



JURNAL SEGARA

<http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/segara>

ISSN : 1907-0659

e-ISSN : 2461-1166

Nomor Akreditasi: 766/AU3/P2MI-LIPI/10/2016

PENGARUH AKTIFITAS SEAFLOOR FUMAROLES TERHADAP SEBARAN SUHU PERMUKAAN DAN KONDISI LINGKUNGAN PERAIRAN DI TELUK PRIA LAOT, PULAU WEH

THE INFLUENCE OF SEAFLOOR FUMAROLES ACTIVITY ON SEA SURFACE TEMPERATURE AND ENVIRONMENTAL CONDITION IN PRIA LAOT COASTAL BAY, WEH ISLAND

Wisnu Arya Gemilang & Ulung Jantama Wisha

Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, BRSDM-KP, KKP
JL. Raya Padang-Painan km 16, Bungus, Padang

Diterima : 19 Maret 2018 ; Diterima Setelah Perbaikan : 14 Maret 2019 ; Disetujui Terbit: 20 Maret 2019

ABSTRAK

Aktifitas vulkanik bawah laut yang ada di kawasan perairan Pulau Weh ditunjukkan dalam bentuk *fumaroles*, *sofataras*, lahan panas, mata air panas, kolam lumpur panas dan alterasi sekitar lubang kepundah dasar laut dan pantai. *Manifestasi hydrothermal* berupa semburan gas vulkanik dan keluaran mata air panas bawah laut mendominasi pada perairan Pulau Weh, terutama pada Teluk Pria Laot. Penelitian ini dilakukan terhadap karakteristik Suhu Permukaan Laut (SPL) menggunakan pendekatan data citra satelit Aqua MODIS dapat memberikan gambaran pengaruh aktifitas mata air panas bawah laut terhadap SPL. SPL di sekitar lokasi keluaran airpanas bawah laut menunjukkan nilai tinggi dibandingkan sekitarnya. Rata-rata SPL pada musim barat 28,94°C, peralihan I 30,52°C, monsun Timur 30,06°C, dan pada musim peralihan II 27,93°C. Musim timur hingga peralihan II memperlihatkan anomali rendahnya suhu sekitar keluaran mata airpanas dibandingkan dengan sekitarnya, yang dipengaruhi oleh faktor meningkatnya curah hujan dan fenomena *Transpor Ekman*. Fluktuasi SPL pada area sekitar aktifitas *seafloor fumaroles* mengikuti pola perubahan elevasi pasang-surut. Aktifitas *seafloor fumaroles* memberikan dampak perubahan karakteristik nilai salinitas, pH serta suhu sekitar Teluk, sehingga banyak biota laut yang tidak dapat hidup di sekitar fumaroles tersebut.

Kata Kunci : Seafloor Fumaroles, suhu permukaan, lingkungan, Teluk Pria Laot, Pulau Weh.

ABSTRACT

Underwater volcanic activities observed in the Weh Island is shown in the form of fumaroles, solfataras, hot lands, hot springs, hot mud ponds, as well as hot funnel alteration of seafloor and coastal area vents. Hydrothermal manifestations of volcanic gas and hot seafloor groundwater discharge predominate the water of Weh Island, mainly in the Pria Laot Bay. This study determines the SST distribution using Aqua MODIS satellite data that related to the influence of hot seafloor groundwater on Temperature profile. SST values around hydrothermal groundwater discharge are higher than surrounding temperature. The average of SST during northeast monsoon reached 28.9°C, the first transitional season reached 30.52°C, southwest monsoon reached 30.06°C, and the second transitional season reached 27.93°C, respectively. During northeast monsoon to the 2nd transitional season, low temperature anomaly occurred in the area of hot spring fumaroles, this is caused by rainfall intensity enhancement and Ekman transport mechanism. SST fluctuation around fumaroles follows the displacement of surface elevation (tidal condition). Seafloor fumaroles activities affect water quality degradation within the bay such as salinity, pH, and temperature as well, resulting in demised biota in the surrounding fumaroles spots.

Keywords : Seafloor Fumaroles, sea surface temperature, environment, Pria Laot Bay, Weh island.

Corresponding author:

Jl. Pasir Putih I Ancol Timur, Jakarta Utara 14430. Email: wisnu.gemilang@yahoo.co.id

Copyright © 2018 Jurnal Segara

DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/segara.v15i1.6776>

PENDAHULUAN

Pulau Weh merupakan kawasan yang sangat terkenal sebagai lokasi penyelaman karena sangat banyak karang serta fenomena aktifitas fumaroles bawah laut. Lokasi fumaroles bawah laut dapat di akses oleh wisatawan menggunakan kapal ataupun dengan penyelaman (Kurnio *et al.*, 2015). Aktivitas panas bumi yang terjadi di Pulau Weh dipengaruhi oleh aktifitas sesar, selain itu fenomena fumaroles yang ada di kawasan pantai Teluk Pria Laut juga dipengaruhi oleh proses tektonik berupa sesar (Suhanto, 2005).

Aktifitas vulkanisme di permukaan dapat teramati pada bagian tengah Pulau Weh, di perairan dangkal pesisir Serui dan Pria Laot maupun pada sekitar zona pesisir. Aktifitas vulkanisme tersebut berupa fumarole, solfatera, kolam lumpur panas, mata airpanas, dan gelembung gas pada kolom air laut diatas vent hydrothermal dasar laut (Kurnio *et al.*, 2016). Manifestasi hidrothermal tersebut tidak terlepas dari kondisi geologi pulau Weh yang sangat dipengaruhi oleh sistem besar sesar Sumatera (Sih & Natawidjaja, 2000; Curray, 2005). Kombinasi antara sesar aktif dan vulkanik aktif mengendalikan kondisi geologi Pulau Weh, dan termasuk gugusan pulau gunungapi sepanjang sabuk Sunda yang membentang sepanjang Sumatera (Tikoff & de Saint-Blanquat, 1998).

Fenomena fumaroles yang ada di kawasan lepas pantai Pulau Weh, dapat dikatakan sebagai fenomena Keluaran Airtanah Lepas Pantai (KALP) atau (*Submarine Groundwater Discharge/SGD*). Fenomena SGD merupakan bentuk rembesan dekat garis pantai (*near shore seepage*), rembesan di dasar laut (*seepage*) dan mata air bawah laut (*spring discharge*) (Burnett *et al.*, 2001). KALP merupakan keluaran air dari dalam bumi yang memiliki suhu berbeda dengan suhu air di lingkungan sekitar tempat keluarnya (Lestiana *et al.*, 2017). Sistem hidrothermal laut (dangkal atau laut) dianggap sebagai lingkungan ekstrim karena memiliki karakteristik suhu tinggi dan kondisi kimia yang berbeda pada lingkungan perairan laut. Kondisi tersebut dapat menyebabkan sebagian besar organisme laut tidak dapat bertahan (Maugeri *et al.*, 2010).

Sistem hidrothermal dangkal memiliki akses yang sangat mudah ke lingkungan laut dengan *gradien redox* yang kuat (Price *et al.*, 2013). Sistem tersebut sehingga dikatakan sebagai lingkungan ekstrim dengan kondisi biogeokimia yang unik, berawal dari interaksi antara kondisi panas, merubah fluida air menjadi dingin karena pengaruh oksigen pada air laut (Gomez-Saez *et al.*, 2015). Adanya pengaruh perbedaan suhu antara air laut dan aktifitas fumarole bawah laut, diindikasikan dapat mempengaruhi suhu

permukaan laut.

Pendeteksian anomali suhu ini dapat dideteksi dengan teknologi penginderaan jauh band termal. Identifikasi perbedaan suhu pada permukaan laut akibat pengaruh aktifitas fumaroles menggunakan teknologi penginderaan jauh tersebut telah berhasil dilakukan di negara-negara sub-tropis (Dale & Miller, 2007; Akawwi *et al.*, 2008; Wilson & Rocha, 2012 dan Mallast *et al.*, 2013). Keberhasilan pendeteksian perbedaan suhu menggunakan teknologi penginderaan jauh akibat SGD tersebut memungkinkan untuk diterapkan pada lokasi keluaran airpanas bawah laut (*submarine hydrothermal system*).

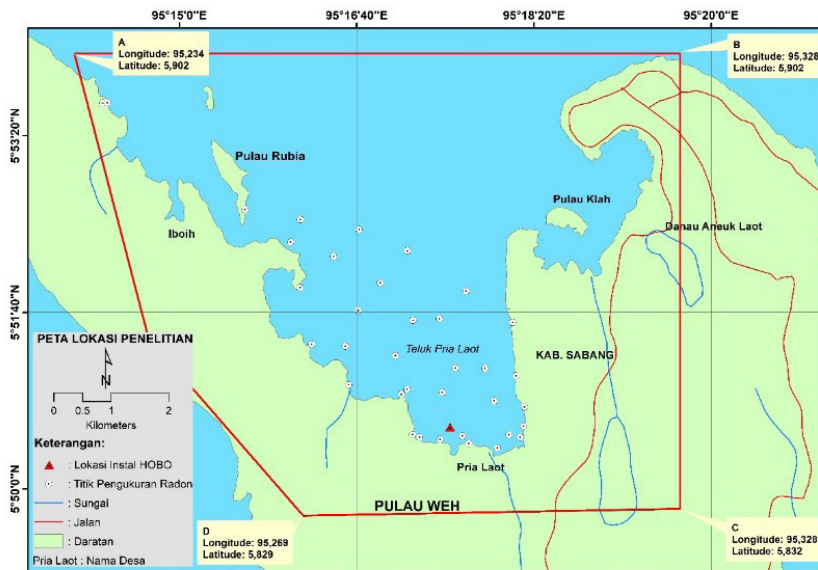
Salah satu upaya mengkaji parameter konsentrasi suhu di permukaan laut dengan lingkup area penelitian yang luas, maka dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh. Salah satu teknologi penginderaan jauh dalam bidang kelautan yaitu menggunakan data satelit oseanografi, yaitu Aqua-MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spektroradiometer*) (Saraswata *et al.*, 2013). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik suhu permukaan laut dalam 4 musim berbeda terhadap pengaruh aktifitas fumaroles bawah laut di perairan Teluk Pria Laot menggunakan data sensor MODIS.

METODE PENELITIAN

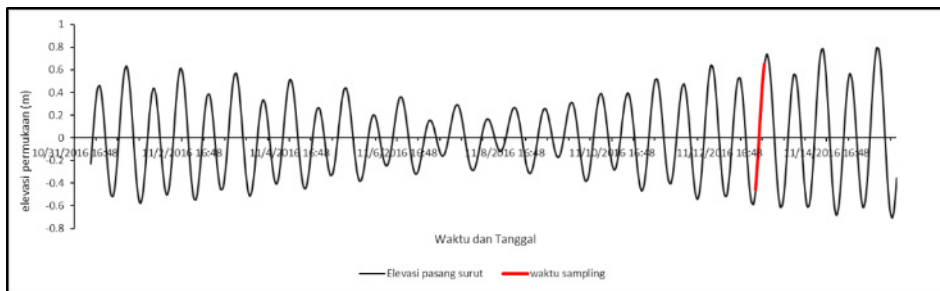
Penelitian dilakukan pada di daerah pesisir Pulau Weh, dengan fokus penelitian berada pada teluk Pria Laot (Gambar 1). Penentuan lokasi tersebut berdasarkan keterdapatannya fenomena fumaroles bawah laut yang cukup banyak (Gambar 1). Data primer yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data suhu permukaan laut yang diperoleh dari citra MODIS level 1 dan 2 (Desember 2015 - November 2016).

Data citra MODIS level 1 dan 2 merupakan peta citra yang terdiri dari variabel geofisika yang dijalankan oleh program *l2gen* pada resolusi yang sama dengan sumber data level 1. Data level 1 telah diperiksa dan direkonstruksi. Data citra level 1 sudah memiliki informasi waktu dan keterangan koefisien kalibrasi dan parameter *georeference*. Variabel geofisika tersebut dikelompokkan ke dalam beberapa rangkaian produk seperti OC (*Ocean Color*), SST dan SST4 untuk MODIS (Feldman, 2014).

Sensor MODIS dari satelit ini memiliki karakteristik yang identik. MODIS memiliki sensitivitas *radiometric* tinggi (16 bits), terdiri dari 36 *band/channel* (saluran) dengan kisaran Panjang gelombang 0,4-14,4 μ m. Dua band pertama (Band 1 dan 2) memiliki resolusi 250m, lima band berikutnya memiliki resolusi 500m, sedangkan 29 band sisanya beresolusi 1000m dengan luas areal pengamatan 2330x2330 km (Tarigan, 2012).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.



Gambar 2. Kondisi pasang surut pada waktu pengambilan sampel Radon dan Kualitas air.

Data *in situ* berupa pemetaan hidrokimia permukaan laut meliputi pengukuran salinitas, Radon (222Rn) dan sifat fisik air. Sifat fisik air yang meliputi daya hantar listrik (DHL), sifat keasaman air (pH), suhu permukaan air laut, arus dan pasang surut. Data sekunder yang digunakan berupa peta rupa bumi Indonesia (RBI) tahun 2001 dan peramalan pasang surut.

Pengukuran kandungan gas Radon (222Rn) dilakukan dengan menggunakan alat RAD7 radon detector pada 45 stasiun yang tersebar di dalam Teluk Pria Laot (Gambar 1), pengambilan sampel dilakukan pada kondisi surut menuju pasang tanggal 13 November 2016 (Gambar 2). Data ramalan pasang surut disimulasikan sesuai dengan lokasi pengukuran HOBOWare pada area penelitian. Pada setiap stasiun juga dilakukan pengukuran nilai suhu, salinitas, dan pH. Pada titik keluaran air panas terbesar dilakukan instalasi HOBOWare untuk merekam fluktuasi muka air dan suhu dasar perairan (Widianto *et al.*, 2016). Instalasi alat tersebut dilakukan selama 1 bulan pengukuran. Nilai pasang surut juga digunakan untuk melakukan verifikasi terhadap model hidrodinamika.

Flow model flexible mesh digunakan untuk menggambarkan perpindahan massa air yang dipengaruhi oleh pasang surut (Wisha *et al.*, 2016). Pemodelan arus pasang surut disimulasikan selama 15 hari, namun hasil model akan ditampilkan dalam bentuk 2 dimensi pada kondisi surut menuju pasang dalam fase purnama sesuai dengan kondisi pasang surut saat pengambilan data di lapangan (Gambar 2). Masukan model terdiri dari data batimetri, digitasi garis pantai, dan peramalan pasang surut pada kondisi batas model (Tabel 1). Untuk mengevaluasi hasil model, yaitu dengan membandingkan data pasang surut hasil model dan data lapangan (Jin & Ji, 2004), dengan menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE), sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (x_i - y_i)^2}$$

di mana,

- N = Jumlah data
- Xi = Hasil model
- Yi = data pengukuran lapangan

Table 1. Pengaturan model arus pasang surut

Parameter	Diterapkan dalam simulasi
Waktu simulasi	- Jumlah timestep: 100 - Interval waktu langkah: 30 detik - Tanggal mulai simulasi: 12-12-2017 14.10 - Tanggal selesai simulasi: 27-12-2017 15.00
Batasan mesh	Digitasi garis pantai menggunakan citra google earth dan data batimetri berdasarkan data SRTM
Flood and Dry	Kedalaman pengeringan: 0,005 m Kedalaman pasang: 0,05 m Kedalaman basah: 0,1 m
Kondisi Batasan model	Batas model 1: 95,3° E dan 5,93° N Batas model 2: 95,2° E dan 5,83° N Batas model 3: 95,3° E dan 5,74° N Batas model 4: 95,4° E dan 5,83° N

Hasil model arus pasang surut kemudian di overlay dengan peta distribusi kualitas perairan (Wisha *et al.*, 2016) (pH, salinitas dan suhu), sehingga dapat dipresiksikan bahwa pola arus permukaan memiliki peran dalam distribusi parameter kualitas perairan di Teluk Pria Laot. Distribusi kualitas perairan dilakukan dengan menggunakan pendekatan spasial (*Spline*). Menurut Li & Heap (2014) *Spline* menginterpolasi permukaan dari data raster dari titik menggunakan kelengkungan minimum dalam bentuk 2 dimensi yang menghasilkan permukaan halus sesuai dengan titik inputan. Pengaturan analisis *Spline* disajikan pada Tabel 2.

Data citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra dari satelit Aqua MODIS berupa citra Suhu Permukaan Laut level-1 dan 2 *Standar Mapped Image* (SMI) bulanan. Data citra satelit aqua MODIS merupakan data *free* yang diperoleh dari *download*

Table 2. Pengaturan untuk analisis *Spline*

Indikator	Diterapkan dalam <i>Spline</i>
Proyeksi	<i>Geographic (Longitude/Latitude)</i>
System koordinat	<i>World Geographic system (WGS) 1984</i>
Geoprocessing-environment setting	Atas: 5,88 Bawah: 5,83 Kanan: 95,3 Kiri: 95,25
Pengaturan <i>Spline</i>	- Ukuran sel keluaran: $1,75 \times 10^{-4}$ - Tipe <i>Spline</i> : reguler

langsung dari website resmi MODIS yaitu www.oceancolor.gsfc.nasa.gov. Pengolahan data Suhu Permukaan Laut (SPL) dilakukan dengan cara mendeskripsikan parameter suhu permukaan laut menggunakan data Citra MODIS. Data citra MODIS yang diunduh merupakan data level 1 dan 2 dalam bentuk HDF (*Hierarchical Data Format*), kemudian dilakukan pengolahan menggunakan *software* SeaDAS 5.02 (SeaDAS, 2018).

Tahap awal pemrosesan data MODIS level 1 dan 2, yaitu *cropping* atau pemotongan wilayah yang disesuaikan dengan wilayah penelitian. Setelah itu hasil yang akan digunakan berupa data ASCII, yang selanjutnya diolah kembali menggunakan *software* Microsoft Excel 2007. Hal ini dilakukan untuk memperoleh informasi SPL secara kuantitatif dalam pengolahan data selanjutnya. Pengolahan data SPL menggunakan interpolasi model *kriging* (Tabel 3). *Kriging* merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisis data geostatistik (Puspita *et al.*, 2013). Metode *kriging* dilakukan untuk menduga nilai yang tidak diketahui dengan menggunakan nilai-nilai yang diketahui disekitarnya (Mursyidin *et al.*, 2015).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi angin dan curah hujan pada daerah penelitian

Iklim di Kota Sabang dipengaruhi musim barat dan musim timur serta 2 (dua) musim peralihan. Pada musim barat angin bergerak dari arah barat ke arah timur. Musim barat terjadi pada November hingga Januari dimana merupakan bulan-bulan dengan suhu relatif rendah (26°C) dan curah hujan paling tinggi (353,8 mm). Musim timur terjadi pada Mei hingga Juli, angin bergerak dari arah timur ke barat dan barat daya. Rata-rata suhu pada pada musim timur mencapai 28,4°C (Atlas Pesisir Kota Sabang, 2010).

Berdasarkan data Badan Meteorologi dan Geofisika Kota Sabang selama tahun 2016, memperlihatkan curah hujan tertinggi berada pada Mei

Table 3. Pengaturan interpolasi kriging

Indikator	Diterapkan dalam proses <i>kriging</i>
Proyeksi Sistem koordinat	<i>UTM Zone 49 Southern Hemisphere World Geographic System (WGS) 1984</i>
Geoprocessing-Environment Setting	<i>Processing Extend</i> : Atas = 95.336 Bawah = 5.837 Kanan = 95.215 Kiri = 95.336
ArcToolbox Spatial Analyst Tool	<i>Kriging Set up</i> : <i>Output Cell Zise</i> = 3,035 <i>Search Radius</i> = <i>Variable</i>

(256,2mm). Curah hujan terendah pada 2016 berada pada April, Juni dan Agustus yaitu kurang dari 100mm (Gambar 3). Keluaran airtanah maupun mata air panas (*fumaroles*) yang dipengaruhi oleh aktifitas *hidrothermal* di daratan ataupun di lepas pantai dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pemicu terjadinya fenomena tersebut antara lain karena perbedaan gradien hidraulik muka air tanah ataupun perbedaan gradien konsentrasi antara suatu tempat dengan tempat lainnya (Bakti *et al.*, 2012). Selain itu faktor besarnya debit air tanah yang berasal dari darat menjadi salah satu faktor terjadinya fenomena *fumaroles* di kawasan pesisir.

Lokasi terjadinya fenomena *fumaroles* yang ada di pesisir Teluk Pria Laot terdapat sumber air permukaan dari sungai yang dijadikan sebagai sumber air bersih oleh PDAM (Perusahaan Dagang Air Minum). Sumber utama air tanah di Pulau Weh di dominasi oleh aliran permukaan. Aliran permukaan berupa air hujan yang jatuh dan mengalir di permukaan dan masuk ke dalam sungai menjadi aliran sungai (Pujiraharjo *et al.*, 2015). Jadi aliran sungai yang ada di Pulau Weh berasal dari limpasan permukaan (*surface run off*) ditambah dengan aliran antara (*interflow*) aliran sungai yang berasal dari rembesan tanah.

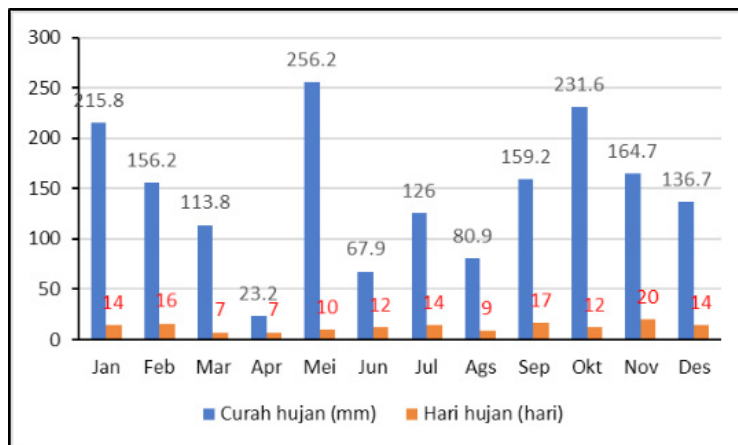
Kondisi debit air permukaan dan air tanah yang cukup tinggi tersebut serta perbedaan gradien hidrolis muka air tanah, mendorong air tanah tersebut muncul

di kawasan pesisir. Air tanah tersebut melewati sistem akuifer yang dikontrol oleh struktur geologi dan panas bumi sehingga keluaran air tanah di pesisir Teluk Pria Laot berupa *hot spring* (mata airpanas) atau fumaroles (Gambar 4). Tingkat curah hujan yang ada di Pulau Weh menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi proses kemunculan fumaroles di pesisir Teluk Pria Laot. Secara regional keterdapatannya dan besarnya keluaran air lepas pantai dipengaruhi banyak parameter, diantaranya iklim, geologi, topografi, tanah dan jenis batuan, perbedaan tekanan muka air dan pasang surut laut (Lopes & Oliveira, 2007).

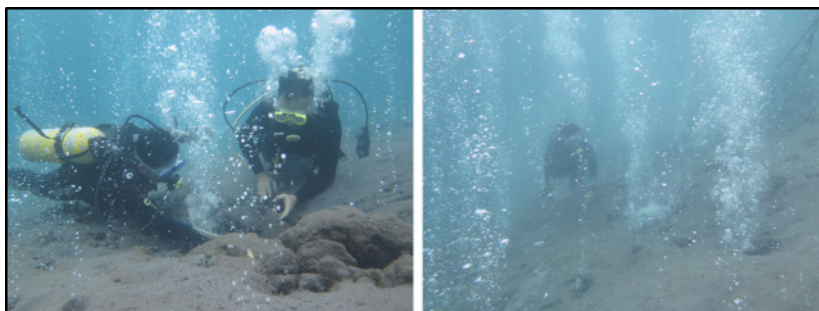
Hubungan antara curah hujan dengan fenomena fumaroles yang ada di Teluk Pria Laot dapat diinterpretasikan bahwa semakin tinggi curah hujan maka dapat meningkatkan debit jumlah titik fumaroles yang ada. Tingkat curah hujan tertinggi pada Januari, Mei dan Oktober (>200mm) diinterpretasikan banyak muncul gelombang gas dari fumaroles yang terjadi di lokasi tersebut. Kondisi tersebut berbanding terbalik pada saat tingkat curah hujan rendah menyebabkan jumlah titik dan debit fumaroles tersebut akan berkurang.

Verifikasi Citra MODIS

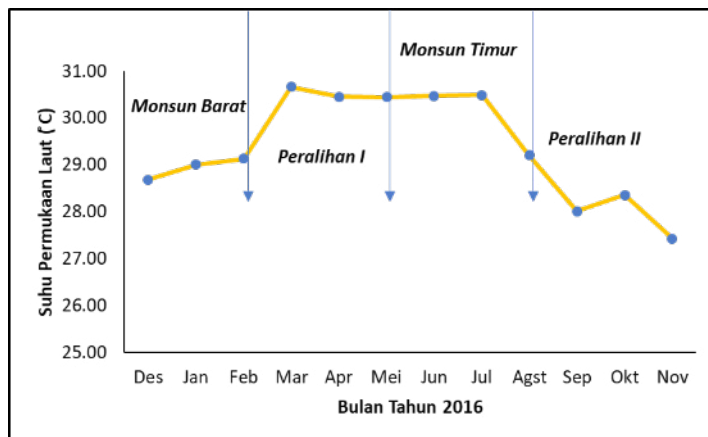
Hasil pengolahan data suhu menggunakan data MODIS tahun 2016 menunjukkan adanya peningkatan suhu rata-rata pada musim peralihan I dan monsun



Gambar 3. Grafik banyaknya hari hujan dan curah hujan bulanan 2016. (BMKG Sabang, 2017).



Gambar 4. Kenampakan fumaroles bawah laut di pesisir Teluk Pria Laot.



Gambar 5. Grafik rata-rata suhu permukaan laut bulanan 2016.

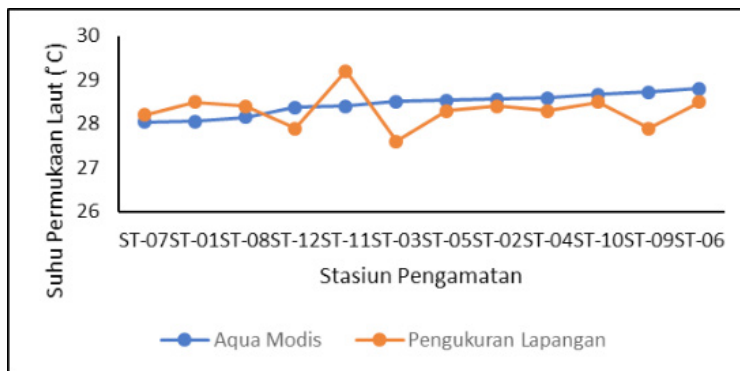
Timur (>30°C) dan relative menurun pada monsun Barat dan peralihan II (27 - <30°C) (Gambar 5). Nilai rata-rata suhu permukaan laut terendah berada pada November yaitu 27,43°C dan September 28,01°C. Nilai suhu permukaan laut pada tahun 2016 memiliki variasi dan fluktuasi yang berbeda, puncak suhu tertinggi berada pada Maret hingga Juli yang masuk dalam musim peralihan I dan monsun Timur. Nilai puncak suhu tertinggi mencapai 30,66°C pada bulan Maret. Variasi SPL di Indonesia relative kecil dibandingkan wilayah lain, namun rata-ratanya cukup tinggi dengan variasi tertinggi terjadi di perairan pantai selatan Jawa dan Sumatera (Qu *et al.*, 2005).

Nilai suhu terendah pada tahun 2016 memperlihatkan tingkat penurunan SPL pada bulan Agustus hingga November. Titik suhu terendah pada bulan November bernilai 27,43°C, kemudian berangsur naik kembali pada Desember. Nilai SPL memperlihatkan titik terendah pada monsun Barat dan peralihan II. Grafik perbandingan antara SPL MODIS dan in situ pada tahun 2016 memperlihatkan adanya kesamaan garis grafik tersebut (Gambar 6). Garis tren pada grafik tersebut dapat diinterpretasikan bahwa data SPL MODIS dengan hasil pengukuran in situ tidak memperlihatkan perbedaan yang cukup jauh. Perbedaan trend garis grafik ditunjukkan pada ST-11 dan ST-09 hal tersebut dimungkinkan adanya eror

pada pixel SPL modis sehingga terbaca nilai SPL yang berbeda.

Hasil grafik regresi linier sederhana antara nilai SPL pada MODIS dengan nilai SPL data in situ menunjukkan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,85 atau nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,92 dengan persamaan $y = 0,5907x + 11,733$ (Gambar 7). Koefisien korelasi (r) 0,92 yang menunjukkan bahwa 92,32% keragaman suhu permukaan laut dapat dijelaskan dengan model tersebut. Kondisi tersebut dapat dikatakan bahwa sebanyak 7,68% keragaman dalam suhu permukaan laut tidak dapat dijelaskan dengan persamaan tersebut. Hal tersebut dapat berasal dari faktor-faktor teknis seperti ketidak sesuaian sensor dalam pengembangan model tersebut.

Pengujian model dapat dilakukan dengan menghitung nilai koefisien determinasi dan korelasi model serta F dihitung. Koefisien korelasi menunjukkan keeratan hubungan antara variabel bebas x dengan variabel tidak bebas y. Compbell (1975) dan Djarwanto & Subagyo (2001) menyatakan bahwa koefisien determinasi (R^2) merupakan nilai yang dipergunakan untuk mengukur besarnya sumbangan (*Share*) dari perubahan x terhadap variasi naik turunnya y. R^2 merupakan kriteria kecocokan model, dengan semakin besarnya nilai R^2 maka model dugaan semakin baik



Gambar 6. Grafik perbandingan SPL dan data *in situ* Tahun 2016.

pula. Nilai R2 berkisar antara 0 dan 1 sehingga R2 semakin mendekati satu, ini menunjukkan bahwa model yang dibangun semakin bagus (Tarigan, 2012).

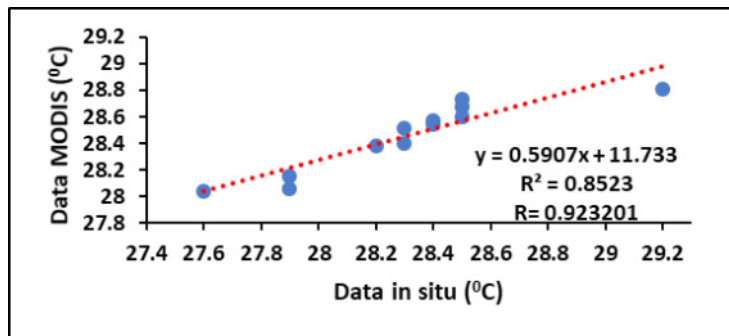
Berdasarkan hasil nilai R tersebut menunjukkan adanya hubungan antara data nilai SPL pada MODIS dengan data *in situ* yang bersifat positif dengan tingkat hubungan/korelasi bersifat kuat (Saraswata *et al.*, 2013). Hal tersebut juga menjelaskan bahwa tidak ada perbedaan yang terlalu signifikan antara data nilai SPL pada modis dengan data *in situ*, sehingga data MODIS dapat menggambarkan keadaan sebenarnya di lapangan.

Karakteristik Suhu Permukaan Laut Sekitar Submarine Hydrothermal System

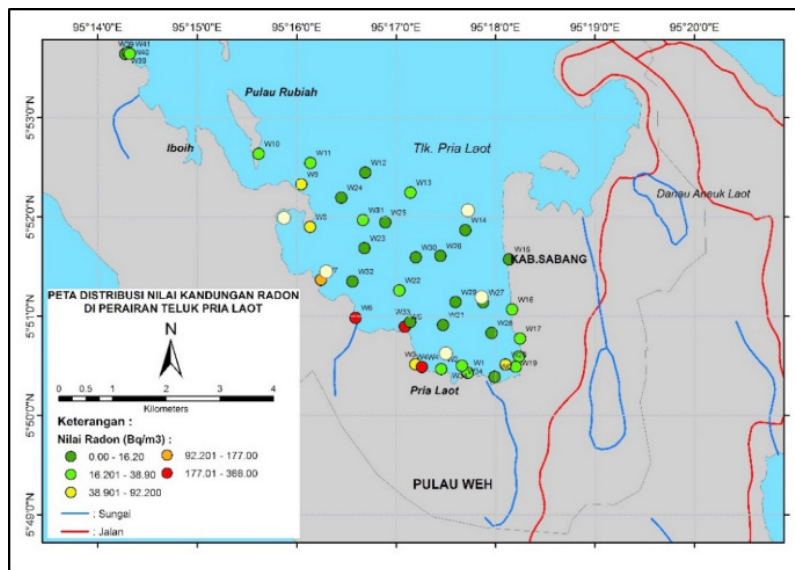
Keberadaan zona *permeable* untuk proses migrasi fluida panasbumi dapat dideteksi dengan memanfaatkan gas radon di alam. Penelitian gas radon untuk bidang panasbumi atau vulkanologi dilakukan pada media air (Nurohman *et al.*, 2016). Identifikasi keberadaan aktifitas fumaroles berdasarkan hasil pengukuran lapangan terhadap unsur penjejak 222Rn di pesisir Teluk Pria Laot menunjukkan konsentrasi yang cukup bervariasi. Pemunculan mata air panas

bawah laut diperkuat dengan konsentrasi radon (222Rn) yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan percontohan air laut yang diambil jauh secara spasial dari titik pemunculan tersebut (Gambar 8). Konsentrasi radon yang relatif tinggi berada pada lokasi W-4, W-3, W-6, W-7 dan W-33 berkisar antara 177 - 366 Bq/m³ dan 92,201 - 177 Bq/m³. Kelima lokasi tersebut berada di sekitar keluaran mata air panas di bawah laut yang ada di Pria Laot.

Hal ini juga ditunjang dengan pengukuran lapangan terhadap daya hantar listrik (DHL) yang relative rendah bila dibandingkan dengan daya hantar listrik air laut disekitarnya. Nilai konsentrasi radon berbanding terbalik dengan nilai DHL, semakin tinggi konsentrasi 222Rn pada air suatu lokasi maka DHL air akan semakin rendah demikian juga sebaliknya (Umezawa *et al.*, 2009). Hampir semua titik lokasi pengukuran air laut di Teluk Pria Laot mengandung 222Rn, hal ini juga mencerminkan adanya suplai air tanah dari daratan ke lautan yang berupa mata air panas. Batuan di sekeliling teluk ini berupa breksi dan lava yang memiliki permeabilitas rendah, sehingga kemungkinan hadirnya mata air panas lepas pantai tersebut adalah akibat *control* struktur dan aktifitas



Gambar 7. Grafik hubungan SPL modis dengan *in situ*.



Gambar 8. Peta distribusi nilai radon (222Rn) di Teluk Pria Laot.

vulkanisme lampau di daerah tersebut.

Karakteristik suhu permukaan laut di sekitar lokasi mata air panas bawah laut di teluk Pria Laot memperlihatkan adanya fluktuasi yang cukup signifikan. Pengamatan SPL terhadap 5 titik stasiun observasi yang ditentukan berdasarkan jarak terdekat dengan lokasi keluaran mata air panas bawah laut. Berdasarkan pengamatan pada data SPL MODIS selama 12 bulan pada 2016, diperlihatkan tren grafik yang relatif seragam (Gambar 9). Beberapa stasiun observasi menunjukkan garis trend yang relatif berbeda pada bulan Juni di ST-02, kondisi tersebut bisa dikarenakan ketidaksesuaian sensor data SPL MODIS saat dilakukan pemodelan.

Kondisi sebaran suhu permukaan laut di sekitar lokasi keluaran mata air panas (*fumaroles*), memperlihatkan perbedaan pada setiap musimnya (Gambar 5). Nilai SPL relatif menurun pada bulan Agustus hingga November yang merupakan monsun Timur menuju musim peralihan II. Hal tersebut diduga karena menguatnya angin muson tenggara yang bertiup dari tenggara ke arah barat laut, sehingga menyebabkan terjadinya Transport Ekman. Proses tersebut akan menyebabkan kekosongan yang berakibat naiknya air (*upwelling*) dari bawah menuju ke lapisan permukaan (Wyrski, 1962).

Transport Ekman menyebabkan air laut di lapisan permukaan bergerak menjauh pantai sehingga terbentuk suatu kondisi dimana tinggi muka air di sisi pantai lebih rendah dibandingkan dengan muka air di lepas pantai (Yuniarti *et al.*, 2013). Karena angin bertiup terus menerus, menyebabkan terbentuknya ruang kosong di sisi pantai dan terbentuk gradien tekanan. Gradien tekanan tersebut menyebabkan massa air akan berupaya menuju keseimbangan, sehingga meningkatkan peristiwa *upwelling* yang membawa massa air yang bersuhu rendah dari lapisan dalam ke lapisan atas (Pond & Pickard, 2013).

Pengaruh transport Ekman di perlihatkan pada

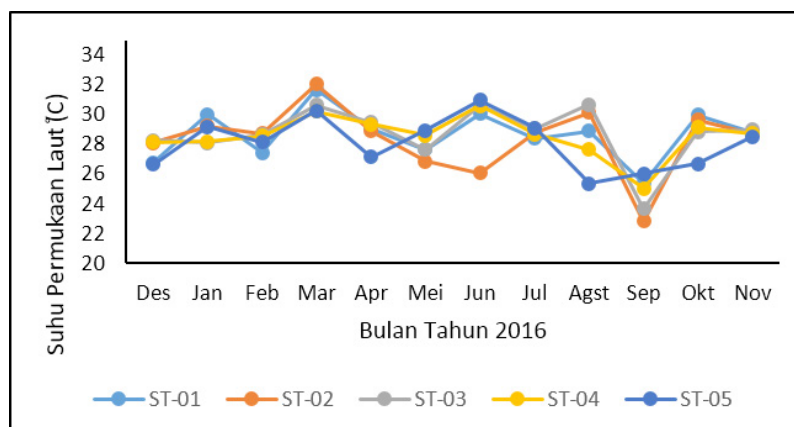
lokasi penelitian, di monsun timur akhir hingga musim peralihan II, pada wilayah terdekat dengan area keluaran mata air panas cenderung rendah dibandingkan dengan area terluar dan laut lepas. Hal tersebut mempengaruhi suhu panas dari fumaroles tersebut yang menuju ke permukaan terbawa oleh angin menjauh ke arah lepas pantai. Fenomena tersebut terlihat pada peta sebaran SPL pada peralihan II hingga monsun Barat, suhu tertinggi berada menjauh dari lokasi keluaran *hot spring* (Gambar 10).

Selain faktor pengaruh transport Ekman, faktor tingkat curah hujan menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi rendahnya nilai SPL di area *hot spring*. Pada Agustus hingga November terjadi peningkatan intensitas curah hujan, sehingga menurunkan kadar SPL pada area tersebut. Meningkatnya intensitas curah hujan menyebabkan meningkatnya debit air permukaan yang meresap menjadi air tanah melalui rekahan dan terdorong menuju lepas pantai, sehingga suhu pada *hot spring* menurun.

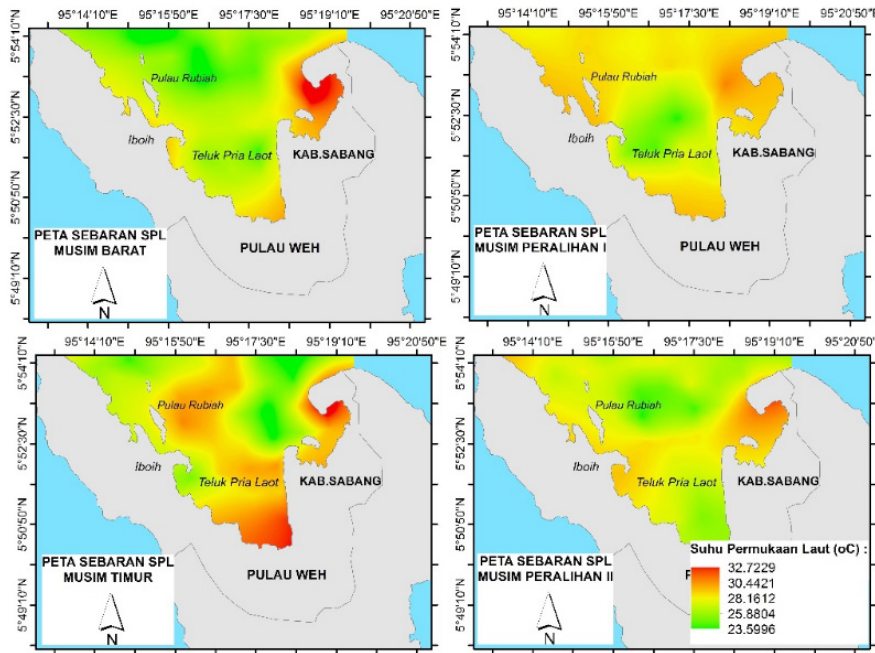
Pengaruh kondisi hidro-oseanografi terhadap distribusi submarine hydrothermal discharge

Simulasi pemodelan hidrodinamika haruslah divalidasi sebelum diterapkan dalam analisis lebih lanjut. Validasi dilakukan dengan membandingkan data hasil pemodelan dengan data pengukuran langsung di lapangan. Pemodelan oseanografi merupakan metode pendekatan untuk menggambarkan kondisi oseanografi sebenarnya di alam, sehingga simulasi pemodelan memiliki batas kesalahan galat (*Error*).

Perbandingan antara data lapangan dengan data hasil model menghasilkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 11,98 %, dimana terlihat pada Gambar 11 bahwa perbandingan elevasi permukaan antara data lapangan (garis merah) dan data hasil model (garis biru) memiliki fase pasang surut yang serupa. Namun sedikit perbedaan ditemukan saat kondisi perbani, dimana hasil model memiliki



Gambar 9. Grafik rata-rata bulanan SPL pada stasiun observasi.



Gambar 10. Peta SPL 4 musim berbeda tahun 2016.

keterlambatan fasa. Menurut Wisna & Heriati (2016) bahwa pada kondisi pasang surut perbani, gaya-gaya tarik astronomis saling melemahkan sehingga terjadi keterlambatan fase (*phase delay*).

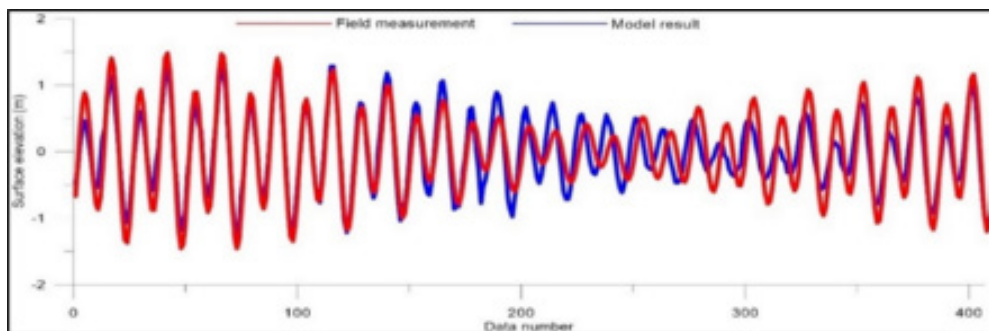
Distribusi suhu panas akibat dari adanya fumaroles pada kondisi surut menuju pasang (Gambar 12) menunjukkan bahwa suhu tinggi berada pada area sekitar sumber *hot spring*. Pada kondisi surut menuju pasang, dominasi arah arus bergerak ke arah Selatan dan Tenggara memasuki Teluk dengan kecepatan arus berkisar antara 0-0,9 m/dt. Nilai suhu disekitar aktifitas fumaroles berkisar antara 28-29°C. Degradasi suhu yang terjadi menyebabkan biota gagal untuk beradaptasi, itulah sebabnya di area tersebut sangat sedikit ditemukan biota yang hidup.

Teluk Sabang dan Teluk Pria Laot merupakan wilayah perairan semi tertutup, dimana distribusi oleh arus laut sangatlah signifikan. Pada saat kondisi purnama, mekanisme transpor menjadi maksimal terjadi masuk dan keluar teluk. Menurut Wisna &

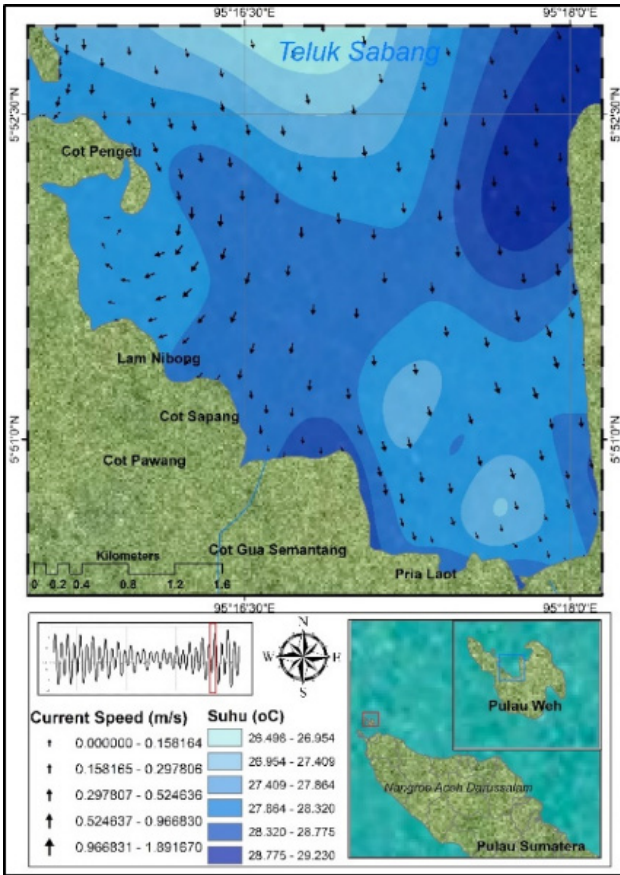
Kusumah (2018) fluktuasi suhu pada keluaran air tanah lepas pantai mengikuti pola perubahan elevasi pasang surut. Saat pasang, suhu perairan laut lebih mendominasi didalam teluk, dan sebaliknya pada saat surut, keluaran suhu panas dari fumaroles akan tersebar menuju area lain yang didukung oleh mekanisme transpor sepanjang pantai.

Di sekitar lokasi aktifitas fumaroles kecepatan arus berkisar antara 0-0,3 m/dt dengan tipe pasang surut campuran condong harian ganda, dimana dalam satu hari terjadi maksimal 2 kali pasang dan surut. Perubahan suhu disekitar keluaran air panas (fumaroles) lepas pantai mengikuti mekanisme perubahan elevasi pasang surut (Gambar 13). Menurut Chen *et al.* (2005) pencatatan nilai temperatur sangat berkorelasi positif terhadap fluktuasi pasang surut, menimbulkan sirkulasi *fluida hidrotermal* secara cepat.

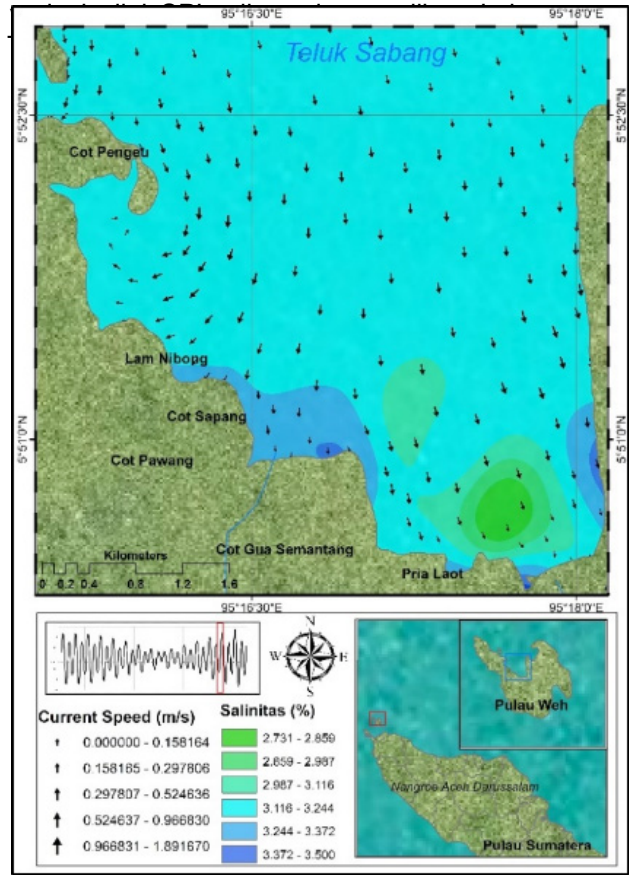
Pemantauan keluaran air panas lepas pantai juga dilakukan dengan mengobservasi sebaran salinitas disekitar sumber (Gambar 14), karena air tanah yang



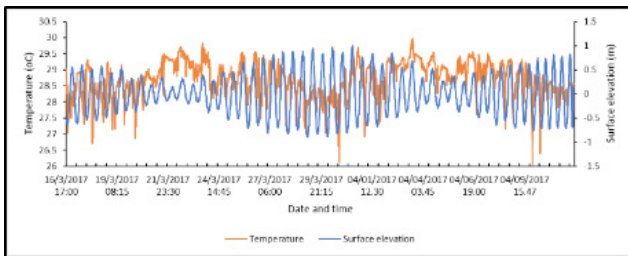
Gambar 11. Verifikasi hasil model hidrodinamika.



Gambar 12. Sebaran suhu permukaan di area submarine hydrothermal discharge.



Gambar 14. Sebaran salinitas di area submarine hydrothermal discharge.



Gambar 13. Korelasi fluktuasi pasang surut dan suhu dilokasi submarine hydrothermal discharge.

memiliki salinitas rendah turut berpengaruh dalam pecampuran salinitas akibat dukungan suhu tinggi pada tiap vent di lokasi penelitian. Pada Gambar 14 terlihat bahwa salinitas rendah ditemukan di tengah teluk (kontur hijau) berkisar antara 2,7-2,8 %. Salinitas tinggi ditemukan di area sumber hidrothermal vent didekat pesisir Teluk Pria Laot (Kontur Biru) berkisar antara 3.2-3.6 %. Hal tersebut wajar karena adanya pengaruh keluaran air panas terhadap akumulasi garam (salinisasi) di area tersebut.

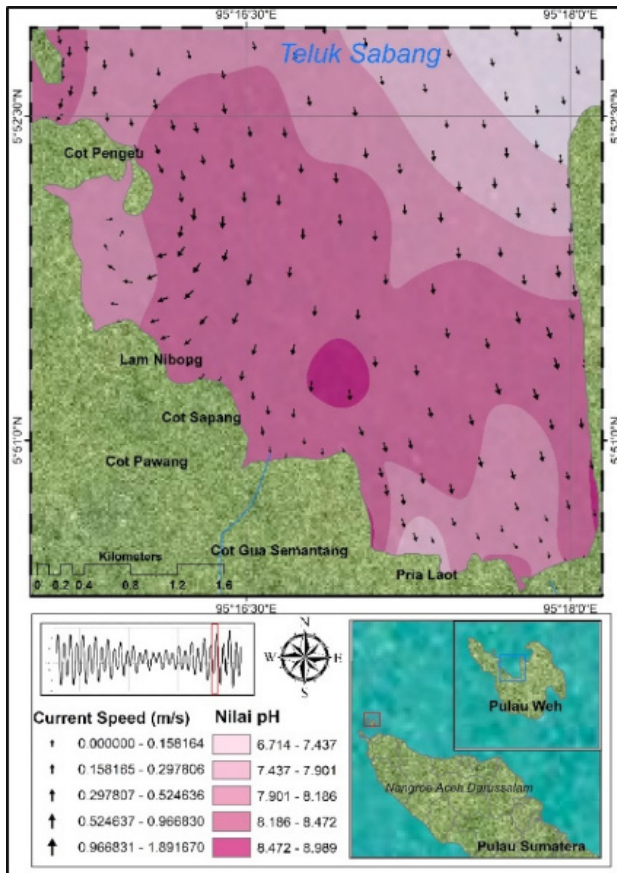
Menurut Vandenbohede *et al.* (2014) adanya keluaran air tanah dengan suhu tinggi merupakan

faktor kunci terjadinya salinisasi, dimana air tanah dengan suhu tinggi tersebut juga mempengaruhi suhu permukaan hingga kolom perairan. Adanya transport massa air dari laut menuju sumber hidrothermal vent menyebabkan peningkatan salinitas didekat sumber melalui proses mineralisasi oleh hidrothermal system.

Keluaran air tanah dengan suhu tinggi juga berpengaruh terhadap peningkatan pH disekitar sumber air panas, hal ini disebabkan oleh adanya senyawa logam yang terbawa oleh rembesan fluida hidrothermal. Pada Gambar 15, sebaran pH disekitar sumber fumaroles berkisar antara 8,1-8,4 (bersifat basa). Nilai pH mengalami degradasi dari mulut teluk hingga mencapai area keluaran air tanah berkisar antara 6,7-8,9 (kondisi pH netral berada di mulut teluk). Menurut Chen *et al.* (2005) pada area hidrothermal vent yang kecil (30-65°C) ditemukan pH yang lebih tinggi.

KESIMPULAN

Aktifitas submarine hydrothermal berupa keluaran mata air panas di bawah laut Teluk Pria Laot, memberikan pengaruh terhadap sebaran suhu permukaan laut (SPL). Pada musim yang berbeda terlihat adanya



Gambar 15. Sebaran nilai pH di area submarine hydrothermal discharge.

Il hingga monsun Barat memperlihatkan penurunan suhu dengan rata-rata 28,44°C. Kondisi peningkatan SPL di pengaruhi oleh faktor tingkat curah hujan dan fenomena transport Ekman. Faktor pola perubahan elevasi pasang surut, menyebabkan fluktuasi suhu permukaan laut sekitar *seafloor fumaroles*. Beberapa biota laut seperti terumbu karang tidak dapat hidup disekitar keluaran air panas, karena adanya perbedaan nilai suhu, pH dan salinitas yang dipengaruhi oleh aktifitas *seafloor fumaroles*.

Saran

Pengukuran suhu pada kolom perairan di sekitar keluaran *hot spring*, Pria Laot harus dilakukan untuk mengetahui fluktuasi suhu perairan sehingga dapat mengetahui pengaruh hot spring terhadap suhu perairan laut. Selain itu pengukuran radon (²²²Rn) pada bagian darat hingga area laut perlu dilakukan untuk mengetahui sumber keluaran *hot spring* tersebut.

PERSANTUNAN

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir (LRSDKP) Balitbang KP atas DIPA Anggaran Penelitian tahun 2016 terkait penelitian yang dilakukan di Pulau Weh,

Sabang, Aceh. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Gunardi Kusumah, M.T dan Hendra Bakti, M.T, yang telah membantu proses pengambilan data serta bimbingannya selama proses penulisan jurnal ini. Serta kepada DKP Kab. Sabang dan kelompok nelayan Pria Laot yang telah membantu dalam proses pengambilan data dilapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akawwi, E., Al-Zouabi, A., Kakish, M., Koehn, F. & Sauter, M., (2008). Using Thermal Infrared Imagery (TIR) for Illustrating the Submarine Groundwater Discharge Into the Eastern Shoreline of The Dead Sea-Jordan, *American Journal of Environmental Sciences*, 4(6), 693-700. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2008.693.700>.
- Bakti, H., Lubis, R.F., Delinom, R. & Nailly, W. (2012). Identifikasi Keluaran Air Tanah Lepas Pantai (KALP) di Pesisir Aluvial Pantai Lombok Utara, Nusa Tenggara Barat, *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 3(2), 133-149.
- Burnett, W.C., Taniguchi, M. & Oberdorfer, J. (2001). Measurement and Significance of The Direct Discharge of Groundwater Into The Coastal Zone. *Journal of Sea Research*, 46(2), 109-116. [https://doi.org/10.1016/s1385-1101\(01\)00075-2](https://doi.org/10.1016/s1385-1101(01)00075-2).
- Campbell, R.C. (1989). *Statistics for Biologists*. Second Edition. Cambridge University Press. 385p.
- Chen, C.T.A., Zeng, Z., Kuo, F.W., Yang, T.F., Wang, B.J. & Tu, Y.Y. (2005). Tide-Influenced Acidic Hydrothermal System Offshore NE Taiwan. *Chemical Geology*, 224(1-3), 69-81. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.07.022>.
- Curray, J.R. (2005). Tectonics and History of The Andaman Sea Region, *Journal of Asian Earth Sciences*, 25(1), 187-232. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2004.09.001>.
- Dale, R.K. & Miller, D.C. (2007). Spatial and Temporal Patterns of Salinity and Temperature at an Intertidal Groundwater Seep. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 72(1-2), pp.283-298. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.10.024>.
- Djarwanto, P.S. & Subagyo, P. (2001). *Mengenal Beberapa Uji Statistik dalam Penelitian*. Liberty, Yogyakarta. 291p.
- Feldmen C.G. (2014). Product Definitions. Halaman web (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/products/>) diakses pada tanggal 26 Maret 2018, pukul 11:05 WIB.

- Gomez-Saez, G.V., Riedel, T., Niggemann, J., Pichler, T., Dittmar, T. & Bühring, S.I. (2015). Interaction Between Iron and Dissolved Organic Matter In a Marine Shallow Hydrothermal system off Dominica Island (Lesser Antilles). *Marine Chemistry*, 177(4), 677-686. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2015.10.003>.
- Jin, K.R. & Ji, Z.G. (2004). Case Study: Modeling of Sediment Transport and Wind-Wave Impact in Lake Okeechobee. *Journal of Hydraulic Engineering*. 130(11), 1055-1067. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(2004\)130:11\(1055\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(2004)130:11(1055)).
- Kurnio, H., Lubis, S. & Widi, H.C. (2015). Submarine Volcano Characteristics in Sabang Waters. *Bulletin of the Marine Geology*, 30(2), 85-96.
- Kurnio, H., Syafri, I., Sudradjat, A. & Rosana, M.F. (2016). Sabang Submarine Volcano Aceh, Indonesia: Review of Some Trace and Rare Earth Elements Abundances Produced by Seafloor Fumarole Activities, *Indonesian Journal of Geoscience*, 3(3), 173-183. <https://doi.org/10.17014/ijog.3.3.173-182>.
- Lestiana, H., Sukristiyanti, S., Bakti, H. & Lubis, R. F. (2017). Pemanfaatan Band Termal Citra Landsat Untuk Identifikasi Keluaran Airtanah Lepas Pantai (Kalp) Di Pantai Utara Lombok. *RISSET Geologi dan Pertambangan*, 27(1), 65-75. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2017.v27.422>.
- Li, J. & Heap, A. D. (2014). Spatial Interpolation Methods Applied in The Environmental Sciences: A Review. *Environmental Modelling & Software*, 53, 173-189. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.008>.
- Lopes, P.C. & Oliveira, J. (2007). Assessment of Submarine Groundwater Discharge and Seasonal Oscillations in Seawater 222Rn Inventories of Ubatuba, Brazil, International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2007, Associacao Brasileira De Energia Nuclear-ABEN. ISBN: 978-85-99141-02-1, Santos, SP, Brazil.
- Mallast, U., Siebert, C., Wagner, B., Sauter, M., Gloaguen, R., Geyer, S. & Merz, R. (2013). Localisation and Temporal Variability of Groundwater Discharge Into the Dead Sea Using Thermal Satellite Data. *Environmental earth sciences*, 69(2), 587-603. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2371-6>.
- Maugeri, T.L., Bianconi, G., Canganella, F., Danovaro, R., Gugliandolo, C., Italiano, F., Lentini, V., Manini, E. & Nicolaus, B. (2010). Shallow Hydrothermal Vents in The Southern Tyrrhenian Sea, *Chemistry and Ecology*, 26(S1), 285-298. <https://doi.org/10.1080/02757541003693250>.
- Mursyidin, M., Munadi, K. & ZA, M. (2015). Prediksi Zona Tangkapan Ikan Menggunakan Citra Klorofil-a Dan Citra Suhu Permukaan Laut Satelit Aqua MODIS Di Perairan Pulo Aceh. *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, 11(5), 176-182. <https://doi.org/10.17529/jre.v11i5.2973>.
- Nurohman, H., Bakti, H., Indarto, S., Permana, H., Yuliyanti, A., Al Kausar, A. & Gaffar, E.Z. (2016). Zona Permeabel Di Kawah Gunung Papandayan Berdasarkan Gas Radon Dan Thoron, *RISSET Geologi dan Pertambangan*, 26(2), 131-140. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2016.v26.274>.
- Pond, S. & Pickard, G.L. (2013). Introductory Dynamical Oceanography. *Elsevier*.
- Price, R.E., Savov, I., Planer-Friedrich, B., Bühring, S.I., Amend, J. & Pichler, T. (2013). Processes influencing extreme as enrichment in shallow-sea hydrothermal fluids of Milos Island, Greece. *Chemical Geology*, 348, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.06.007>.
- Pujiraharjo, A., Rachmansyah, A., Wijatmiko, I. & Anwar, M.R. (2015). Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Ketersediaan Air Baku Di Malang Raya. *Rekayasa Sipil*, 9(1), 1-8.
- Puspita, W., Rahmatin, D. & Suherman, M. (2013). Analisis Data Geostatistik Menggunakan Metode Ordinary Kriging. *Jurnal EurekaMatika*, 1(1). <https://doi.org/10.24843/mtk.2015.v04.i01.p084>.
- Qu, T., Du, Y., Strachan, J., Meyers, G. & Slingo, J., (2005). Sea Surface Temperature and Its Variability. *Oceanography*, 18(4), 50.
- Saraswata, A.G., Subardjo, P. & Muslim, M. (2013). Pengaruh Monsun Terhadap Distribusi Suhu Permukaan Laut Dan Klorofil-a Di Perairan Selatan Bali, *Journal of Oceanography*, 2(1), 79-87.
- SeaDAS 5.02 (Computer software)., 2018. Diperoleh dari halaman web (<http://seadas.gsfc.nasa.gov/>), diakses pada tanggal 05 Januari 2018.
- Sieh, K. & Natawidjaja, D. (2000). Neotectonics of The Sumatran Fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B12), 28295-28326. <https://doi.org/10.1029/2000jb900120>.

- Suhanto, E., Kusuma, D.S. & Djudjun, A. (2005). Gravity Anomaly Investigation for Jaboi Geothermal Area. Sabang City - Nanggroe Aceh Darussalam. Unpublished Report of Center for Geological Resources, Geological Agency of Indonesia, Bandung.
- Tarigan, M.S. (2012). Aplikasi Satelit Aqua MODIS untuk Memprediksi Model Pemetaan Kecerahan Air Laut di Perairan Teluk Lada, Banten. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 14(3), 126-132.
- Tikoff, B. & de Saint-Blanquat, M. (1998). Sunda-style tectonics and magmatic arc processes. *Eos Trans. AGU*, 79, 45.
- Umezawa, Y., Onodera, S.I., Ishitobi, T., Hosono, T., Delinom, R., Burnett, W.C. & Taniguchi, M. (2009). Effect of urbanization on the groundwater discharge into Jakarta Bay. In Trends and sustainability of groundwater in highly stressed aquifers. *Proceedings of Symposium HS. 2 at the Joint Convention of the International Association of Hydrological Sciences (IAHS) and the International Association of Hydrogeologists (IAH) held in Hyderabad, India, 6-12 September 2009* (pp. 233-240). IAHS Press.
- Vandenbohede, A., De Louw, P.G.B. & Doornenbal, P. J. (2014). Characterizing preferential groundwater discharge through boils using temperature. *Journal of hydrology*, 510, 372-384. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.006>.
- Widianto, H., Pranowo, W.S., Monang, S. & Setiadi, H. (2016). Studi Konstanta Harmonik Pasang Surut Terhadap Data Suhu Permukaan Laut di Perairan Pulau Pari. *Jurnal Chart Datum*, 2, 32-43.
- Wilson, J. & Rocha, C. (2012). Regional Scale Assessment of Submarine Groundwater Discharge in Ireland Combining Medium Resolution Satellite Imagery and Geochemical Tracing Techniques. *Remote Sensing of Environment*, 119, 21-34. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.018>.
- Wisha, U.J. & Heriati, A. (2016). Analisis Julat Pasang Surut (Tidal Range) dan Pengaruhnya Terhadap Sebaran Total Sedimen Tersuspensi (TSS) di Perairan Teluk Pare. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 9(1), 23-31. <https://doi.org/10.21107/jk.v9i1.1066>.
- Wisha, U.J., Husrin, S. & Prasetyo, G.S. (2016). Hydrodynamics of Bontang Seawaters: Its Effects on the Distribution of Water Quality Parameters, *Indonesian Journal of Marine Sciences/Ilmu Kelautan*, 21(3), 123-134. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.21.3.123-134>.
- Wisha, U. J. & Kusumah, G. (2018). The influence of Hydro-Oceanography Factors on the Distribution of Nearshore Temperature in the North Lombok Waters, Indonesia: Temperature Anomaly around Submarine Groundwater Discharge (SGD) area. *Oceanologi dan Limnologi Indonesia*. (in press).
- Wyrski, K. (1962). The Upwelling in The Region Between Java and Australia During The South-East Monsoon. *Marine and Freshwater Research*, 13(3), 217-225. <https://doi.org/10.1071/mf9620217>.
- Yuniarti, A., Maslukah, L. & Helmi, M. (2013). Studi Variabilitas Suhu Permukaan Laut Berdasarkan Citra Satelit Aqua MODIS Tahun 2007-2011 di Perairan Selat Bali, *Journal of Oceanography*, 2(4), 416-421.

