

PEMANFAATAN BAND TERMAL CITRA LANDSAT UNTUK IDENTIFIKASI KELUARAN AIR TANAH LEPAS PANTAI (KALP) DI PANTAI UTARA LOMBOK

Utilization of Landsat Thermal Band for Submarine Groundwater Discharge (SGD) Identification in Northern Coast Lombok

Hilda Lestiana, Sukristiyanti, Hendra Bakti, Rachmat Fajar Lubis

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI

ABSTRAK Makalah ini mengkaji penggunaan band termal citra Landsat 7 dan 8 sebagai metode tidak langsung dalam mengidentifikasi kehadiran keluaran airtanah lepas pantai (KALP) di perairan utara Pulau Lombok. Langkah pengolahan citra meliputi koreksi atmosferik, pemerolehan nilai suhu efektif, anomali suhu efektif, dan anomali suhu efektif standar serta penajaman citra. Peta anomali suhu efektif standar memiliki pola yang lebih bervariasi dibandingkan peta suhu efektif. Namun keduanya belum dapat menunjukkan suhu ekstrim yang mengindikasikan lokasi KALP. Parameter anomali suhu efektif standar tidak dapat dipergunakan sebagai variabel tunggal. Identifikasi lokasi KALP di daerah tropis membutuhkan data citra dengan resolusi spasial yang lebih detail. Pemanfaatan data citra juga perlu memperhatikan waktu perekaman citra yaitu pada saat kondisi perairan hangat untuk kasus KALP bersuhu rendah dan pada saat air surut.

Kata kunci: keluaran airtanah lepas pantai (KALP), suhu efektif, Lombok, Landsat 7, Landsat 8.

ABSTRACT This paper examines the use of Landsat 7 and 8 thermal band as an indirect method of identifying submarine groundwater discharge (SGD) in the northern coast of Lombok Island. Image processing steps include atmospheric correction, the acquisition value of the effective temperature, effective temperature anomalies and effective standardised temperature anomalies, as well as image enhancement. Effective standardised temperature anomaly map has more varied pattern than the effective temperature map. But both of them have not been able to demonstrate the extreme temperatures that indicate the location of SGD. Parameter of effective standardised temperature anomaly could not be used as a single variable. SGD identification in tropical area needs more detailed spatial resolution. The acquisition time has also to be considered i.e. when low tidal and for low temperature SGD, when the water temperature is warmer.

Keyword: submarine groundwater discharge (SGD), effective temperature, Lombok, Landsat 7, Landsat 8.

Naskah masuk : 23 Januari 2017
Naskah direvisi : 03 Maret 2017
Naskah diterima : 13 April 2017

Hilda Lestiana
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI Gd. 70, Jl Sangkuriang Bandung 40135
Email : hilda.lestiana@lipi.go.id

PENDAHULUAN

Keluaran air tanah lepas pantai (KALP) (*Submarine Groundwater Discharge/SGD*) didapati dalam 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 yang merupakan keluaran air dari dalam bumi memiliki suhu yang berbeda dengan suhu air di lingkungan sekitar tempat keluarnya. Menurut Pluhowski (1972), di lintang utara, KALP lebih dingin dari air permukaan selama bulan-bulan musim panas dan lebih hangat daripada air permukaan selama musim dingin. Wilson dan Rocha (2012) serta

Tamborski *et al.* (2015) menemukan indikasi *plume* SGD lebih dingin dari suhu di sekitarnya pada perairan Laut Irlandia. KALP dengan suhu yang lebih tinggi juga terjadi di Laut Mati, Jordania (Akawwi *et al.*, 2008). Pendeteksian anomali suhu ini dapat didekati dengan teknologi penginderaan jauh *band* termal. Identifikasi KALP menggunakan teknologi penginderaan jauh tersebut telah berhasil dilakukan di negara-negara sub-tropis (Dale dan Miller, 2007; Akawwi *et al.*, 2008; Wilson dan Rocha, 2012; Mallast *et al.*, 2013).

Pendeteksian KALP di daerah tropis masih sulit dilakukan karena seringkali tersamarkan oleh parameter yang berasal dari sumber-sumber lain. Pemilihan lokasi pengambilan data perlu dipertimbangkan dengan sangat matang. Parameter-parameter lokal yang mempengaruhi kualitas KALP haruslah diperhatikan dengan baik (Moosdorf *et al.*, 2014). Beberapa faktor meteorologi yang berperan sebagai parameter lokal diantaranya adalah curah hujan, penguapan, kelembaban udara, kecepatan angin, dan intensitas radiasi matahari (Arief *et al.*, 2015).

Sejak tahun 2009, Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI telah menginisiasi penelitian keluaran air tanah pada badan air (laut, sungai dan danau) di Indonesia. Gabungan metode penjejak radon²²², *seepage meter* dan hidrogeokimia secara langsung di lapangan telah memberi hasil yang memuaskan untuk membuktikan keberadaan KALP dalam bentuk mata air bawah laut maupun rembesan airtanah bawah laut. KALP dicirikan dengan aktivitas radon²²² yang tinggi maupun salinitas air lebih rendah pada air laut bila dibandingkan dengan air laut di sekitarnya (Bakti *et al.*, 2010; 2012; 2014).

Penelitian KALP intensif dilaksanakan karena Indonesia termasuk negara kepulauan yang memiliki garis pantai terpanjang di dunia. Lubis, *et al.* (2011) menyatakan informasi data lokasi serta sejumlah metode kajian KALP (baik langsung maupun tidak langsung) masih diperlukan untuk melengkapi inventarisasi fenomena ini di Indonesia. Oleh karena itu aplikasi untuk identifikasi potensi KALP di Indonesia harus dibangun agar diperoleh basis data KALP di Indonesia yang lebih representatif. Manfaat *band* termal untuk mengekstraksi suhu ekstrim yang terdeteksi sebagai representasi lokasi

potensi KALP di daerah tropis diharapkan dapat mempercepat pembangunan basis data tersebut.

LOKASI PENELITIAN

Penelitian KALP telah dilakukan di Pantai Papak di utara Pulau Lombok. Pantai ini merupakan pantai datar yang disusun endapan aluvial berupa pasir lepas yang berukuran pasir sedang sampai pasir sangat kasar. Garis pantai ke arah laut disusun oleh terumbu karang dengan permukaan relatif runcing membentuk tonjolan-tonjolan kecil. Batimetri di sekitar pantai berkisar antara -1 m hingga -15 m. Di Pantai Papak ditemukan dua titik zona keluaran air tanah lepas pantai (KALP) dengan jarak sekitar 50-500 m dari garis pantai (Gambar 1). KALP hadir dalam bentuk mata air dasar laut (*submarine springs*) yang terdapat pada kedalaman 2-10 m dengan diameter keluaran mencapai 20 meter. Mata air tersebut keluar dari terumbu karang yang membentuk morfologi berupa ceruk/cekungan (Bakti *et al.*, 2010).

METODE

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah *band* termal citra satelit Landsat 7 (tahun 2001, 2002, dan 2003), Landsat 8 (tahun 2014, 2015, dan 2016) *path* 116 *row* 066, dan data pengukuran KALP di Pantai Papak, perairan utara Pulau Lombok yang diperoleh pada tahun 2010. *Band* termal diolah untuk mendapatkan informasi yang berkaitan dengan suhu permukaan. Resolusi spasial *band* termal Landsat 7 adalah 60 m, sementara *band* termal Landsat 8 adalah 100 m. Perbedaan lainnya adalah format penyimpanan data, dimana *band* termal Landsat 7 disimpan dalam format 8 bit sementara *band* termal Landsat 8 disimpan dalam format 16 bit. Kedua citra Landsat tersebut diperoleh dengan cara mengunduh dari website USGS (earthexplorer.usgs.gov).

Pengolahan citra yang telah dilakukan terdiri atas beberapa tahap berikut.

1. Koreksi geometrik citra terhadap peta Rupa Bumi Indonesia/ RBI.
2. Pemotongan daerah kajian di pantai utara Lombok.
3. Koreksi atmosferik.
4. Pemerolehan sebaran suhu efektif (*Effective Temperature*/ET), anomali suhu efektif (*Effective Temperature Anomaly*/ETA) dan anomali suhu efektif

standar (*Standardised Effective Temperature Anomaly/SETA*).

5. Penajaman citra dengan cara klasifikasi nilai untuk identifikasi potensi KALP.

Koreksi geometrik citra dilakukan untuk memperoleh citra dengan posisi yang benar dan sesuai dengan RBI. Koreksi yang dilakukan diantaranya penyamaan datum, sistem koordinat dan posisi geografis. Datum yang dipakai adalah WGS 1984 dengan sistem koordinat UTM (*Universal Transverse Mercator*) zona 50S.

Daerah kajian disesuaikan dengan lokasi pengukuran KALP di Pantai Papak, Lombok Barat pada koordinat 8,2910° – 8,3128° LS dan 116,1627° – 116,2033° BT. Citra dipotong sesuai dengan daerah kajian untuk efisiensi waktu dan kapasitas data dalam komputer. Di daerah ini, KALP didapati dalam bentuk mata air bawah laut. Dari delapan titik pengukuran, dua diantaranya merupakan KALP/SGD (Bakti *et al.*, 2010) disajikan pada Gambar 1 dan Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Suhu Hasil Pengukuran di Lapangan.

| No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | KALP 1 | KALP 2 |
|--------|------|----|------|----|----|----|--------|--------|
| T (°C) | 29,5 | 29 | 28,5 | 28 | 28 | 28 | 28,2 | 27,2 |

Koreksi atmosferik dilakukan supaya setiap piksel pada citra dapat menggambarkan nilai radiansi objek yang sebenarnya. Koreksi dilakukan untuk menghilangkan pengaruh atmosferik sampai dengan batas atmosfer teratas. Koreksi atmosferik tersebut dilakukan dengan menggunakan rumus berikut (Wilson dan Rocha, 2012; Rajeshwari dan Mani, 2014):

$$L_{\lambda} = \text{Gain} \times \text{QCal} + \text{"Bias (or offset)"} \text{ atau } L_{\lambda} = \left(\frac{L_{\text{MAX } \lambda} - L_{\text{MIN } \lambda}}{\text{QCal}_{\text{MAX}}} \right) (\text{QCal} - \text{QCal}_{\text{min}}) + L_{\text{MIN } \lambda} \dots (1)$$

dimana:

- L_{λ} = nilai radiansi spektral yang diterima pada sensor ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$).
- Gain* = gain yang diskala ulang yang terdapat pada *file header* citra ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$).
- QCal* = nilai piksel (*Digital Number/ DN*).
- Bias* = bias yang diskala ulang yang terdapat pada *file header* citra ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$).
- QCal_{MAX} = nilai piksel terbesar.
- QCal_{MIN} = nilai piksel terkecil.

- MAX_{λ} = nilai radiansi spektral yang berkorelasi dengan QCal_{MAX} ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$).
- $\text{L}_{\text{MIN } \lambda}$ = nilai radiansi spektral yang berkorelasi dengan QCal_{MIN} ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$).

Nilai yang diperoleh dengan menggunakan Rumus 1 adalah nilai radiansi yang dikonversi dari nilai piksel. Nilai radiansi dijadikan masukan untuk memperoleh nilai suhu dengan menggunakan rumus berikut (Wilson dan Rocha, 2012; Effat dan Hassan, 2014).

$$T = \left(\frac{K_2}{\ln \left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1 \right)} \right) \dots (2)$$

dimana:

- T = suhu dalam satuan derajat Kelvin.
- K_1, K_2 = nilai konstanta sebelum peluncuran satelit.
- $L_{\lambda} T$ = suhu kinetik dari radiansi permukaan benda hitam, dengan satuan $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$.

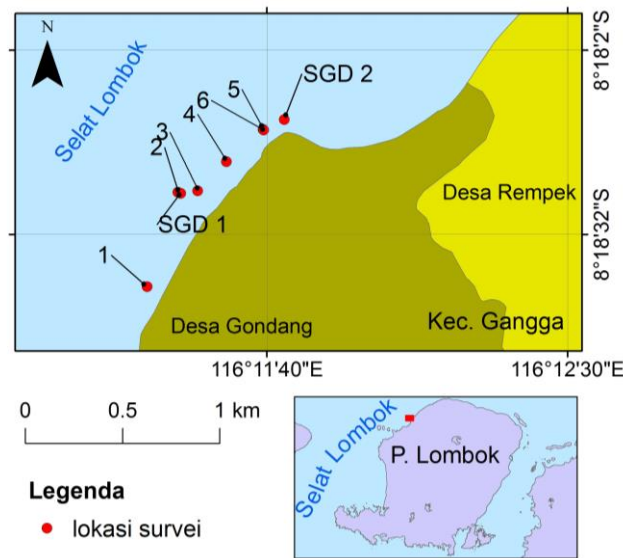
Suhu hasil ekstraksi pada citra Landsat pada Rumus 2 merupakan suhu efektif (*Effective Temperature/ET*), bukan suhu aktual (Trisakti, 2004). Suhu efektif lebih rendah daripada suhu aktual dengan bias tidak lebih dari 0,5 °C (Gaol, 2014).

Nilai parameter dari perhitungan suhu efektif pada Rumus 1 dan 2, disajikan pada Tabel 2. Nilai ET dalam derajat Kelvin dikonversi menjadi derajat Celcius dengan rumus berikut.

$$\text{ET (}^{\circ}\text{C)} = \text{ET} - 273,15 \dots (3)$$

Untuk mengidentifikasi lokasi KALP yang berupa anomali suhu atau suhu ekstrim dilakukan perhitungan nilai anomali suhu efektif (*Effective Temperature Anomaly/ETA*) dan anomali suhu efektif standar (*Standardised Effective Temperature Anomaly/SETA*). Hal ini dilakukan karena ketidakterersediaan data suhu insitu pada saat perekaman citra. Tanpa adanya data suhu insitu tidak dimungkinkan untuk dilakukannya validasi terhadap nilai suhu permukaan laut yang diekstraksi dari citra Landsat (Wilson dan Rocha, 2012).

Pembuatan peta SETA bertujuan untuk mendapatkan tampilan yang kontras dengan



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Pantai Utara Pulau Lombok.

pembesaran nilai, sehingga nilai pada peta ini tidak memiliki satuan. Disamping itu pada identifikasi lokasi KALP, nilai absolut suhu permukaan laut dapat diabaikan (Wilson dan Rocha, 2012). Jika lokasi suhu ekstrim yang

Tabel 2. Nilai Parameter dari Metadata Citra Landsat.

| Parameter | Landsat 7 | Landsat 8 | Satuan |
|--------------|-----------|-----------|----------------------------|
| L_{MIN} | 3,2 | 0,10033 | $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ |
| L_{MAX} | 12,65 | 22,0018 | $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ |
| Q_{calMIN} | 1 | 1 | - |
| Q_{calMAX} | 255 | 65535 | - |
| K_1 | 666,09 | 774,89 | $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ |
| K_2 | 1282,71 | 1321,08 | $^{\circ}K$ |

mengindikasikan KALP sudah ditentukan, maka lokasi tersebut dapat dijadikan acuan untuk melakukan pengukuran suhu di lapangan. Estimasi nilai suhu dapat diperoleh dari peta suhu permukaan laut hasil perhitungan empiris. Penentuan suhu permukaan laut secara empiris merupakan perhitungan perbandingan suhu hasil perhitungan pada citra satelit dengan suhu pengukuran di lapangan (Trisakti, 2004; Arief, 2015).

Perhitungan nilai anomali suhu efektif (ETA) dilakukan dengan cara mengurangi nilai suhu efektif (ET) dengan nilai rata-rata keseluruhan pada citra tersebut. Anomali suhu efektif

diperoleh dengan rumus berikut (Wilson dan Rocha, 2012):

$$ETA = ET - T_{rerata} \dots\dots\dots (4)$$

di mana:

- ETA = anomali suhu efektif ($^{\circ}C$).
- ET = nilai suhu efektif atau ET ($^{\circ}C$).
- T_{rerata} = suhu rata-rata pada citra ($^{\circ}C$).

Untuk menstandarkan nilai suhu, maka dilakukan pembagian nilai menggunakan standar deviasi dari tiap data. Anomali suhu efektif standar diperoleh dengan rumus berikut (Wilson dan Rocha, 2012):

$$SETA = \frac{ETA}{\sigma} \dots\dots\dots (5)$$

di mana:

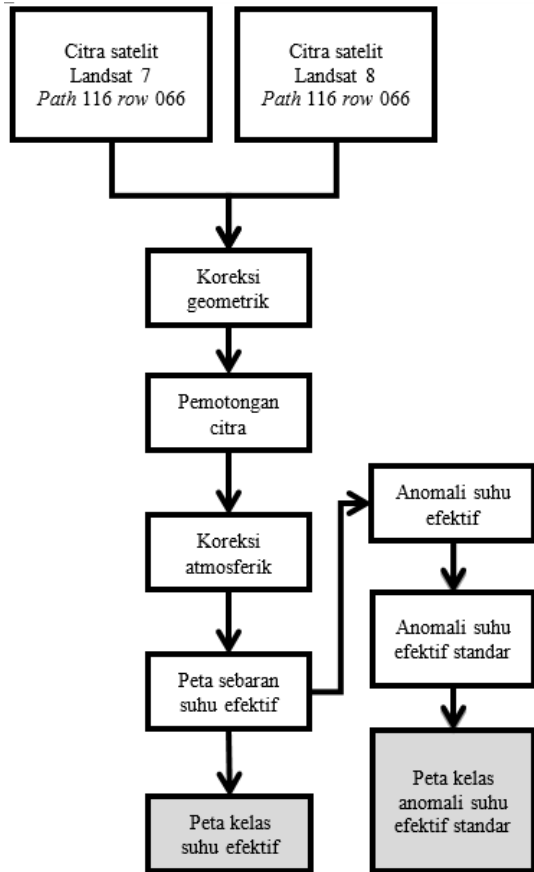
- SETA = anomali suhu efektif standar.
- ETA = anomali suhu efektif.
- σ = standar deviasi dari data.

Pada peta distribusi suhu efektif yang dihasilkan, lokasi potensi KALP dapat dilihat dengan menganalisis degradasi warna kelas suhu yang mengindikasikan adanya suhu ekstrim. Untuk mengkontraskan peta suhu dan SETA dilakukan pengelompokan berdasarkan pada interval nilai yang

dihasilkan. Secara umum tahapan pengolahan data ditunjukkan pada Gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fenomena keluaran airtanah lepas pantai (KALP) menyebabkan terjadinya pencampuran dua massa air dengan suhu yang berbeda. Di lokasi penelitian, KALP yang terjadi adalah masuknya air dari daratan dengan suhu yang relatif lebih



Gambar 2. Diagram Alir Pengolahan Data.

rendah ke dalam air laut yang memiliki suhu yang relatif lebih tinggi.

Ekstraksi *band* termal pada enam waktu akuisisi yang berbeda menghasilkan enam peta nilai suhu efektif dengan variasi nilai statistik disajikan pada Tabel 3. Waktu perekaman yang berbeda memiliki kondisi atmosfer dan dinamika laut yang berbeda sehingga nilai suhu efektif yang dihasilkannya pun berbeda.

Berdasarkan nilai statistik untuk keseluruhan data pada daerah penelitian (tanpa menghilangkan data daratan) nilai suhu terendah diperoleh dari citra hasil perekaman tahun 2014 (22,38 °C) dan nilai

suhu tertinggi diperoleh dari citra hasil perekaman tahun 2002 (34,25 °C). Nilai suhu rata-rata (*Mean*) dan standar deviasi (*StDev*) yang diketahui dari statistik nilai ET menjadi masukan dalam penghitungan nilai ETA dan SETA.

Tabel 3. Statistik Suhu Efektif Hasil Ekstraksi Citra Landsat 7 dan 8.

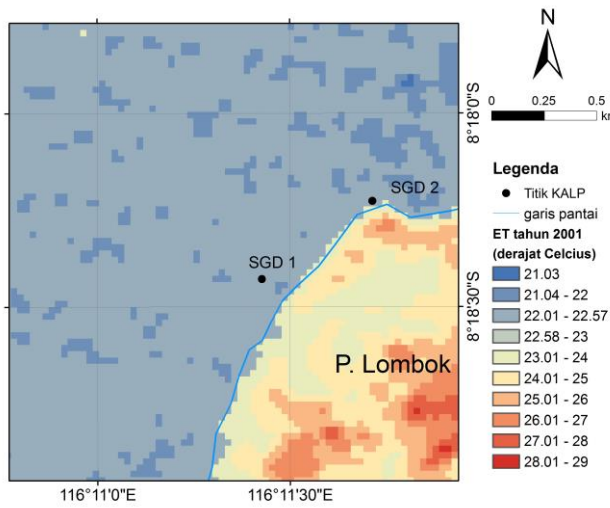
| Tahun | Min | Maks | Mean | StDev |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2001 | 22,58 | 33,78 | 24,14 | 1,98 |
| 2002 | 24,60 | 34,25 | 25,84 | 1,27 |
| 2003 | 23,60 | 31,43 | 24,64 | 1,05 |
| 2014 | 22,38 | 31,47 | 23,76 | 1,88 |
| 2015 | 25,54 | 31,18 | 26,21 | 0,93 |
| 2016 | 24,42 | 28,60 | 24,97 | 0,75 |

Dua lokasi KALP hasil survai lapangan memiliki suhu 27,2 °C dan 28,2 °C. Keduanya dijadikan referensi nilai suhu untuk dibandingkan dengan enam peta ET yang dihasilkan. Nilai suhu di kedua lokasi KALP lebih tinggi dibandingkan dengan nilai hasil ekstraksi citra. Suhu kedua lokasi KALP pada citra berkisar pada rentang nilai 22,58 °C - 26,10 °C disajikan pada Tabel 4.

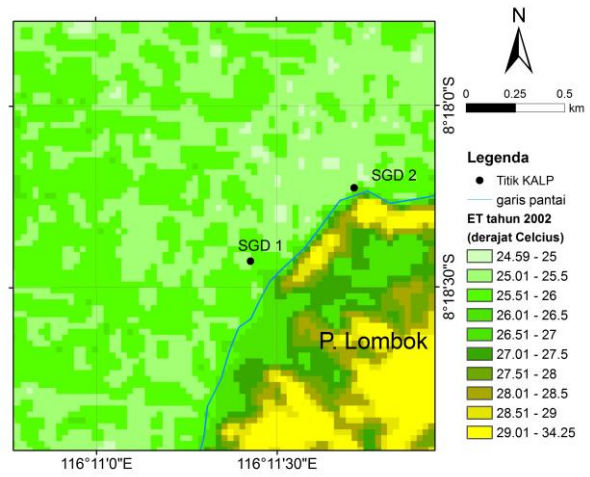
Tabel 4. Variasi Nilai Suhu Hasil Pengukuran Lapangan Tahun 2010 dan Suhu Efektif Hasil Ekstraksi Citra Tahun 2001, 2002, 2003, 2014, 2015, dan 2016 pada Lokasi KALP.

| Data | Suhu/ ET (°C) | |
|----------|---------------|--------|
| | KALP 1 | KALP 2 |
| Lapangan | 28,20 | 27,20 |
| ET 2001 | 22,58 | 22,58 |
| ET 2002 | 25,10 | 26,10 |
| ET 2003 | 24,10 | 25,10 |
| ET 2014 | 23,21 | 22,74 |
| ET 2015 | 25,57 | 25,43 |
| ET 2016 | 24,34 | 24,24 |

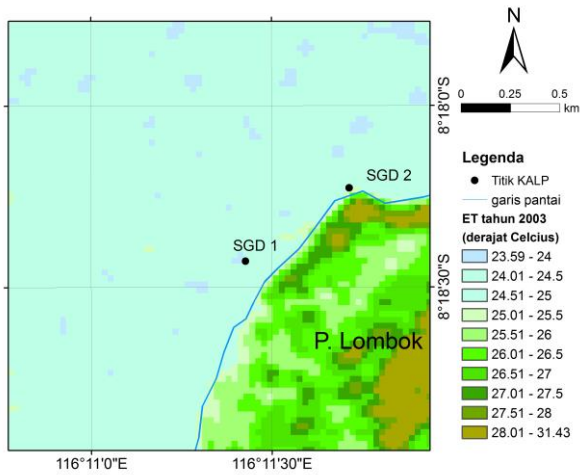
Nilai suhu hasil perhitungan citra akan lebih kecil dari nilai suhu pengukuran di lapangan (aktual), dimana suhu rata-rata bulanan aktual di permukaan perairan Indonesia berkisar antara 26 °C sampai 31 °C (Gaol, 2014). Untuk memperoleh nilai suhu aktual perlu dilakukan perhitungan empiris melalui perbandingan nilai suhu efektif dengan nilai suhu di lapangan (Trisakti, 2004).



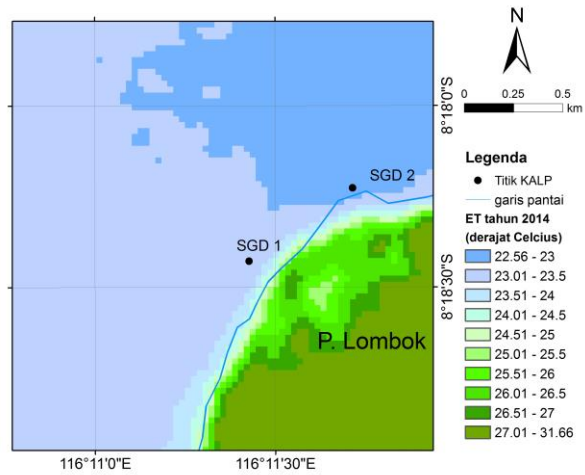
(a)



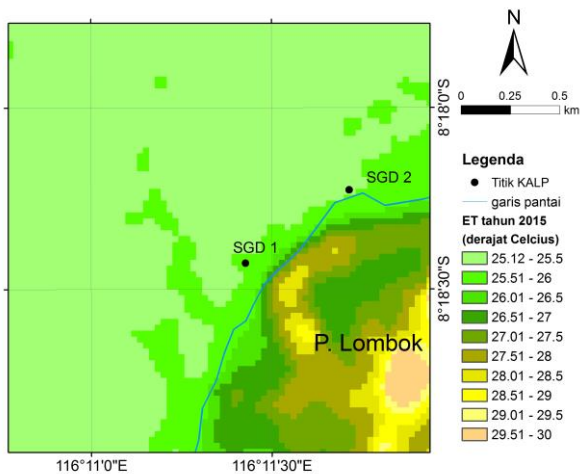
(b)



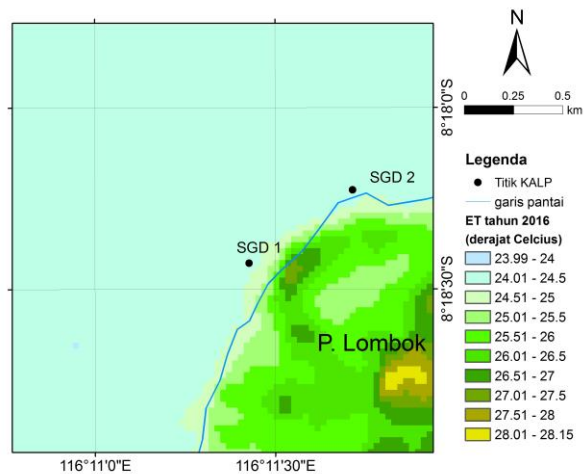
(c)



(d)



(e)



(f)

Pada penelitian ini perhitungan estimasi suhu permukaan laut belum dilakukan dikarenakan jumlah data lapangan yang belum optimal.

Proses klasifikasi dilakukan untuk mengatasi permasalahan kemampuan mata membedakan warna pada peta dengan tampilan kontinyu. Proses klasifikasi dengan interval nilai 0,5 °C dilakukan pada peta ET sehingga menghasilkan enam peta kelas ET multitemporal dengan nilai suhu yang dapat dibedakan berdasarkan warna disajikan pada Gambar 3. Nilai suhu permukaan di daratan dijadikan satu kelas karena tidak masuk dalam kajian ini.

Dari hasil pengamatan pada titik-titik lokasi KALP, terdapat perbedaan distribusi suhu yang tergambarkan dari enam tahun perekaman citra. Hal ini berkaitan dengan hal yang telah dikemukakan sebelumnya, bahwa faktor kondisi iklim dan lingkungan sekitarnya sangat berpengaruh pada gambaran distribusi suhu.

Suhu efektif ekstrim terdeteksi dengan baik pada peta tahun 2001 dan 2002, namun tidak menunjukkan pola yang khas dan menetap. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa distribusi suhu pada daerah di lokasi KALP sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungannya. Ketidakstabilan keberadaan suhu ekstrim tentu akan menyulitkan dalam hal identifikasi potensi KALP melalui pendekatan *band* termal citra satelit Landsat.

Terlebih di tahun 2003, 2014, 2015, dan 2016 suhu efektif di perairan Lombok relatif homogen sehingga tidak menunjukkan adanya suhu ekstrim. Pola yang tampak menunjukkan pengaruh regional lebih kuat daripada kondisi lokal dimana nilai suhu efektif cukup homogen disajikan pada Gambar 3.

Berdasarkan uraian di atas, perhitungan suhu efektif baik menggunakan resolusi spasial *band* termal Landsat 7 (60 meter) maupun Landsat 8 (100 meter) belum dapat menunjukkan suhu ekstrim yang mengindikasikan sebagai lokasi KALP. Penggunaan *band* termal dengan resolusi yang lebih tinggi diharapkan dapat menunjukkan suhu ekstrim pada peta suhu efektif.

Nilai Anomali Suhu Efektif Standar/ SETA

Ketidakmampuan citra Landsat *band* termal dalam mendeteksi potensi KALP melalui peta kelas suhu efektif menyebabkan perlunya dilakukan perhitungan Anomali Suhu Efektif

Standar. Perhitungan SETA dimaksudkan untuk lebih mempertajam tampilan peta suhu efektif. SETA dihitung berdasarkan nilai rata-rata dan standar deviasi dari nilai piksel pada masing-masing peta suhu efektif.

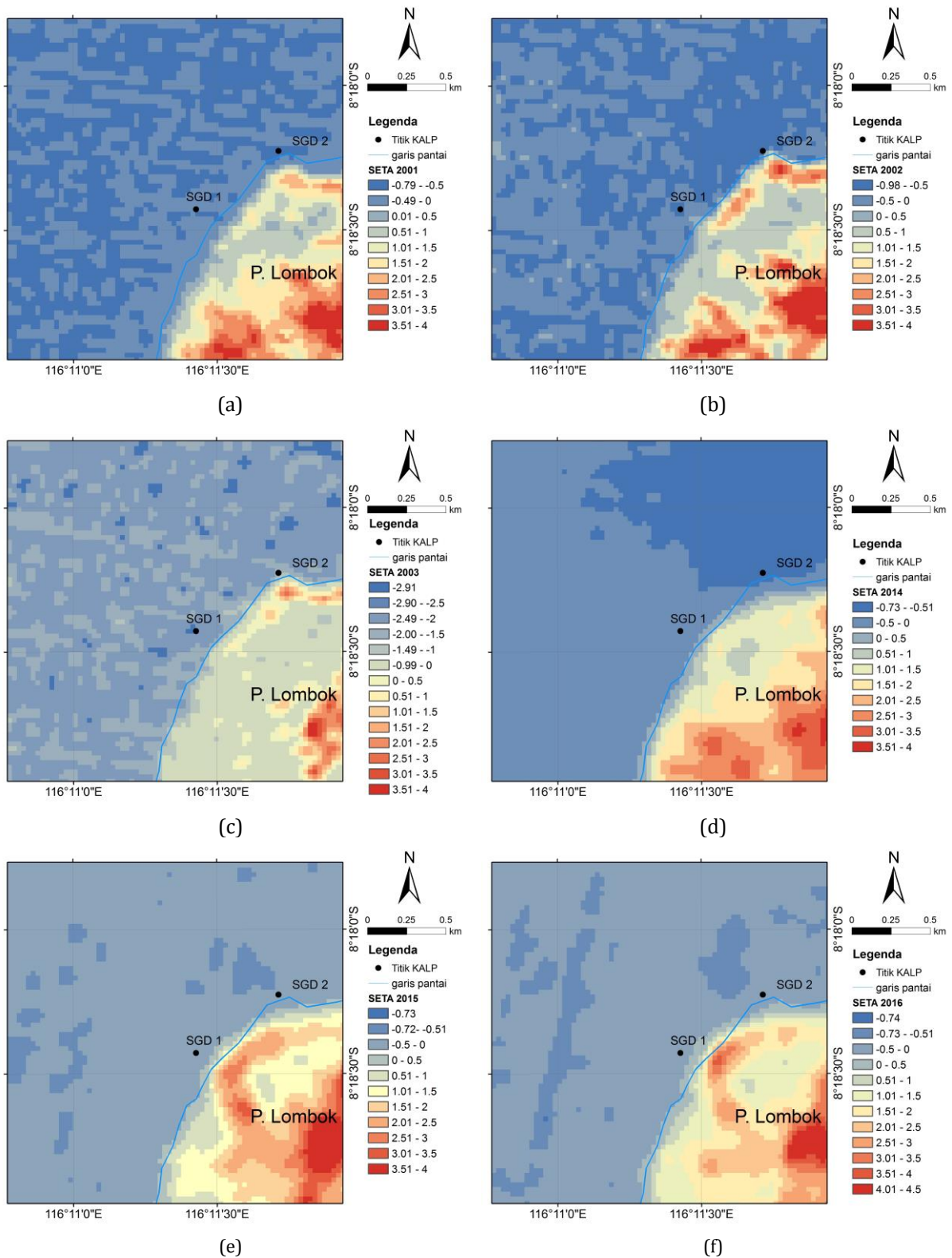
Nilai yang dihasilkan pada peta SETA tidak memiliki satuan. Peta tersebut merupakan hasil perubahan skala nilai, sehingga nilai yang ditunjukkan tidak dapat dipakai untuk acuan besarnya suhu. Perubahan skala nilai pada peta SETA mengakibatkan distribusi data menjadi lebih bervariasi seperti disajikan pada Gambar 4. Nilai rata-rata yang dihitung sangat dipengaruhi oleh kondisi data. Jika frekuensi suatu nilai pada peta ET secara umum tinggi, maka nilai rata-rata akan tinggi. Demikian pula jika frekuensi suatu nilai pada peta ET secara umum rendah, maka nilai rata-rata akan rendah. Nilai dari setiap piksel dihitung dengan menggunakan nilai rata-rata, kemungkinan pada peta SETA nilai tersebut dapat terdeteksi dengan baik atau hilang.

Secara umum tampilan peta SETA memiliki pola yang lebih bervariasi dibandingkan peta ET. Pada peta SETA tahun 2002 dan 2014, tampilan peta ET dan SETA relatif hampir sama. Sedangkan pada peta tahun 2001, 2003, 2015 dan 2016 peta SETA menjadi lebih bervariasi suhunya. Nilai suhu yang relatif homogen pada peta ET dapat dibedakan dengan lebih baik pada peta SETA. Akan tetapi pada peta 2015, anomali suhu yang telah terdeteksi pada peta ET, tidak terdeteksi pada peta SETA. Peta sebaran anomali suhu efektif standar (SETA) permukaan laut dapat diperoleh dengan mudah melalui pengolahan *band* termal citra satelit Landsat 7 dan 8. Namun, SETA belum mampu menunjukkan indikasi lokasi KALP di perairan utara Lombok. Hal ini dimungkinkan karena dimensi KALP yang terlalu kecil jika dibandingkan dengan resolusi spasial *band* termal citra Landsat tersebut.

Perbandingan Kondisi Suhu Di Daerah Penelitian Dengan Lokasi Lain

Berdasarkan pengukuran lapangan, perairan utara Lombok memiliki nilai suhu rata-rata 28,25 °C, sedangkan lokasi KALP memiliki suhu 27,20 °C dan 28,20 °C. Perbedaan suhu antara lokasi KALP dan sekitarnya sangat kecil, bahkan tidak menunjukkan adanya suhu ekstrim. Hasil perhitungan ET dari citra Landsat termal juga

1



Gambar 4. Peta sebaran anomali suhu efektif standar (*Standardised Effective Temperature Anomaly/SETA*) dengan interval kelas 0,5 pada tahun (a) 2001, (b) 2002, (c) 2003, (d) 2014, (e) 2015, dan (f) 2016.

maksimuml (ΔT) yang sangat kecil disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Perbedaan Nilai Suhu Minimum dan Maksimum pada Peta Suhu Efektif/ ET.

| Tahun | Tmin (°C) | Tmaks (°C) | ΔT (°C) |
|-------|-----------|------------|-----------------|
| 2001 | 21,03 | 24,5 | 3,47 |
| 2002 | 24,60 | 27,5 | 2,90 |
| 2003 | 23,59 | 25 | 1,41 |
| 2014 | 22,60 | 24,5 | 1,90 |
| 2015 | 25,12 | 26 | 0,99 |
| 2016 | 23,99 | 25 | 1,01 |

Kondisi iklim Indonesia yang dipengaruhi pergerakan matahari sepanjang tahun mengakibatkan interval variasi nilai suhu yang sangat pendek, sehingga nilai suhu ekstrim sulit ditemukan. Hal tersebut yang mengakibatkan perhitungan nilai anomali suhu efektif standar tidak membantu dalam meningkatkan kualitas citra suhu permukaan laut.

Kehadiran KALP teramati dalam bentuk titik mataair dengan diameter keluaran di permukaan mencapai 20 meter (Gambar 1). Besarnya piksel dari citra Landsat sebesar 60 meter x 60 meter (Landsat 7) dan 100 meter x 100 meter (Landsat 8) menyebabkan diameter sumber KALP tidak dominan. Informasi yang terekam oleh setiap piksel merupakan nilai rata-rata dari suhu di sekitar KALP seluas 3.600 m² (Landsat 7) dan 10.000 m² (Landsat 8). Pemetaan secara regional masih memerlukan alat bantu lain yaitu citra satelit dengan *band* termal yang memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi dari citra satelit Landsat.

Pemilihan waktu perekaman citra satelit juga menentukan hasil yang diharapkan. Pada kondisi KALP dengan suhu rendah, perekaman data dapat dipilih pada saat kondisi iklim yang memberikan dampak suhu permukaan laut yang hangat. Hal tersebut dapat meningkatkan nilai ΔT , sehingga suhu ekstrim dapat teridentifikasi. Selain itu fenomena pasang surut laut juga perlu diperhatikan. KALP akan tampak lebih jelas pada saat air surut karena jarak antara KALP dengan permukaan laut lebih pendek.

Penelitian mengenai ekstraksi distribusi suhu menggunakan citra satelit telah banyak dilakukan di Indonesia, diantaranya untuk aplikasi di bidang perikanan (Suwargana, 2004; Hasyim, 2012;

Simbolon dan Limbong, 2012; Adnan, 2010; Arief, 2015) dan dinamika laut (Pasaribu *et al.*, 2013; Sulaiman *et al.*, 2006; Gaol *et al.*, 2014). Akan tetapi untuk aplikasi di bidang airtanah (pendeteksian KALP) di Indonesia belum pernah dilakukan sebelumnya.

Kondisi ΔT di Indonesia berbeda dengan daerah lain di subtropis. Di daerah subtropis, perbedaan suhu rata-rata hasil ekstraksi citra dengan suhu di lokasi KALP cukup signifikan. Perbedaan suhu tersebut cukup memudahkan dalam mendeteksi keberadaan KALP. Sebagai contoh Irlandia memiliki suhu minimum rata-rata laut 11,54°C dan suhu maksimum rata-rata laut 17,03°C, sehingga memiliki nilai ΔT sebesar 5,50°C (Wilson dan Rocha, 2012). Laut Mati memiliki suhu rata-rata laut 12°C dengan suhu KALP sebesar 33°C (Akawwi *et al.*, 2008) dengan ΔT sebesar 10°C (Mallast *et al.*, 2013).

Di daerah subtropis, meskipun digunakan citra dengan resolusi spasial yang kurang memadai, anomali suhu masih dapat dikenali dikarenakan rentang nilai suhu yang cukup panjang (Dale dan Miller, 2007). Kondisi suhu yang hampir homogen menyebabkan KALP cukup sulit diidentifikasi di Indonesia.

KESIMPULAN

Keluaran airtanah di lepas pantai (KALP) yang terjadi di lepas pantai pulau Lombok adalah masuknya air dari daratan dengan suhu yang relatif lebih rendah ke dalam air laut yang memiliki suhu yang relatif lebih tinggi. Pengukuran lapangan menunjukkan bahwa perbedaan suhu KALP dengan suhu laut di sekitarnya berkisar antara 0,2 - 2,3 °C. Kehadiran KALP teramati dalam bentuk titik mataair dengan diameter keluaran di permukaan mencapai 20 meter. Hal ini mencirikan karakteristik KALP di wilayah tropis yang memiliki perbedaan suhu yang tidak terlalu tinggi dan diameter yang tidak terlalu luas dibandingkan dengan suhu dan wilayah laut.

Teknik pengolahan menggunakan data citra Landsat 7 dan 8 di Pulau Lombok menunjukkan meskipun perhitungan anomali suhu efektif standar memberikan pola suhu yang lebih bervariasi dibandingkan perhitungan dengan menggunakan suhu efektif, belum dapat mengindikasikan lokasi KALP dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa parameter anomali suhu

efektif standar tidak dapat dipergunakan sebagai variabel tunggal. Penggunaan parameter ini terkendala dengan resolusi spasial yang rendah.

Identifikasi lokasi keluaran airtanah lepas pantai (KALP) di daerah tropis dengan menggunakan data citra barulah efektif pada resolusi spasial yang lebih detil. Pemakaian resolusi spasial *band* termal yang lebih tinggi dengan luasan kurang dari 20 meter persegi diharapkan dapat mengatasi kendala pengolahan data yang ada. [Pemanfaatan data citra juga perlu memperhatikan waktu perekaman citra yaitu pada saat kondisi perairan hangat untuk kasus KALP bersuhu rendah dan pada saat air surut.]

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pada tim penelitian KALP Pusat Penelitian Geoteknologi dan USGS yang telah memberikan peluang mengakses data di lokasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Adnan, 2010. Analisis Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-A Data Inderaja Hubungannya dengan Hasil Tangkapan Ikan Tongkol (*Euthynnus Affinis*) di Perairan Kalimantan Timur, Jurnal "Amanisal" PSP FPIK Unpatti-Ambon. 1(1) 1-12.

Akawwi, E., Zouabi, A. 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.

Arief, M., Adawiah, S.W., Parwati, E., Hamzah, R., Prayogo, T., 2015. Pengembangan Model Ekstraksi Suhu Permukaan Laut Menggunakan Data Satelit Landsat 8, Studi Kasus: Teluk Lampung, Jurnal Penginderaan Jauh, 12(2), 107-122.

Bakti, H., Lubis, R.F., Naily, W., Delinom, R., Purwoko, W., 2010. Pengkajian Teknologi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Pulau Kecil: Kajian Potensi Sumberdaya Air di Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil. Program Penelitian dan Pengembangan Iptek, Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI.

Bakti, H., Lubis, R.F., Delinom, R. Naily, 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.

Bakti, H., Naily, W., Lubis, R. F., Delinom, R. M., Sudaryanto, 2014. Penjejak Keluaran Airtanah di Lepas Pantai (KALP) Di Pantai Utara Semarang dan Sekitarnya dengan ²²²radon. Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan, 24(1), 43-51.

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.

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), 283-298.

Effat, H. A., & Hassan, O. A. K., 2014. Change Detection of Urban Heat Islands and Some Related Parameters using Multi-Temporal Landsat Images; a Case Study for Cairo city, Egypt. Urban Climate, 10, 171-188.

Gaol, J.L., Arhatin, R.E., Ling, M.M., 2014. Pemetaan Suhu Permukaan Laut dari Satelit di Perairan Indonesia Untuk Mendukung "One Map Policy", Deteksi Parameter Geobiofisik dan Diseminasi Penginderaan Jauh, Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh, 433-442.

Hasyim, B., Harsanugraha, W.K., Marini, Y., Manoppo, A.K.S., 2012. Site Selection of Seaweed Culture Using SPOT and Landsat Satellite Data in Pari Island, International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences, 9(2), 12-127.

Lubis, R.F., Bakti, H., Suriadarma, A., 2011. Submarine Groundwater Discharge (SGD) in Indonesia. Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan, 21(1), 57-62.

- 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.
- Moosdorf, N., Stieglitz, T., Waska, H., Dürr, H. H., Hartmann, J., 2014. Submarine Groundwater Discharge from Topical Islands: A Review. *Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie*.
- Pasaribu, R.A., Gaol, J.L., Manurung, D., 2013. Pemanfaatan Citra Satelit Untuk Memantau Dinamika Massa Air Permukaan di Selat Makassar, *Globe*, 15(2), 101-106.
- Pluhowski, E.J., 1972. Hydrologic interpretations based on infrared imagery of Long Island, New York. Washington: U.S. Govt. Print. Off
- Rajeshwari, A., & Mani, N. D., 2014. Estimation of Land Surface Temperature of Dindigul District using Landsat 8 Data. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(05), 122-126.
- Simbolon, D., dan Limbong, M., 2012. Exploration of Skip Jack Fishing Ground Through Sea Surface Temperature And Catches Composition Analyzes in Palabuhanratu Bay Waters, *Journal of Coastal Developmnet*, 15(2), 225-233.
- Sulaiman, A., Hendiarti, N., Syamsudin, F., Frederik, M.C.G., Sadly, M., Djajadihardja, Y.S., Andiastuti, R., 2006. Riset dan Teknologi Pemantauan Dinamika Laut Indonesia, *Indonesia Operational Ocean Ibserving System (INDOO Project – SPF ASIE/2005/102-483)*, Badan Riset Kelautan dan Perikanan, Departemen Kelautan dan Perikanan.
- Suwargana, N., dan Ariel, M., 2004. Penentuan Suhu Permukaan Laut dan Konsentrasi Klorofil untuk Pengembangan Model Prediksi SST/Fishing Ground dengan Menggunakan Data MODIS, *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 1(1). 1-13.
- Tamborski, J. J, Rogers D. A , Bokuniewicz, H. J., Cochran, J. K., Young C. R. 2015. Identification and quantification of diffuse fresh submarine groundwater discharge via airborne thermal infrared remote sensing, *Remote Sensing of Environment*, 171, 202–217.
- Trisakti, B., Sulma, S., Budhiman, 2004. Study of Sea Surface Temperature (SST) Using Landsat-7 ETM (In Comparison With Sea Surface Temperature of NOAA-12 AVHRR). *Proceesings of the Thirteenth Workshop of OMISAR (WOM-13) on the Application and Networking of Satellite Data*. 5-9 October 2004. Bali, Indonesia.
- 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.