhadap parameter kualitas yang potensial sebagai penciri intrusi pada air tanah di wilayah pulau kecil dan pulau gunung api.

## 2. METODE

Pengumpulan data dilakukan pada wilayah kajian yakni sumur gali masyarakat yang terdapat di wilayah pesisir Kelurahan Fitu, Kecamatan Ternate Selatan

Provinsi Maluku Utara (Gambar 1). Analisis data dilakukan di Laboratorium Hidrooceanografi Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Khairun. Pengukuran parameter kualitas air menggunakan *Water Quality Checker* Hanna Instrument (HI) 98194, yang pengukurannya bersamaan dengan pengukuran pergerakan pasang surut. Pengumpulan data parameter kualitas air dilakukan pada 3 sumur sampel yang berbeda untuk 4 parameter yakni Suhu, Salinitas, Daya Hantar Listrik (DHL) dan Tekanan Permukaan dari sumur sampel dan perairan pantai. Pengukuran parameter kualitas air sumur sampel serta perairan pantai dilakukan tiap interval 2 (dua) jam selama periode pengamatan pasang surut. Pengukuran lainnya yang dilakukan pada sumur sampel meliputi dimensi sumur serta tinggi air dari permukaan sumur (Gambar 2). Pengukuran tersebut untuk mendapatkan data perubahan volume air pada sumur sampel terhadap kondisi pergerakan pasang surut.

Perubahan volume air pada sumur sampel diketahui dari perhitungan yang menggunakan data dimensi sumur sampel dan perubahan tinggi air. Dimensi sumur sampel yang diukur berupa diameter atas sumur sampel, kedalam sumur, tinggi sumur dari permukaan tanah serta kemiringan (sudut) yang terbentuk dari tepi permukaan air terhadap dinding sumur. Pengukuran kedalaman permukaan air pada sumur sampel dilakukan dengan menggunakan tali yang dilengkapi dengan pemberat. Pengukurannya bersamaan dengan pengukuran selisih diameter permukaan air dengan diameter permukaan sumur. Perhitungan perubahan volume air pada sumur sampel dihitung dengan pendekatan matematis sederhana sebagai berikut:

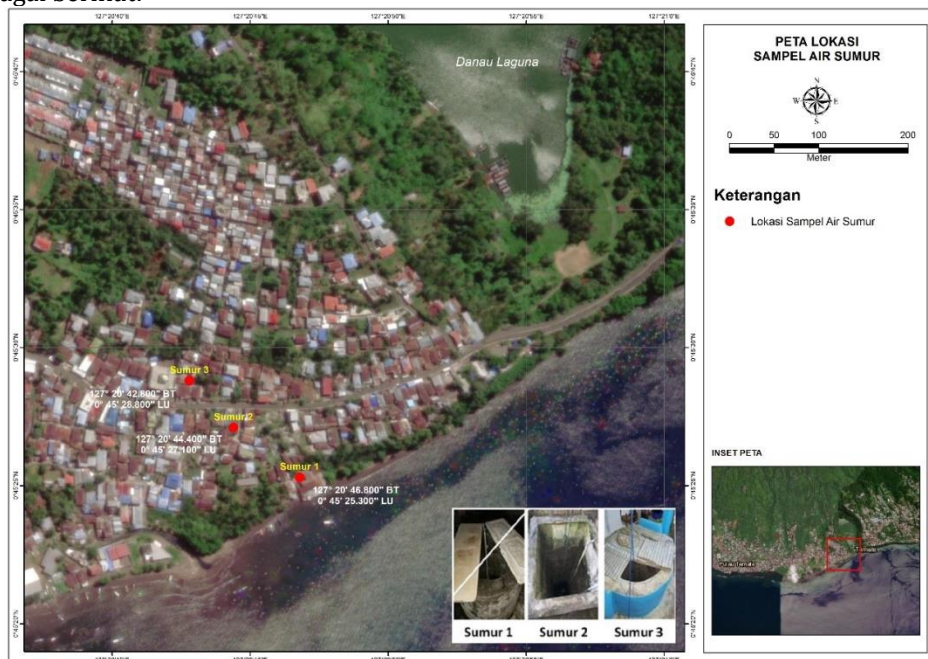
$$V_a = \pi r^2 \times TA \dots\dots\dots (1)$$

$$V_b = \pi(r \pm TA \operatorname{tg} \alpha)^2 \times \Delta TA \dots\dots\dots (2)$$

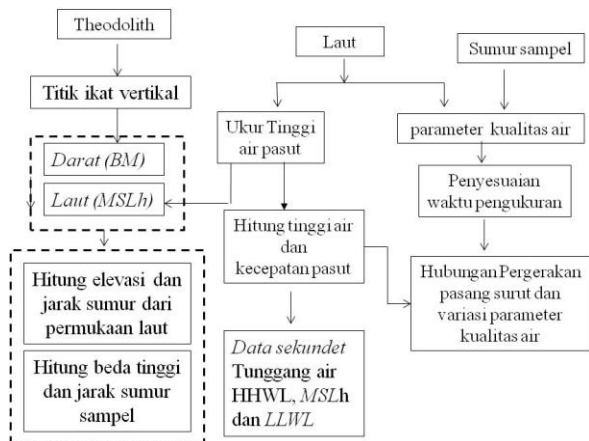
$$\Delta V = V_a \pm (V_a - V_b) \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:  $V_a$  = volume awal;  $V_b$  = volume akhir;  $\pi = 3,14$ ;  $r$  = jari-jari sumur sampel;  $\alpha$  sudut kemiringan dinding sumur;  $TA$  = tinggi air;  $\Delta TA$  = perubahan tinggi air dari pengukuran yang berurutan;  $\pm$  = kondisi Air bergerak pasang/ABP (+) dan kondisi Air Bergeran Surut/ABS.

Pengukuran pergerakan pasang surut air laut dilakukan dalam dua periode pengukuran, dengan interval pengukuran tiap 30 menit sebagaimana arahan (Bemba; *et al.* 2019) dan pengukuran menggunakan instrument Motiwali (*Mobile tide Water Level instrumen*). Periode pengukuran pertama dimanfaatkan untuk melihat hubungan antara perubahan tinggi muka air pasang surut dan perubahan parameter kualitas air pada sumur gali dan perairan laut, dimana pengukuran periode pertama tersebut dilakukan selama 2 hari sebagai pengukuran I dan II. Pengukuran pasang surut periode kedua untuk menentukan nilai tinggi muka air rata-rata harian atau *Mean Sea Level* harian (MSLh). Pengukuran elevasi sumur sampel terhadap permukaan air laut dilakukan dengan menggunakan theodolite dengan sistem polygon berjenjang dari titik ikat Bench mark (BM) dan tnggang air pergerakan pasang surut *Mean Sea Level* (MSL). Perhitungan tuggang air merujuk pada ICSM (2011) dengan menggunakan nilai konstituen harmonik pasang surut Stasiun Ternate yang dikeluarkan oleh (Dishidros 2005).



**Gambar 1.** Lokasi penelitian dan titik sampling kualitas air



Gambar 2. Skema analisis data

Analisis pergerakan pasang surut di setiap pengukuran, kecepatan pasang surut, jarak dan elevasi sumur dari permukaan laut terhadap kualitas air pada sumur sampel dianalisis menggunakan regresi linear (Gambar 2) dengan memanfaatkan fungsi *trendline* pada *MS. Excell*. Perhitungan tinggi sumur sampel dilakukan dengan pendekatan matematis dari fungsi trigonometri, sedangkan Kecepatan pergerakan tinggi air pasang surut dihitung dengan pendekatan sederhana:

$$C = \frac{h_1 - h_2}{30} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana; C adalah kecepatan perubahan tinggi muka air (cm/menit) dan H adalah tinggi air laut hasil pengukuran (elevasi); 30 adalah interval perekaman data (menit). Nilai MSLh (*Mean Sea Level* harian) diperoleh dengan menggunakan persamaan dari petunjuk buku *Overzicht der Getijleer* pada *Warburg (1923) dalam IOC (2006)*:

$$MSLh = \frac{\sum(N \times D)}{\sum(D)} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana; N adalah nilai pembacaan tinggi air pasang surut dan D adalah nilai koreksi (bilangan Doodson)

Pengaruh atau pola hubungan pergerakan pasang surut untuk kondisi air bergerak surut (ABS) dan air bergerak pasang (ABP) terhadap parameter kualitas air (4 parameter) diidentifikasi melalui analisis kecendrungan pola garis (*trendline*) dari sebaran titik pada grafik dengan tiga pendekatan analisis yakni hubungan data terukur dari tinggi pergerakan pasang dan data parameter kualitas air terukur sebagai pendekatan analisis I, berikutnya hubungan perubahan tinggi muka air pasang surut dan nilai parameter kualitas air terukur sebagai sebagai pendekatan analisis II dan pendekatan analisis III dilakukan dengan membuat hubungan perubahan tinggi muka air dengan perubahan parameter kualitas air. Persamaan garis dari Pola garis *trendline* yang dihasilkan dari pendekatan hubungan yang dilakukan antara pergerakan pasang surut dan nilai parameter kualitas air dapat menghasilkan persamaan regresi

dengan pola Eksponensial, linear, power, logaritma dan polynomial dari aplikasi *MS.Excell*. Persamaan regresi yang digunakan adalah persamaan yang menghasilkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) tertinggi dari ketiga pola hubungan potensial dari garis *trendline* yang dihasilkan yakni *linear*, *polynomial* dan *logarithmic*. Secara umum persamaan regresi diformulasikan :

$$Y = a \pm bX$$

$$R^2 \approx 1 \dots\dots\dots (6)$$

Dimana; y adalah nilai parameter kualitas air pada sumur gali (sumur sampel), X adalah tinggi air pergerakan pasang surut;  $R^2$  adalah koefisien determinasi (0 - 1); Nilai a dan b masing-masing sebagai nilai intersep dan koefisien korelasi, dimana nilai koefisien korelasi positif ( $b = +$ ) adalah perubahan X positif diikuti pula dengan perubahan Y positif, sedangkan nilai "b" negatif perubahan X positif tidak diikuti dengan perubahan nilai Y positif, namun perubahan nilai negatif. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) mendekati nilai 1 ( $R^2 \approx 1$ ) maka makin kuat hubungan (korelasi) dari parameter X dan Y yang dianalisis.

Persaman regresi untuk pendekatan analisis I, data X dan Y adalah nilai data yang terukur (data lapangan) untuk perubahan pasang surut (H) dan parameter kualitas air terukur (N); untuk pendekatan analisis II nilai X dan Y menggunakan data perubahan (selisih) tinggi air pasang surut terhadap tinggi air sebelumnya ( $H_2 - H_1$ ) secara berurutan dan nilai parameter kualitas air terukur; sedangkan untuk pendekatan analisis III menggunakan data data perubahan pasang surut ( $H_2 - H_1$ ) dan data perubahan (selisih) parameter kualitas air terukur terhadap data terukur sebelumnya ( $N_2 - N_1$ ) secara berurutan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Lokasi dan Dimesi Sumur Sample

Kelurahan Fitu memiliki luas wilayah pemerintahan sebesar 3,96 km<sup>2</sup> dan merupakan wilayah pemerintahan terbesar dari seluruh kelurahan di Kecamatan Kota Ternate Selatan. Wilayahnya didiami oleh 4065 jiwa (1.041 KK) yang terdiri dari 2127 jiwa (laki-laki) dan 1938 jiwa (perempuan) dengan kepadatan penduduk 1026,52 jiwa/km<sup>2</sup> (BPS 2023) Di bagian utara Kelurahan Fitu terdapat perkebunan penduduk, dimana kearah selatan berbatasan dengan laut, kearah timur berbatasan dengan Kelurahan Ngade sedangkan kearah baratnya berbatasan dengan Kelurahan Gambesi (Gambar 1). Kondisi pertumbuhan penduduk dan urbanisasi senantuaasa bertambah setiap tahun yang dipicu dengan aktifitas kampus beberapa perkantoran dibangun diwilayah selatan Pulau Ternate. Sistem pembangunan rumah yang tidak tertata menyebabkan sistim drainase dan jalan relatif tidak tertarur dan memberi kesan kumuh pada wilayah Kelurahan Fitu (Indrajaya 2020).

Sumur sampel (3 sumur) yang digunakan memiliki bentuk dan dimensi yang berbeda. Sumur 1 merupakan sumur yang berbentuk lingkaran, memiliki jari-jari permukaan 65 cm dengan kedalaman yang paling rendah (2,5 m) dari ketiga sumur sampel. Sumur 2 memiliki bentuk persegi dengan lebar (rata-rata) sebesar 91 cm, panjang 91,5 cm dan kedalaman 4.44 m. sumur sampel yang terakhir sedalam 10 m, dimana jari-jari permukaan sebesar 77 cm. Posisi masing-masing sumur sampel diperlihatkan pada gambar 1.

**Tabel 1.** Hasil Perhitungan Beda Tinggi, Jarak dan Kemiringan Sumur Sampel.

SS	BT (cm)		Jarak (m)			Slope (°)
	Par	Kum	Datar	Kum	Miring	
1	0,33	0,33	5,1*	5.10	5.11	3.7
2	1,39	1,72	86,4	91.5	86.41	1.1
3	8,96	10,68	150,6	242,1	150.87	2.5

Keterangan: SS = sumur sampel; Par = beda tinggi secara tunggal pada titik pengukuran tertinggi dari sumur sampel; Kum = kumulatif; Datar = Jarak horisontal sumur; miring= jarak mengikuti kemiringan topografi

Pengukuran jarak sumur terhadap titik ikat (BM) memperlihatkan variasi jarak datar antar sumur berkisar 5 – 150 m, dimana mempunyai beda tinggi (vertikal) berkisar 0.33 – 10,68 m (Tabel 1). Pengukuran dan perhitungan jarak datar dan beda tinggi dari posisi sumur, maka diketahui kemiringan masing-masing sumur terhadap titik ikat BM. Hasil perhitungan diketahui bahwa kemiringan lokasi sumur 1 terhadap titik ikat (BM) sebesar 3,7°, sedangkan untuk posisi sumur sampel 2 dan 3 masing-masing 1,1° dan 2,5°. Sudut tersebut menunjukkan bahwa posisi sumur dalam kategori datar hingga landai (0 – 4°) sebagaimana kategori yang dikemukakan oleh Van Shudum 1985 dalam Setyawan *et al.* (2017). Mempertimbangkan jarak kemiringan lokasi masing-masing sumur sampel yang lebih besar dari jarak datar menunjukkan bahwa posisi sumur berada lebih tinggi dari titik ikat BM (di atas BM) sebagaimana nilai beda tinggi vertikal masing-masing sumur (Gambar 4). Nilai beda tinggi permukaan tanah secara umum menunjukkan kecenderungan bahwa semakin tinggi seiring beda tinggi maka terjadi penambahan nilai jarak sumur terhadap permukaan air laut (Tabel 1), hal tersebut juga menunjukkan bahwa semakin jauh jarak sumur dari permukaan air laut terhadap suatu titik di darat (Gambar 4) maka semakin dalam sumber air tanah dari permukaan tanah selaras dengan data kedalaman sumur sampel (LIPI 2007)

Perhitungan variasi ketinggian sumur terhadap titik ikat *bench mark* (dibuat) dan titik ikat terhadap pergerakan pasang surut melalui perhitungan selisih vertikal tunggang air (MSL). Hasil perhitungan jarak sumur ke titik ikat yang telah dikoreksi sebagai jarak datar (Tabel 1) pada sumur 1 ke titik ikat (BM) yaitu 5,10 m, sedangkan sumur 2 sejauh 86,4 m dan untuk sumur 3 sejauh 150,60 m. Variasi kedalaman sumur sampel dari hasil pengukuran diperoleh kedalaman

masing-masing sumur secara berurutan sebesar 2,55 m, 4,44 m, dan 10,66 m.

### 3.2. Tinggi Muka Air Pasang Surut

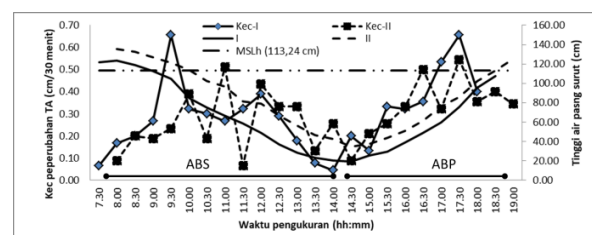
Pengukuran pergerakan pasang surut dan parameter kualitas air dilakukan dalam dua tahanan (I dan II) yang pengukurannya dilakukan dalam waktu relatif bersamaan. Pengukuran tersebut hanya dilakukan dari pagi hari hingga menjelang malam hari (7:30 – 19:00 WIT), dengan mempertimbangkan aktifitas pengukuran akan mengganggu kenyamanan pemilik sumur. Hasil pengukuran pergerakan diperoleh data pengukuran sebanyak 23 data (Tabel 2), dimana tunggang air selama pengukuran berkisar 101- 104 cm dengan selisih rata-ratanya rekatif sama untuk kedua pengukuran sebesar 8,83 dan 8,68 cm. Rata-rata kecepatan perubahan tinggi muka air dikedua pengukuran pasang surut menunjukkan nilai yang sama (0,29 cm/menit), sehingga interval pengukuran (2 jam ) untuk tiap pengukuran kualitas air dan perubahan volume air pada sumur akan memberikan hasil yang berbeda dengan perubahan tinggi muka air berkisar 35 cm. Variasi tersebut disebabkan oleh waktu pengukuran yang berada pada fase bulan baru, yang memberi nilai tinggi muka air yang maksimum dalam 1 siklus bulanan (Salnuddin 2016).

**Tabel 2.** Nilai tinggi muka air dan kecepatan perubahannya.

Nilai (N = 23)	TA(cm)		Kec. (cm/mnt)	
	I	II	-I	-II
Maksimum	123.67	135.33	0.66	0.54
Minimum	19.33	34.67	0.04	0.07
Tunggang air	104.33	100.67	0.61	0.48
Rata-rata	66.28	83.99	0.29	0.29

Keterangan: TA = tinggi muka air; Tunggang air = Maksimum – minimum (selisih); Kec = kecepatan; I dan II = pengukura hari Ke I dan Ke-2.

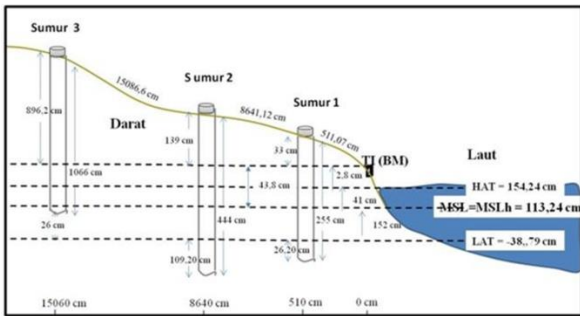
Kondisi tinggi muka air pergerakan pasang surut dan kecepatan perubahannya memperlihatkan bahwa saat ABS kecepatan perubahan tinggi muka air lebih berfluktuasi dibandingkan saat ABP (Gambar 3). Fluktuasi tersebut diakibatkan oleh topografi pantai yang landai, serta substrat dasar (berpasir) sebagai roughness element (Gallagher *et al.* 2003) sekaligus sebagai bagian dari struktur akuifera (Trglavcnik 2016) akan mereduksi aliran air laut saat ABP dan sebaliknya saat ABS akan mengalir meninggalkan pantai dan bergerak secara gravitasional.



**Gambar 3.** Kecepatan perubahan tinggi muka air dan tinggi air pergerakan pasang surut



Perubahan tinggi air dari pergerakan pasang surut memperlihatkan bahwa saat air bergerak surut (ABS) terjadi pada jam 08.00 WIT hingga jam 14.30 WIT kemudian air bergerak pasang (ABP) hingga pukul 19.00 WIT. Kedua grafik pasang surut menunjukkan suatu pola, dimana pada saat air laut bergerak surut yang semakin mendekati titik surut terendah selisih nilai dari setiap data semakin kecil. Sebaliknya, saat air laut bergerak pasang (ABP) semakin menjauhi titik surut terendah maka nilai selisih setiap data semakin membesar.



**Gambar 4.** Profil vertikal kedalaman sumur sampel, jarak antar sumur, beda tinggi dan tinggi sumur terhadap nilai tunggang air

Perhitungan nilai MSLh sebagai nilai duduk tengah jangka pendek (39 jam) dari pergerakan pasang surut diperoleh nilai 113,24 cm dan menunjukkan bahwa selama periode pengambilan data kualitas air sumur sampel tinggi air pasang surut berada dibawah ketinggian MSLh (Gambar 3). Dengan mengasumsikan bahwa posisi nilai MSLh adalah sama dengan posisi MSL sebagai nilai perhitungan pergerakan untuk siklus jangka panjang (18,6 tahun), maka pergerakan tinggi air pasang surut terhadap perubahan tinggi air pada sumur sampel dapat diproyeksi (Gambar 4). Adapun Hasil perhitungan MSL dan nilai tunggang air dari data Dishidros (2005) diketahui bahwa tinggi air saat mencapai *Highest Amplitudo Tide* (HAT) sejauh 41 cm diatas MSL: (154,24 cm) dan *Low Amplitudo Tide* (LAT) sebesar -38,79 cm atau sejauh 152 cm dibawah MSL.

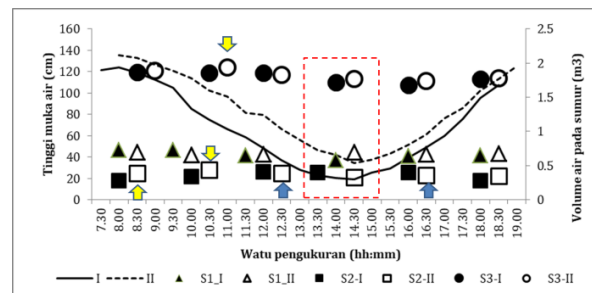
Penyesuaian titik ikat darat dan nilai MSLh diketahui setelah dilakukan konversi tinggi vertikal pembacaan skala pasang surut dengan titik ikat BM, nilai selisih antara titik ikat BM dan kondisi MSLh sebesar 43,8 cm atau BM berada setinggi 2,8 cm saat pasang surut berada pada kondisi HAT. Lebih jauh diketahui bahwa variasi tinggi air dan kecepatan perubahan tinggi muka air menunjukan bahwa durasi perembesan yang makin lama (kecepatan pasut kecil) berpotensi memberi dampak lebih besar dalam merubah kualitas air, hal tersebut akibat fungsi *flushing* (Brusseau 1996) atau lebih lamanya air laut berada pada suatu areal (Fenton et al. 2011).

### 3.3. Tinggi Muka Air dan Variasi Volume Air pada Sumur Sampel

Informasi dari Tabel 1 dan dimensi sumur sampel yang terukur, menunjukan bahwa pada sumur 3 786

mempunyai kapasitas tampung air tanah yang lebih besar dibandingkan dengan sumur lainnya, namun berdasarkan kedalaman air tanah terhadap permukaan sumur terendah dijumpai pada sumur 1 (Gambar 4). Kondisi tersebut menunjukan bahwa upaya eksplorasi air tanah (Irawan 2019) pada sumur 1 lebih kecil dibandingkan dengan kedua sumur lainnya, dimana air tanah sudah didapatkan hanya pada kedalaman sumur < 3 m.

Perubahan tinggi muka air pasang surut menyebabkan penambahan volume air pada sumur sampel. Hasil perhitungan volume air pada sumur sampel yang relatif tetap saat pengukuran pertama dan kedua, sedangkan variasi volume air yang tertampung pada sumur sampel terhadap pergerakan pasang surut menunjukkan kecenderungan air bergerak surut, maka volume air pada sumur sampel juga berkurang dan demikian pula sebaliknya (kotak merah pada Gambar 5). Variasi volume air yang tertampung pada sumur sampel menunjukkan bahwa volume air pada sumur sampel 3 lebih besar dibandingkan sumur lainnya, hal tersebut disebabkan wadah penampung air pada sumur 3 berdiameter lebih besar dibandingkan dengan sumur lainnya, sehingga saat pergerakan tinggi air yang sama akan menghasilkan volume yang berbeda. Perubahan volume air yang relatif berbeda ditunjukkan pada awal pergantian pergerakan pasang ke surut (panah kuning dan juga dari pergerakan air surut bergerak pasang (panah biru). Variasi tersebut merupakan kondisi normal dari variasi tekanan hidrostatik aliran pada sistim akuifera (Hendrayana 2002). Variasi volume air yang terdapat pada sumur sampel tersebut mengindikasikan bahwa intrusi air laut sangat berpotensi terjadi di wilayah pesisir, akibat terjadinya pergerakan pasang air laut dan juga menyebabkan terjadinya penambahan volume air pada sumur begitu pula sebaliknya jika air laut bergerak surut dan keduanya menyebabkan perubahan tekanan hidrostatik pada lapisan akuifera air tanah di pesisir.



**Gambar 5.** Variasi Volume Air Pada Sumur Sampel Terhadap Pergerakan Pasang Surut

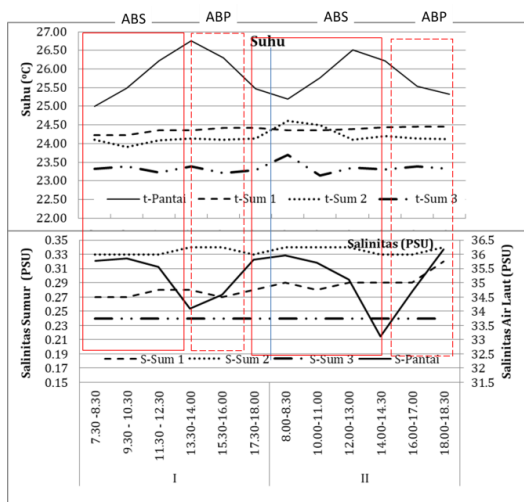
### 3.4. Variasi Parameter Kualitas Air

#### 3.4.1. Salinitas dan Suhu

Hasil pengukuran parameter salinitas menunjukan bahwa salinitas air laut jauh lebih tinggi dari nilai salinitas air ketiga sumur sampel. Nilai salinitas air laut berkisar di antara 33,11 – 36,18 PSU (*practical salinity unit*) sedangkan nilai salinitas air ketiga sumur

sampel berkisar di 0,27 – 0,34 PSU (Gambar 4). Nilai salinitas air sumur 1 dan 2 berkisar pada 0,27 – 0,32 PSU dan 0,33 – 0,34 PSU sedangkan sumur 3 sebesar 0,24 PSU. Perbedaan nilai salinitas pada air laut dan air sumur sampel meruapakan fenomena alami terjadi dikarenakan air laut memiliki kandungan ion yang lebih tinggi dari air sumur yang bersumber dari air tanah. Nilai salinitasi masing-masing sumur menunjukkan bahwa ketiga sumur termasuk kategori air tawar (Todd, 1980). Memperhatikan kisaran nilai paraneter saliniias terukur untuk nilai rata-rata dan deviasi (Tabel 3), maka nilai salinitas pada sumur sample 1 dan 2 telah mendekati nilai 0,3 PSU dimana batas salnitas dengan nilai tersebut dikategorikan sebagai *oligohaline* menurut katagori yang dibuat oleh Mc. Lucky dalam Herdyansah & Rahmawati (2017), adapun sainitas terukur pada sumur sampel 1 sebesar  $0,28 \pm 0,01$  PSU ( $\approx 0,29$  PSU) dan sumur sampel 2 sebesar  $0,34 \pm 0,01$  PSU ( $\approx 0,35$  PSU) atau telah melampaui batas katagori *oligohaline*.

Variasi perubahan nilai salinitas megikuti pergerakan pasang surut air laut terjadi hampir di setiap waktu pengukuran baik di laut maupun pada sumur sampel (garis kotak merah pada Gambar 4), namun nilai salinitas saat kondisi ABP lebih dominan memiliki pola variasi yang sama terhadap nilai salinitas. Pola grafis salinitas tersebut memperlihatkan nilai salinitas yang tetap terjadi di sumur sampel 3 sebesar (0,24 PSU). Nilai salinitas yang tetap di sumur 3 tersebut dimungkinkan terjadi akibat jarak sumur paling jauh dari sumur sampel yang digunakan dalam penelitian ini, sehingga perembesan air laut menghalangi hambatan untuk menuju ke sumur 3 dibandingkan sumur 1 dan sumur 2 (Gambar 4) sebagaimana hasil penelitian (Putri *et al.* 2016) menunjukkan bahwa semakin dekat jarak sumur dengan air laut maka semakin besar nilai konduktivitas dan klorida. Konduktifitas dan klorida tersebut merupakan fungsi kerja dari mineral (ion) utama dalam membangun nilai salinitas (Putri *et al.* 2016).



**Gambar 6.** Fluktuasi nilai salinitas (a) dan suhu (b) pada sumur sampel selama pengambilan data.

Variasi Parameter suhu yang terukur berkisar pada 23,25 °C – 26,75 °C (Gambar 6), yang menunjukkan bahwa suhu pada air laut lebih tinggi dari pada suhu yang terukur pada sumur sampel. Kisaran suhu yang terukur pada sumur sampel masing-masing berisar 24,23 °C – 24, 46 °C (sumur 1), 23, 90 °C – 24, 14 °C (sumur 2) dan 23, 15 °C – 23, 70 °C (sumur 3). Lebih tingginya nilai suhu air laut yang terukur dibandingkan ke tiga sumur sampel dikarenakan air laut berinteraksi langsung dengan cahaya matahari sedangkan penetrasi cahaya matahari yang menuju air sumur terhalang oleh atap bangunan pelindung sumur, secara spesifik perbedaan suhu tersebut juga disebabkan mekanisme penyerapan panas (bahang) oleh air laut yang lebih banyaknya mineral terlarut (Wang *et al.* 2001, Boudhief & Baccar 2014) dibandingkan pada sumur sampel dengan kandungan mineral yang lebih sedikit (salinitas rendah).

Berdasarkan waktu pengukuran, secara umum nilai suhu perairan cenderung mencapai titik maksimal pada pukul 11.00 – 14.00 WIT (Gambar 6) di lokasi pengukuran, Jam tersebut merupakan waktu optimum intensitas cahaya matahari mentransmisikan energi cahaya dalam bentuk flux panas (bahang) dan diserap oleh permukaan air (Petterssen 2011). Kecenderungan tersebut menjelaskan bahwa variasi perubahan nilai suhu dipengaruhi oleh sudut penyinaran matahari, dimana matahari semakin mendekati posisi puncak (90°) maka semakin banyak serapan bahangt. Perubahan suhu juga dapat disebabkan oleh kedalaman perairan (fungsi pasang surut) sehingga energi dari cahaya mampu menembus hingga ke dasar perairan dan substrat dasar akan menyerap energi tersebut (LIPI 2007).

**Tabel 3.** Parameter kualitas air terukur

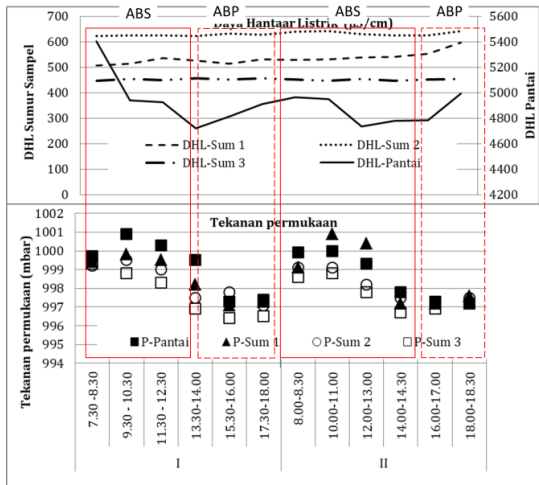
Par	T.S	Nilai			
		Max	Min	Rata	Dev
Suhu (oC)	P	26.75	25.00	25.82	0.57
	S-1	24.46	24.23	24.37	0.08
	S-2	24.60	23.90	24.18	0.19
	S-3	23.70	23.15	23.33	0.14
Salinitas (PSU)	P	36.18	33.11	35.20	0.92
	S-1	0.32	0.27	0.28	0.01
	S-2	0.34	0.33	0.34	0.01
	S-3	0.24	0.24	0.24	0.00
DHL (us/cm)	P	5403	4721	4909	182
	S-1	596	506	534.75	23.29
	S-2	643	622	630.17	7.38
	S-3	457	447	451.92	3.26
Tekanan (mbar)	P	1001	997.2	998.88	1.37
	S-1	1001	997.1	998.64	1.37
	S-2	999.5	997.1	998.23	0.88
	S-3	999.3	996.4	997.68	1.04

Keterangan: Par = Parameter;; N = jumlah data ; T.S = Titik sampling; Max = maksimum; Min = Minimum; rata = rata-rata; Dev = Deviasi; P= pantai; S-1 = sumur sampel 1; S-2 = sumur sampel 2; S-3 = sumur sampel 3;

### 3.4.2. Daya Hantar Listrik (DHL) dan Tekanan

Daya Hantar Listrik (DHL) atau Konduktivitas adalah gambaran numerik dari kemampuan air untuk

meneruskan aliran listrik. Oleh karena itu, semakin banyak garam-garam terlarut yang dapat terionisasi menghasilkan ion, semakin tinggi pula nilai DHL (Khairunnas & Gusman 2018). Berdasarkan definisi DHL, maka suatu wilayah yang mengalami intrusi air laut nilai DHL air tanahnya akan lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah yang tidak terjadi Intrusi. Data nilai daya hantar listrik yang terukur (Gambar 7) memberikan nilai yang berbeda antara air laut dan air sumur yang sangat besar. Kisaran nilai daya hantar listrik (DHL) air laut yaitu 4721 – 5402 mS/cm sedangkan air sumur berkisar 447 – 643  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabel 3).



**Gambar 7.** Fluktuasi daya hantar listrik/DHL (atas) dan tekanan permukaan air (bawah) pada titik sampling selama periode pengambilan data.

Variasi nilai DHL pada sumur sampel memperlihatkan persoalan spesifik, dimana DHL pada sumur sampel 2 mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan sumur lainnya terutama terhadap sumur sampel 1 yang lebih dekat dengan pantai. Fenomena tersebut juga dijumpai pada penelitian Malaka (2015) di Pulau Tidore yang juga merupakan pulau kecil dan Gunung api. Tingginya kadar DHL menjelaskan adanya sumber ion lainnya yang masuk pada sumur 2 selain dari pasokan pergerakan pasang surut yang menambah tingkat konduktifitas air tanah (Latumeten *et al.* 2023) ataupun oleh adanya mekanisme sistem hidrostatik pada akuifera untuk daerah gunung api termasuk mekanisme pelapukan material yang ikut pada sistem akuifera. Karena itu dibutuhkan pendekatan analisis sebagai langkah awal dalam membangun potensi intrusi air laut pada pulau kecil dan gunung api perlu adanya pendekatan analisis untuk mendeteksi potensi penurunan kualitas air tanah selain akibat intrusi air laut. Perbedaan nilai daya hantar listrik air laut dan air tanah yang besar merupakan sesuatu yang wajar karena air laut dan air tanah yang menjadi sumber air sumur memiliki perbedaan kandungan ion (jenis maupun jumlah) yang relatif berbeda dan sangat besar. Hal ini dijelaskan oleh Yuwandari *et al.* (2020) bahwa keberadaan ion-ion air laut berpengaruh

terhadap sifat kelistrikannya sekaligus membedakan air laut dengan air tanah. Air laut dibentuk oleh beberapa ion utama seperti Sodium (Na), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Sulfat ( $\text{SO}_4$ ) bereaksi dengan Cl sehingga menyebabkan air bersifat asin. Kisaran nilai DHL di ketiga sumur sampel termasuk kategori air tawar ( $\text{DHL} < 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) berdasarkan pengkategorian oleh PAHIAA-Jakarta (1980).

Variasi perubahan nilai DHL di lokasi penelitian secara umum cenderung mengikuti kondisi pasang surut, namun pola perubahan nilai DHL lebih dominan berbanding lurus saat ABP sebagaimana variasi nilai salinitas terhadap kondisi pasang surut. Variasi tersebut memberikan informasi bahwa kondisi ABP lebih memberikan perubahan nilai DHL dibandingkan saat ABS. Selain itu menjelaskan bahwa *interface* air laut dan air tanah lebih cepat berpindah saat kondisi ABP dibandingkan dengan kondisi ABS (Valensia *et al.* 2018, Yuwandari *et al.* 2020).

Hasil pengukuran tekanan permukaan yang nilainya rekapitulasi pada Tabel 3 serta perubahan tekanan selama pengambilan data digambarkan dalam grafik fluktuasi (Gambar 7) pada hari I menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan terjadinya penurunan nilai tekanan air laut maupun air sumur sampel terjadi pada jam 09.30 WIT - 15.00 WIT dan setelahnya mengalami peningkatan. Pola yang sama juga diperlihatkan pada pengukuran tekanan permukaan di hari II dengan adanya pergeseran waktu dengan hari I berkisar 30 menit. Hal tersebut disebabkan oleh pengaruh pasang surut, dimana pada jam 09.30 WIT berada pada kondisi pasang dan secara perlahan bergerak surut hingga jam 14:00 WIT (Gambar 5), fenomena yang sama juga untuk hari II yang puncak surutnya terjadi sebelum jam 15:00 WIT. Pergeseran waktu terjadinya puncak atau lembah pergerakan pasang surut yang disebut dengan waktu *Slack Water* ( $t_{sw}$ ) merupakan karakter yang mencirikan penanggalan (Salnuddin 2017), dimana terjadi keterlambatan terbentuknya *slack water* ( $t_{sw}$ ) sekitar 45 menit dengan hari sebelumnya. Pergerakan pasang surut tersebut (ABS) akan terjadinya pengurangan volume air sumur sampel maupun pada perairan laut (Khairunnas & Gusman 2018) Penambahan volume air (fungsi massa) dari pergerakan pasang surut akan menambah volume air pada suatu tempat dan akan meningkatkan tekanan terhadap lapisan air lebih dalam dalam melalui sistem keseimbangan hidrostatik dan meningkatkan tekanan permukaan (Lee *et al.* 2019).

Perbedaan nilai tekanan air di laut maupun di sumur sampel selama pengukuran memberikan fluktuasi nilai selisih yang relatif kecil. Nilai tekanan yang terjadi pada air laut (pantai) diperoleh nilai maksimum sebesar 1000,9 mbar dan minimumnya sebesar 997,3 mbar (hari I), sedangkan pada pengukuran hari II nilai maksimum (1001 mbar) dan nilai minimum (997,2 mbar). Nilai tekanan air pada sumur sampel memperlihatkan pola fluktuasi yang relatif sama antara pengukuran I dan II, dimana saat



air bergerak surut (ABS) menghasilkan nilai tekanan dimasing-masing sumur sampel relatif berbeda (ada jarak antar marker), sedangkan pada saat air bergerak pasang (ABP) nilai tekanan dimasing-masing sumur sampel termasuk titik pengukuran mempunyai nilai yang relatif terkumpul (selisih tekanan kecil). Secara umum variasi nilai tekanan tersebut menunjukkan nilai tekanan yang makin kecil seiring makin jauhnya lokasi sumur sampel dari pantai (Tabel 3).

Variasi tekanan secara horisontal dari laut ke darat menggambarkan sistem kerja keseimbangan akibat sistem dinamika disekitar titik pengukuran, dimana pada pengukuran di perairan laut akibat pasokan energi panas (bahang dan nilai suhu) dan juga oleh pergerakan pasang surut, sedangkan pada sumur sampel akibat ruang (kolom) sumur dan pasokan air (energi) yang membentuk tekanan di ruang tertutup dengan perbedaan sistem akuifera, sistem ruang, struktur material, dimensi dari sumur sampel masing-masing (Arsyad 2012).

### 3.5. Pengaruh Pasang Surut Laut terhadap Parameter Kualitas Air

Hubungan pergerakan tinggi air dari pasang surut terhadap nilai DHL terukur (Analisis I) menunjukkan semakin besar tinggi air pergerakan pasang surut saat ABP diikuti pula peningkatan DHL pada sumur sampel (b = positif) atau mempunyai pola yang sama dengan hubungan untuk pengukuran DHL di perairan pantai. Perbedaan pola hubungan diperlihatkan pada sumur sampel 3 saat kondisi ABS. (b = negatif), dimana nilai determinasi ( $R^2$ ) dari hubungan pendekatan analisis I (ABS >  $R^2$  > ABP) dengan nilai  $R^2$  yang lebih kecil dibandingkan dengan pendekatan analisis II (Tabel 4 dan 5) tapi pada pendekatan analisis III nilai  $R^2$  lebih merata untuk seluruh titik sampling untuk perubahan pasang surut (sumbu X) terhadap perubahan DHL.

Pola hubungan yang unik hubungan pergerakan pasang surut dan parameter DHL ditunjukkan pada pendekatan analisis III, dimana saat kondisi ABS tinggi air makin berkurang maka makin berkurang DHL, sedangkan saat kondisi ABP berpola yang sama dengan pendekatan analisis lainnya. Perbandingan pola hubungan dari pendekatan analisis yang dilakukan (nilai "b") memperlihatkan bahwa sumur sample 2 (Tabel 5) yang semula pola nilai "b" positif berubah menjadi negatif jika pendekatan analisis III digunakan (Gambar 8), namun secara statistik dengan memperhatikan input data yang dianalisis perbedaan tersebut memberi makna keduanya adalah sama. dimana nilai b pada pendekatan III menjelaskan bahwa jika tinggi air pasang surut berkurang (nilai input negatif) maka perubahan parameter kualitas air juga berkurang (input data parameter DHL negatif).

Suhu merupakan parameter yang paling nampak terpengaruh oleh perubahan pasang surut air laut terutama pada titik sampling di pantai, sedangkan pada sumur sampel hanya dijumpai pada sumur sampel 1 jika dianalisis menggunakan input data dalam pendekatan analisis III baik untuk kondisi ABS

dan ABP ( $R^2 > 0,60$ ). Pola hubungan pergerakan pasang surut dan parameter suhu dengan pendekatan analisis I pada sumur sampel, memperlihatkan bahwa pada sumur sampel 3 tidak mengikuti pola yang terjadi di pantai, sedangkan pada sumur sampel 1 hanya saat kondisi ABP (b = positif) sedangkan pada sumur sampel 2 hanya saat kondisi ABS.(b = negatif). Pola hubungan dari pergerakan pasang surut dan kualitas air (b = negatif) dengan pendekatan analisis II terjadi pada sumur sampel I dan pantai saat kondisi ABP. Analisis pola hubungan dengan pendekatan III untuk pergerakan pasang surut dan parameter suhu memperlihatkan pola yang berbeda terjadi pada sumur sampel 2 dan 3, dimana pada sumur sampel 2 saat ABS, maka suhu perairan bertambah dan sebaliknya yang terjadi pada sumur sampel 3. Pola hubungan yang sama untuk kondisi ABP, kedua menunjukkan pola yang sama (b positif). Variasi pola hubungan tersebut disebabkan karena jarak sumur sampel 1 dekat dengan pantai sehingga terpengaruh oleh dinamika perairan pantai, dimana perubahan suhu merupakan perpindahan kalor dari flux sinar matahari (Wang *et al.* 2001, Hanif & Parnadi 2022).

Hubungan pergerakan pasang surut dan parameter salinitas dari sumur sampel dengan pendekatan analisis III, memperlihatkan nilai salinitas pada sumur sampel 3 tidak berubah selama periode pengukuran kualitas air (Tabel 3), sedangkan pada sumur sampel 1 dan 2 saat pengukuran kondisi ABS keseluruhan pendekatan analisis memberi pola hubungan yang sama dengan pengukuran di pantai (b = positif), sedangkan saat ABP kesamaan pola hanya dijumpai pada pendekatan analisis I dan II untuk sumur sampel 2 (Tabel 4) dan untuk sumur sampel 1 kesamaan pola terjadi jika data dianalisis dengan pendekatan II, sedangkan pendekatan analisis I dan III membentuk pola berbeda (b = negatif). Beda pola hubungan yang dihasilkan secara umum menunjukkan bahwa pada sumur sampel 2 dan 3 berpotensi mengalami intrusi dimana perubahan pasang surut (ABP) akan meningkatkan kadar salinitas (b = positif) meskipun saat ini kadar salinitas terukur masih aman dikonsumsi.

Pengaruh pasang surut terhadap nilai tekanan permukaan di setiap sumur sampel menunjukkan pengaruh yang bersifat positif di semua titik sampling, namun pengaruh yang diberikan relatif kecil ( $R^2 < 0,60$ ) dari nilai pendekatan I saat ABS, namun saat ABP menjadi lebih besar ( $R^2 < 0.88$ ) terutama pada sumur sampel 1. Pengaruh pergerakan pasang surut terhadap parameter tekanan pada sumur sampel 2 dan 3 untuk pendekatan analisis II dan III menunjukkan pengaruh yang cukup dari pergerakan pasang surut terutama pada sumur sampel 2 dan 3, dimana terjadi peningkatan nilai  $R^2$  dari nilai yang sama untuk pendekatan analisis I. Kondisi spesifik ditunjukkan pada pendekatan III, dimana saat ABP, dengan perubahan pergerakan pasang surut, nilai tekanan permukaan di sumur sampel 2 akan menurun (b = negatif) yang berbeda pada sumur sampel 3 (b =

positif) walaupun nilai determinasi ( $R^2$ )  $S2 < S3$ . Kondisi tersebut menunjukkan bahwa variasi tekanan selain disebabkan oleh pergerakan pasang surut juga disebabkan oleh sistem tekanan hidrostatik antara air laut dengan air bawah tanah yang tawar pada akuifera di pantai, pada keadaan statis dapat diterangkan dengan hukum *Ghyben - Herzberg*, namun dengan adanya perbedaan berat jenis (fungsi salinitas) antara air laut dengan air bawah tanah tawar maka bidang batas (*interface*) sangat tergantung pada keseimbangan keduanya (Hendrayana 2002).

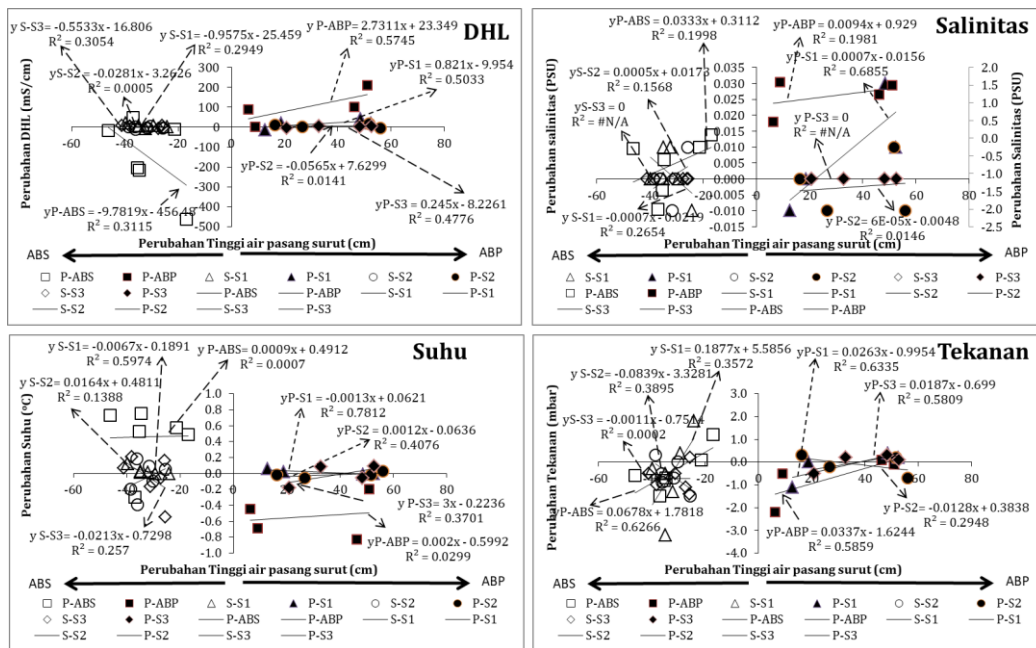
Pola hubungan serta koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang dihasilkan (Tabel 5) menggambarkan bahwa pendekatan analisis III lebih menunjukkan hubungan

yang lebih konsisten dari pergerakan pasang surut terhadap perubahan parameter kualitas air ditunjukkan oleh nilai koefisien regresi ("b") dapat bernilai negatif/positif untuk perubahan kualitas air seiring dengan pergerakan pasang surut (ABS/ABP). Pendekatan analisis III memberikan hubungan pola pergerakan pasang surut dan perubahan kualitas air tanah dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang lebih besar dibandingkan dengan kedua pendekatan lainnya. Pola konsisten juga ditunjukkan pada fenomena yang terjadi di sumur sampel 3 untuk parameter tekanan dan salinitas dengan nilai koefisien korelasi yang bervariasi.

**Tabel 4.** Rekapitulasi nilai statistik hubungan pergerakan pasang surut terhadap parameter kualitas air

Y	Lok	Pendekatan Analisis I*						Pendekatan Analisis II**					
		Kondisi ABS (N = 8)			Kondisi ABP (N = 4)			Kondisi ABS (N = 8)			Kondisi ABP (N = 4)		
		a	B	$R^2$	A	b	$R^2$	a	B	$R^2$	a	b	$R^2$
DHL	P	4629	3,51	0,43	469,3	2,80	<b>0,84</b>	5140	8,88	<b>0,51</b>	4766	3,84	<b>0,90</b>
	S1	540,3	-0,15	0,27	485,5	0,88	<b>0,62</b>	516,5	-0,47	0,37	519,7	0,87	0,25
	S2	621,6	0,10	0,27	623,1	0,16	0,29	631,1	0,07	0,02	627,5	0,12	0,11
	S3	453,5	-0,03	0,10	449,7	0,04	0,40	449,4	0,09	0,13	447,9	0,13	<b>0,78</b>
Suhu	P	27,06	-0,014	<b>0,78</b>	26,43	-0,012	<b>0,74</b>	25,11	-0,03	<b>0,81</b>	26,03	-0,013	<b>0,52</b>
	S1	24,42	-0,001	0,27	24,43	0,0002	0,07	24,29	-0,002	0,22	24,44	-9E-5	0,01
	S2	24,00	0,003	0,22	30,00	-0,11	<b>0,52</b>	24,38	0,007	0,23	24,11	0,0003	0,17
	S3	23,25	0,002	0,12	23,21	0,001	0,22	23,46	0,05	0,22	23,2	0,002	0,17
Sal	P	33,42	0,02	<b>0,66</b>	33,73	0,026	<b>0,92</b>	35,9	0,03	0,32	34,4	0,04	<b>0,99</b>
	S1	0,285	-4E-5	0,05	0,251	0,0005	<b>0,64</b>	0,28	9E-5	0,03	0,27	0,0005	0,27
	S2	0,334	1E-05	0,01	0,336	-7E-06	0,002	0,34	4E-5	0,02	0,34	-7E-5	0,05
	S3	0,24	1E-05	1E-15	0,24	-	-	0,24	-	0	0,24	1E-17	N/A
Tek	P	998,8	0,011	0,23	997,4	-0,001	0,12	1000	0,02	0,08	997,3	-0,0003	0,01
	S1	998,0	0,016	0,31	996,8	0,006	<b>0,88</b>	999,5	0,007	0,008	997,0	0,008	<b>0,60</b>
	S2	997,5	0,015	<b>0,60</b>	997,8	-0,005	0,27	998,9	0,01	0,05	997,8	-0,001	0,45
	S3	996,7	0,02	<b>0,72</b>	996,1	0,008	0,46	998,7	0,02	0,13	996,4	0,009	0,15

Keterangan: \* = Tinggi air pasang surut terukur (X) dan parameter kualitas air terukur (Y); \*\* = Perubahan tinggi air pasang surut (X) dan parameter Kualitas air terukur (Y); Y = Parameter kualitas air; Lok = Lokasi pengukuran; N = jumlah data; a = koefisien intercept; b = koefisien regresi;  $R^2$  = koefisien determinasi; ABP = air bergerak pasang; ABS = air bergerak surut; P = pantai; S1 = sumur sampel 1; S2 = sumur sampel 2; S3 = sumur sampel 3; Bolt =  $R^2 > 75\%$ ; italic+ Bolt =  $50\% < R^2 < 75\%$ .



Catatan: P ABP = titik sampling di pantai saat kondisi ABP; P ABS = titik sampling di pantai saat kondisi ABS; P-S1; P-S2 dan P-S3 = nilai pengukuran saat pasang (ABP) untuk sumur sampel 1 (S1), sumur sampel 2 (S2) dan sumur sampel 3 (S3); S-S1; S-S2 dan S-S3 = nilai pengukuran saat surut (ABS) untuk sumur sampel 1 (S1), sumur sampel 2 (S2) dan sumur sampel 3 (S3).

**Gambar 8.** Hubungan nilai perubahan pergerakan pasang surut terhadap nilai perubahan parameter kualitas air (pendekatan analisis III)

Hasil analisis juga menjelaskan bahwa pengaruh pergerakan pasang surut berpotensi mempengaruhi kualitas air pada sumur sampel terutama pada parameter DHL serta salinitas, meskipun nilai R<sup>2</sup> yang dihasilkan relatif kecil (< 75%). Nilai tersebut juga menjelaskan bahwa masih banyak faktor lain yang potensial membentuk nilai kualitas air pada sumur sampel. Faktor lain dimaksud salah satunya merujuk pada hasil penelitian Hanif & Parnadi (2022) yang menjelaskan bahwa Kelurahan Fitu termasuk wilayah yang mempunyai akuifera terbesar di Pulau Ternate. Kondisi tersebut dibuktikan dengan fluktuasi parameter kualitas air (suhu dan salinitas) yang sangat kecil, namun mempunyai variasi perubahan DHL dan tekanan dengan koefisien determinasi yang tinggi (R<sup>2</sup> > 0.50) pada sumur sampel 3. Faktor lain juga diperlihatkan pada lokasi sumur sampel baik secara horisontal (jarak dari pantai) serta secara vertikal (ketinggian) diatas permukaan laut (Irham *et al.* 2022).

**Tabel 5.** Nilai hubungan pengaruh pergerakan pasang surut terhadap parameter kualitas air

Y	Lok	Analisis I				Analisis II				Analisis III			
		ABS		ABP		ABS		ABP		ABS		ABP	
		b	R <sup>2</sup>	b	R <sup>2</sup>	b	R <sup>2</sup>	b	R <sup>2</sup>	b	R <sup>2</sup>	b	R <sup>2</sup>
DHL	P	+	43	+	84	+	51	+	90	-	31	+	57
	S1	-	27	+	62	-	37	+	25	-	30	+	50
	S2	+	27	+	29	+	2	+	11	-	<1	-	14
	S3	-	10	+	40	+	13	+	78	-	31	+	48
Suhu	P	-	78	-	74	-	81	-	52	+	<1	+	3
	S1	-	27	+	7	+	22	-	1	-	60	-	78
	S2	+	22	-	52	+	23	+	17	+	14	+	41
	S3	+	12	+	22	+	22	+	17	-	26	+	37
Salinitas	P	+	66	+	92	+	32	+	99	+	20	+	20
	S1	-	5	+	64	+	3	+	27	-	27	+	69
	S2	+	1	-	0.2	+	2	-	5	+	16	+	62
	S3	+	<1	N/A		0	+	N/A		N/A	N/A		
Tekanan	P	+	23	-	12	+	8	-	1	+	63	+	59
	S1	+	31	+	88	+	1	+	60	+	34	+	63
	S2	+	60	-	27	+	5	-	45	-	39	-	30
	S3	+	72	+	46	+	13	+	15	-	<1	+	59

Keterangan : Nilai R<sup>2</sup> dalam satuan persen (%).

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa pendekatan analisis III lebih informatif dalam mendeterminasi pola hubungan pergerakan pasang surut dan perubahan kualitas air tanah sumur gali. Kecenderungan hubungan tersebut lebih konsisten berdasarkan nilai “b” (koefisien korelasi) yang mengikuti pergerakan pasang surut terhadap masing-masing parameter kualitas air. Pergerakan pasang surut berpotensi mempengaruhi kualitas air tanah pada sumur gali masyarakat terutama untuk parameter DHL dan salinitas pada sumur sampel 1 (R<sup>2</sup> > 50%) dan juga pada sumur sampel 2 (R<sup>2</sup> = 14% dan 62%) saat ABP Nilai koefisien determinasi menjelaskan bahwa masih banyak faktor lain yang membentuk nilai kualitas air pada sumur sampel selain pergerakan pasang surut.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada komunitas *Marine Instrumentations dan Akustik* (MIC) Program Studi Ilmu Kelautan Unkhair yang telah banyak membantu dalam rancang bangun alat serta pengumpulan data penelitian.

#### 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 Coastal of Ternate Island). *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 23(2):163-168. doi:<https://doi.org/10.22146/jml.18787>.

Africanita 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:10.25077/dampak.14.1.62-72.2017.

Aris AZ. 2010. A numerical modelling of seawater intrusion into an oceanic island aquifer, Sipadan Island, Malaysia. *Sains Malaysiana*. 39(4):525-532

Arsyad S. 2012. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.

Azhari SK, Sulistianingtyas T. 2008. Sumber Daya Air di Wilayah Pesisir & Pulau-pulau Kecil di Indonesia. *Jurnal Siosoteknologi*. 7(13):396-398

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:10.29244/jitkt.v11i2.21662.

Boudhiaf R, Baccar M. 2014. Transient hydrodynamic, heat and mass transfer in a salinity gradient solar pond: A numerical study. *Energy conversion and management*. 79:568-580

BPS (2023). Kota Ternate Dalam Angka 2023. . Ternate BPSK. Kota Ternate. Ternate, ©BPS Kota Ternate. . **No.Pub 82710.2302**: : 383p.

Brusseu ML. 1996. Evaluation of simple methods for estimating contaminant removal by flushing. *Groundwater*. 34(1):19-22. doi:10.1111/j.1745-6584.1996.tb01860.x.

Cahyadi A. 2017. Permasalahan Sumberdaya Air Pulau Karang Sangat Kecil (Studi Kasus di Pulau Pramuka, Kabupaten Kepulauan Seribu, DKI Jakarta). Di dalam: *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, . Semarang. Undip. hlm.

Danaryanto H, Said HD. 2004. *Air tanah di Indonesia dan pengelolaannya*. Jakarta: Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.

Dishidros (2005). *Tabel Prakiraan Pasang Surut di Indonesia*. Laut. DhOTA. Jakarta, Dinas Hidro dan Oseanografi TNI Angkatan Laut.

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>.

Gallagher EL, Thornton E, Stanton T. 2003. Sand bed roughness in the nearshore. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 108(C2). doi:10.1029/2001JC001081.

- Hamam (2004). Kerusakan Akibat Intrusi Air Laut Di Pantai Utara Jawa Tengah, . Tengah BPdPPJ. Semarang, Badan Penelitian dan Pengembangan Provinsi Jawa Tengah
- Hamzah M. 2011. Hidrologi Pantai Dan Kebutuhan Air Masyarakat Pesisir. *Fisika" FUSI*. 9(1):68 - 76
- Hanif M, Parnadi W. 2022. Groundwater play in extensional regime: a case study in Cibunar Region, Garut, Indonesia. Di dalam: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. hlm 012004.
- Hendrayana H. 2002. Intrusi air asin ke dalam akuifer di daratan. *Yogyakarta (ID): UGM*.
- Herdyansah A, Rahmawati D. 2017. Dampak intrusi air laut pada kawasan pesisir Surabaya Timur. *Jurnal Teknik ITS*. 6(2):C253-C257.doi:10.12962/j23373539.v6i2.25863.
- Herlambang A, Indriatmoko RH. 2005. Pengelolaan Air Tanah dan Intrusi Air Laut. *Jurnal Air Indonesia*. 1(2):211 - 225
- ICSM (2011). Australian Tides Manual SP9 Version 6. Level PCOTAMS. Darwin, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping. **VI**: 86.
- 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
- IOC (2006). Manual on sea level measurement and interpretation. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO. **Volume IV-An update to 2006**: 78pp.
- Irawan P. 2019. Ekplorasi Airtanah di Kampus Universitas Siliwangi Dalam Rangka Pengelolaan Sumber Daya Air Berkelanjutan. *Jurnal Siliwangi Seri Sains dan Teknologi*. 5(2):56-63.doi:10.37058/jssainstek.v5i2.1274
- Irham M, Putra I, Irwansyah I, Setiawan I, Rusdi I. 2022. The Assessment of Seawater Intrusion on The North Coast of Aceh Besar: A Surface Water and Well Water Study. *Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology*. 8(1):42-53. doi:<https://doi.org/10.22373/ekw.v8i1.10476>.
- Khairunnas K, Gusman M. 2018. Analisis Pengaruh Parameter Konduktivitas, Resistivitas dan TDS Terhadap Salinitas Air Tanah Dangkal pada Kondisi Air Laut Pasang dan Air Laut Surut di Daerah Pesisir Pantai Kota Padang. *Bina Tambang*. 3(4):1751-1760.doi: <https://doi.org/10.24036/bt.v3i4.102295>.
- Kusrini K. 2018. Sebaran Air Tanah Dangkal Di Permukaan Sekitar Pantai Kecamatan Ternate Utara Kota Ternate. *Jurnal Geocivic*. 1(2).doi:10.33387/geocivic.v1i2.1102.
- Kusumarini S (2013). Prediksi Intrusi Air Laut Berdasarkan Nilai Daya Hantar Listrik dan *Total Dissolved Solid* di Kabupaten Tangerang. *Skripsi*, Institut Pertanian Bogor.
- Latumeten GR, Tubalawony S, Noya YA. 2023. Kondisi Eksisting Intrusi Air Laut Di Pesisir Latuhalat, Pulau Ambon. *TRITON: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*. 19(1):43-51.doi: 10.30598/TRITONvol19issue1page43-51.
- 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>.
- LIPI. 2007. *Sumber Daya Air dan Lingkungan Potensi, Degradasi dan Masa Depan*. Jakarta: Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI Press.
- Malaka H. 2015. *Pemodelan Kebutuhan Air dan Ketersediaan Air Tanah di Pulau Tidore*. Thesis. Bogor: IPB (Bogor Agricultural University).
- PAHIAA-Jakarta (1980). *Klasifikasi Keasinan Perairan*. Asin PAHIA. Jakarta, Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin
- 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:10.24252/jft.v9i2.33725.
- Petterssen S. 2011. *Introduction to meteorology*. Read Books Ltd.
- Purnama IS. 2005. Distribusi airtanah asin di dataran pantai Kota Semarang dan kesediaan membayar penduduk dalam perbaikan kondisi sumber air. *Majalah Geografi Indonesia*. 19(2005).doi:10.22146/mgi.13287.
- Purnama S, Tivianton TA, Cahyadi A, Febriarta E. 2019. Kajian Daerah Imbuhan Airtanah di Kabupaten Ngawi. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografian*. 16(1).doi:10.15294/jg.v16i1.18358.
- Putri AW, Suharto B, Susanawati LD. 2016. Identifikasi Pencemaran Air Tanah Akibat Intrusi Air Laut (Studi Kasus Pesisir Pantai Ketah Kabupaten Situbondo). *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 2(3):32-39
- 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:10.33387/pangea.v1i1.1185.
- 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*.
- Salnuddin S. 2017. Indikator Penciri Penanggulangan Hijriah pada Pergerakan Pasang Surut. *AHKAM: Jurnal Ilmu Syariah*. 17(2)
- Setyawan R, Setiyono H, Rochaddi B. 2017. Studi Rip Current di Pantai Taman, Kabupaten Pacitan. *Journal of Oceanography*. 6(4):639-649
- 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.
- Valensia F, Suganda B, Barkah M, Hadian M. 2018. Determination of Saltwater Intrusion Zone Based on Groundwater Physical Properties on Eretan Coastal Area Indramayu Jawa Barat. Di dalam: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. hlm.
- Wang D, Shannon M, Grieve C. 2001. Salinity reduces radiation absorption and use efficiency in soybean. *Field Crops Research*. 69(3):267-277
- Warburg H (1923). *Publications Received by the IHB. The International Hydrographic Review*. . Review. TIH.
- Yuwandari M, Iskandarsyah TYWM, Barkah MN, Setiawan T, Nababan JRS. 2020. Zonasi Intrusi Air Laut pada Sistem Akuifer Tertekan Atas Cekungan Air Tanah Jakarta. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*. 11(2):97-113.doi:10.34126/jlbg.v11i2.310.



Salnuddin, Bemba, J., Harahap, Z. A., Kader, M. F., Wahidin, N., Ihsan, K. H., dan 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:10.14710/jil.22.3.781-792