

**ANALISIS REMBESAN MIKRO HIDROKARBON SEBAGAI
PENDETEKSI RESERVOIR MINYAK DAN GAS DI KABUPATEN
WAJO, SULAWESI SELATAN DENGAN MENGGUNAKAN CITRA
PENGINDERAAN JAUH**

Enrico Gracia¹, Muhammad Prudentio J. F.² dan Tristan Arminius³

¹Program Studi Geografi, FMIPA, Universitas Indonesia, Indonesia.

²Program Studi Geografi, FMIPA, Universitas Indonesia, Indonesia.

³Program Studi Geografi, FMIPA, Universitas Indonesia, Indonesia.

¹enrico.gracia@ui.ac.id, ²muhammad.prudentio@ui.ac.id,

³tristan.arminius@ui.ac.id

Abstract

The COVID-19 pandemic made a major impact on economic activity around the world, especially Indonesia. With the exploration of new oil and gas reservoirs, it is hoped that it can help economic conditions in Indonesia, considering that Indonesia is rich in natural mineral resources. Micro-hydrocarbon seepage is a common phenomenon that occurs in areas with the presence of onshore oil and gas reservoirs, which are characterized by abnormal natural surface spectral landscapes, characteristic mineral alteration features and geobotanic anomalies that can be detected by satellite imagery. Therefore, this study aims to find a spatial model of the oil and gas reservoir through the micro-hydrocarbon seepage detection approach and its relationship with the physical conditions of the research using these satellite imagery. The parameters used were the mineral alteration symptoms of clay carbonate, ferric iron, ferrous iron, geobotanic anomaly symptoms, and geological characteristics. Landsat 8 satellite imagery is used as input for the Principal Component Analysis (PCA) analysis method and vegetation index, to detect mineral alteration phenomena and geobotanomalies respectively. The results of this study indicate the existence of micro- hydrocarbon seepage phenomena in Wajo Regency. The seepage of micro hydrocarbons is scattered in the southeast area of Wajo Regency and is agglomerated in conglomerate formations.

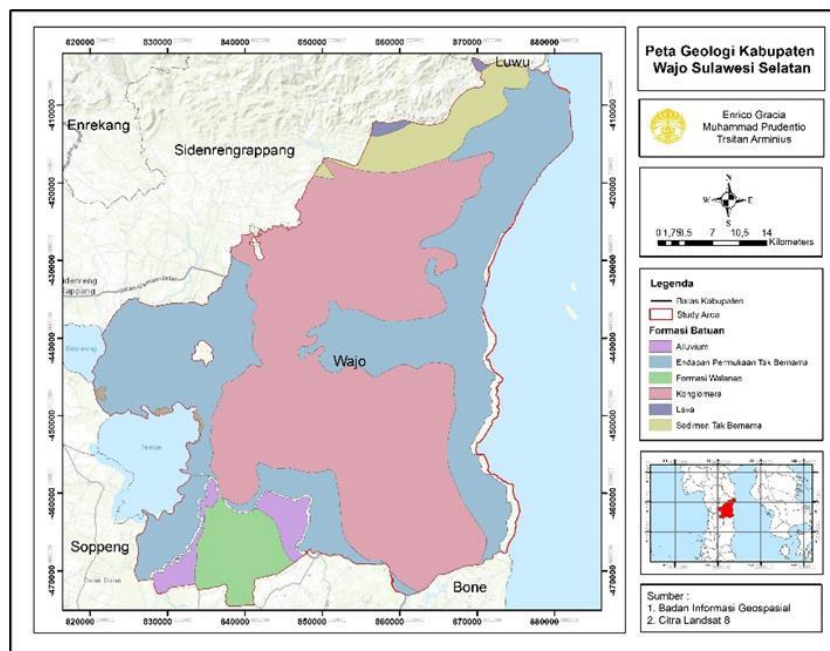
Keywords: Landsat 8, oil and gas, PCA, micro hydrocarbon seepage.

Pendahuluan

Teori kebocoran dan rembesan merupakan fenomena yang sudah terkenal sejak lama (Tian, 2012). Menurut Clarke & Cleverly (1991) menjelaskan kebocoran mikro-hidrokarbon sebagai manifestasi permukaan dari proses migrasi hidrokarbon, yang disebabkan oleh aliran keluar bahan hidrokarbon dari sumbernya dan terjadi di sekitar 75% reservoir darat di seluruh dunia. Pengertian rembesan mikro hidrokarbon didasarkan pada pengertian yang sama tentang minyak dan gas bumi, yaitu: semua cekungan migas menampilkan bahwa terdapat beberapa jenis rembesan atau kebocoran di dekat permukaan; penumpukan migas bersifat dinamis dan tidak ada lapisan penutup yang sempurna; rembesan bisa terjadi secara aktif atau pasif. Oleh karena itu, fenomena ini merupakan sebuah tanda terjadinya pengendapan minyak dan gas bumi yang diwujudkan sebagai gejala abnormal di permukaan bumi (Susantoro *et al.*, 2017).

Pemahaman tentang ekspresi abnormal rembesan mikro hidrokarbon permukaan adalah dasar untuk memahami keberadaan fenomena ini dan hubungannya dengan reservoir di bawahnya. Chen *et al.* (2017) & Hong (1999) menjelaskan bahwa terdapat hubungan yang jelas antara kebocoran mikro hidrokarbon dengan reservoir minyak dan gas yang mendasarinya, yang terletak dari mekanisme pergerakan rembesan mikro hidrokarbon yang akan bergerak secara vertikal dari reservoir menuju ke permukaan bumi. Hidrokarbon yang bermigrasi ke permukaan dapat berinteraksi dengan pilar stratigrafi dan menghasilkan berbagai perubahan mineralogi, mikrobiologi, geofisika, dan fisik di permukaan bumi (Salati *et al.*, 2014). Gejala abnormal ini memiliki karakteristik spektral sehingga dapat digunakannya citra satelit dalam hal mendeteksi fenomena tersebut (Hong, 1999). Penggunaan teknologi penginderaan jauh untuk mendeteksi kebocoran hidrokarbon sebagai indikator prediksi prospek reservoir migas dapat membawa manfaat yang sangat besar karena prosesnya cepat dan efektif, serta dapat diselesaikan pada skala yang berbeda (Salati *et al.*, 2014 & Scafutto *et al.*, 2017).

Kabupaten Wajo mempunyai struktur batuan yang terdiri dari 3 jenis batuan induk, yaitu batuan yang mengalir lahar dari basal hingga andesit, breksi vulkanik dan batu pasir vulkanik. Konglomerasi batu pasir glaukonit, struktur batuan ini terletak di bagian utara. Daerah aluvial yang berasal dari hasil sedimentasi air laut dan tersebar di daerah pantai, serta berasal dari endapan sungai atau danau di bawah 25 meter di atas permukaan laut. Menurut Husein (2009) salah satu faktor yang dapat mengindikasikan adanya potensi gas di suatu daerah dapat dilihat dari sedimennya yang tebal. Berdasarkan gambar 1, dapat dilihat bahwa Kabupaten Wajo memiliki sedimen yang tebal, yaitu dari formasi batuan konglomerat. Hal ini juga ditambah dengan kemungkinan adanya perangkat atau tempat terakumulasinya potensi itu secara alamiah.



Gambar 1. Geologi Kabupaten Wajo

Kondisi pandemi COVID-19 ini sangat berdampak pada aktivitas perekonomian di seluruh dunia, tidak terkecuali di Indonesia. Hal ini dibuktikan dengan pertumbuhan ekonomi Indonesia yang menurut Badan Pusat Statistik (2020) mengalami kontraksi 2,07% (-2,07%). Dengan penemuan tempat

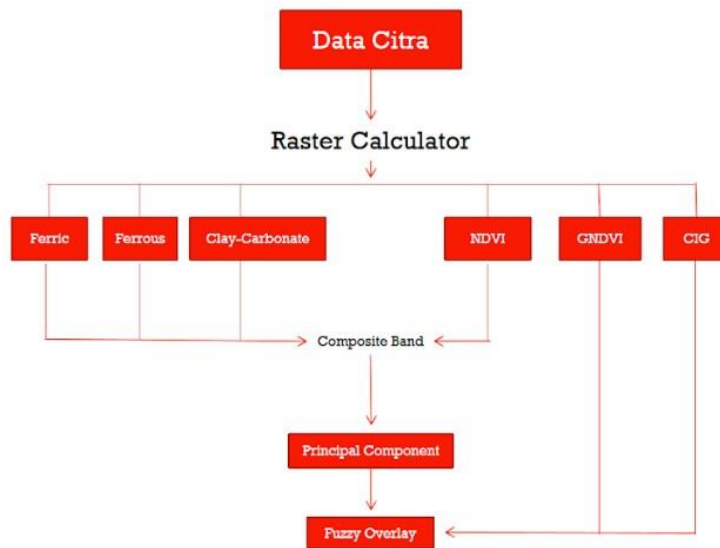
eksplorasi migas yang baru diharapkan dapat membantu meningkatkan kondisi perekonomian di Indonesia. Menurut CNBC Indonesia (2021) cadangan minyak RI diperkirakan hanya sampai 9,5 tahun. Banyak upaya yang telah dilakukan oleh pemerintah yakni melalui aktivitas eksplorasi, mulai dari studi-studi, survei seismik 2D dan 3D, serta pengeboran eksplorasi. Untuk memperpanjang umur cadangan minyak tersebut, perlu segera dilakukan eksplorasi potensi titik-titik migas yang baru.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bermaksud untuk mengetahui di mana lokasi potensial baru cadangan minyak dan gas di Kabupaten Wajo, Sulawesi Selatan dengan melakukan pemetaan wilayah potensi reservoir minyak dan gas dengan citra Landsat 8. Landsat 8 digunakan dalam penelitian ini karena data citra Landsat 8 dapat digunakan secara tidak berbayar dan mudah untuk diakses. Selain itu, penelitian ini juga memanfaatkan informasi anomali alterasi mineral *ferric iron*, *ferrous iron*, *clay carbonate*, dan anomali geobotani untuk membandingkan data rembesan mikro hidrokarbon dengan gejala-gejala anomalnya di permukaan bumi.

Metode Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Kabupaten Wajo, sebuah kabupaten yang termasuk ke dalam wilayah administratif Provinsi Sulawesi Selatan. Kabupaten Wajo secara astronomis terletak diantara 3° 39" - 4° 16" LS dan 119° 53" - 120° 27" BT. Kabupaten Wajo memiliki luas wilayah 2.506,19 km² atau 4,01% dari luas Propinsi Sulawesi Selatan. Kabupaten Wajo terdiri atas 14 kecamatan, 44 kelurahan, dan 132 desa. Secara geografis, pada bagian utara berbatasan Kabupaten Sidrap dan Kabupaten Luwu, pada bagian selatan berbatasan dengan Kabupaten Soppeng dan Kabupaten Bone, pada bagian timur berbatasan dengan berbatasan dengan Teluk Bone, dan pada bagian barat berbatasan dengan Kabupaten Sidrap dan Kabupaten Soppeng.

Berikut adalah alur kerja penelitian yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 2. *Bagan Alur Kerja Penelitian*

Data yang digunakan dalam penelitian terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan dari laman usgs.gov dalam memperoleh citra Landsat 8. Sedangkan data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini dapat ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Sumber Data Sekunder*

No.	Data	Sumber Data
1	Shapefile Kabupaten Wajo	https://tanahair.indonesia.go.id/
2	Titik Sumur Migas yang Sudah Dibangun di Kabupaten Wajo	https://onemap.esdm.go.id/map/migas_1578649513.html

Penelitian ini menggunakan empat variabel data untuk mendeteksi fenomena rembesan mikro hidrokarbon (HC) serta keterkaitan karakteristik wilayah dengan munculnya fenomena rembesan mikro hidrokarbon. Variabel yang digunakan untuk mendeteksi fenomena rembesan mikro hidrokarbon

antara lain adalah data alterasi dari indikasi mineral-mineral dan data anomali geobotanik yang diperoleh dari pengolahan citra Landsat 8 yang terekam pada tahun 2019. Data perubahan mineral diperoleh dari pengolahan citra Landsat 8 dengan metode *Principal Component Analysis* (PCA). Data anomali geobotanik diperoleh dari transformasi indeks vegetasi (VI) pada pita Landsat 8. Sedangkan variabel yang digunakan untuk mengetahui hubungan fenomena rembesan mikro hidrokarbon (HC) dengan karakteristik wilayah dilakukan dari data geologi daerah yang diperoleh dengan cara mendigitasi dari peta yang ada. Pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan melalui tiga tahapan yaitu prapengolahan citra Landsat 8, pengolahan gejala anomali rembesan mikro hidrokarbon, dan pengolahan data fisik daerah. Pengolahan data citra landsat 8 dilakukan dengan metode ATCOR (*Atmosphere Correction*) hingga diperoleh kalibrasi nilai citra yang dapat digunakan untuk pengolahan data selanjutnya. Sedangkan pengolahan anomali rembesan mikro hidrokarbon (HC) dilakukan dengan metode PCA dan *vegetation index*. Metode PCA dilakukan pada data perubahan kecil yang diperoleh dari pengolahan *band ratio*.

Tabel 2. *Algoritma Pengolahan Data*

No.	Anomali	Algoritma
1	Ferric Iron	Band 4/Band 2
2	Ferrous Iron	(Green/SWIR1)+ (RED/NIR)
3	Clay Carbonate	SWIR 1/SWIR 2
4	Clorophyll Index	NIR Green-1
5	GNDVI (Green Normalized Different)	NIR-Green/NIR+Green
6	NDVI	NIR-RED/NIR+RED

Penentuan nilai anomali alterasi mineral dilakukan dengan persamaan khusus untuk mengetahui nilai ambang batas anomali mineral. Persamaan yang digunakan adalah (Avcioglu, 2010).

$$A_i = X + \sigma \quad (1)$$

dimana

A_i = nilai ambang anomali mineral i ,

X = nilai ambang rata-rata mineral i ,

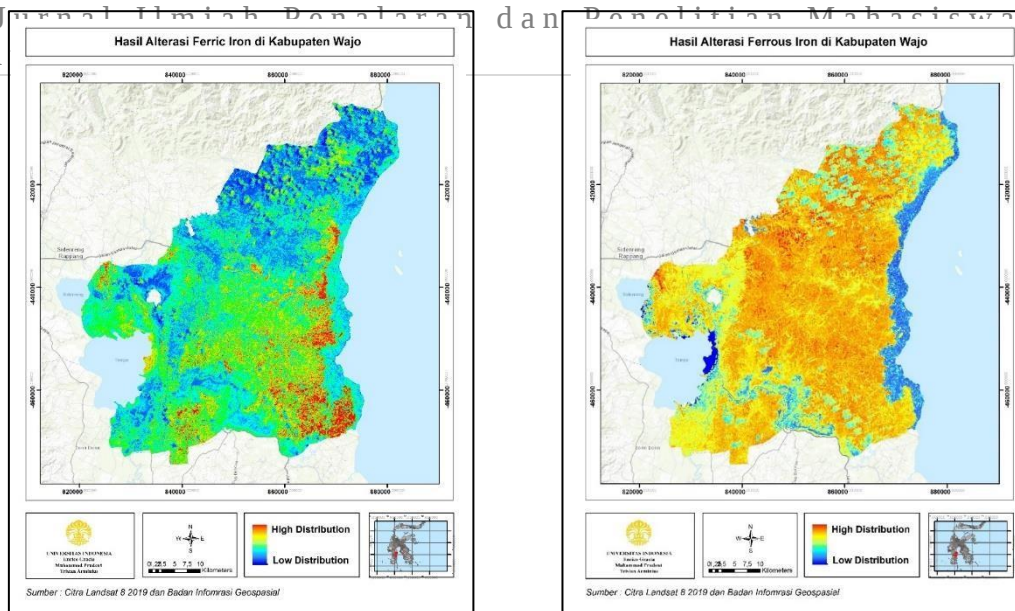
σ = nilai ambang standar deviasi mineral.

Analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif yang bertujuan untuk memberikan deskripsi tentang hasil penelitian yang telah didapatkan dari hasil pengolahan data dan survei lapangan. Metode analisis data secara deksriptif dalam geografi fisik diperlukan untuk menjelaskan fenomena yang bersifat fisik seperti erosi, perubahan alur sungai dan sebagainya.

Hasil dan Pembahasan

Wilayah dengan kandungan *ferric iron* (Fe^{3+}) terbanyak direpresentasikan oleh daerah dengan warna yang semakin merah sedangkan wilayah dengan kandungan Fe^{3+} yang semakin sedikit direpresentasikan oleh daerah dengan warna yang semakin biru. Kandungan Fe^{3+} di Kabupaten Wajo berkisar dari menengah hingga tinggi. Adapun daerah dengan kandungan Fe^{3+} tinggi terlihat menyebar di bagian timur, tenggara, dan barat daya Kabupaten Wajo.

Untuk mendapatkan wilayah yang mengandung *ferrous iron* (Fe^{2+}), digunakan *band ratio* Landsat 8 dengan kanal (*band*) hijau, merah, SWIR 1, dan SWIR 2. Wilayah dengan kandungan Fe^{2+} terbanyak direpresentasikan oleh daerah dengan warna yang semakin kuning sedangkan wilayah dengan kandungan Fe^{2+} yang semakin sedikit direpresentasikan oleh daerah dengan warna yang semakin biru. Kandungan Fe^{2+} di Kabupaten Wajo berkisar dari rendah hingga menengah. Adapun daerah dengan kandungan Fe^{2+} tertinggi, dengan warna kuning, terlihat menyebar di bagian timur membentang hingga selatan dari Kabupaten Wajo.

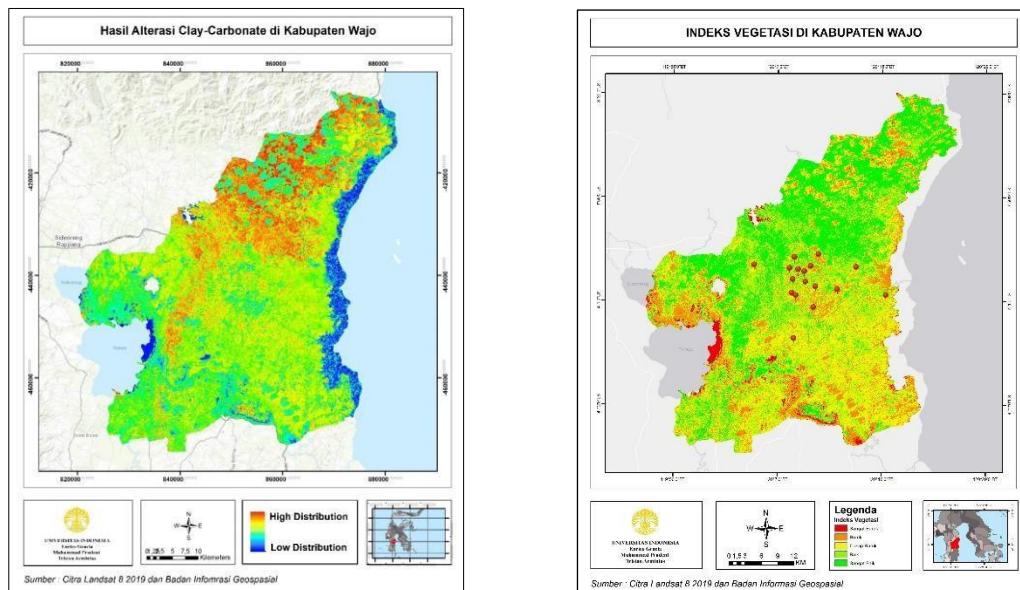


Gambar 3. *Alterasi Ferric Iron (kiri) dan Ferrous Iron (kanan)*

Wilayah dengan kandungan *clay carbonate* terbanyak direpresentasikan oleh daerah dengan warna yang semakin merah sedangkan wilayah dengan kandungan *clay carbonate* yang semakin sedikit direpresentasikan oleh daerah dengan warna yang semakin biru. Kandungan *clay carbonate* di Kabupaten Wajo berkisar dari menengah hingga tinggi. Adapun daerah dengan kandungan *clay carbonate* tinggi terlihat menyebar di bagian utara Kabupaten Wajo.

Gejala geobotanik dilihat untuk mengetahui anomali yang diakibatkan oleh rembesan mikro hidrokarbon dan menyebabkan kerusakan pada sistem metabolisme vegetasi. Perubahan akibat ini bisa dilihat dari karakteristik pigmen warna fotosintesis (warna kehijauan), ketebalan daun, dan besaran ukuran daun. Dengan citra Landsat-8 dapat mendeteksi gejala geobotanik ini menggunakan algoritma NDVI, *Chlorophyll Index Green*, dan GNDVI. Vegetation indeks yang dipakai dapat mengidentifikasi berdasarkan tingkat kerendahan warna kehijauan yang didapat dari *Chlorophyll Indeks Green* dan tingkat kerapatan vegetasi yang didapat menggunakan indeks NDVI serta GNDVI. Dari hasil analisis indeks vegetasi didapatkan bahwa lokasi sumur migas yang sudah ada menunjukkan *low on greenness* atau tidak berwarna

hijau dan berada di rentang warna kuning ke merah-merahan. Melihat dari sumur yang telah ada, kondisi ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Januadi, Supri, & Asriningrum (2018) dimana letak sumur berada pada kondisi vegetasi yang tidak baik (warna kuning – merah). Oleh karena itu, dapat dilakukan *overlay* antara hasil *PCA* dan *NDVI*.



Gambar 4. Alterasi Clay Carbonate (kiri) dan NDVI (kanan)

Hasil dari PCA ditunjukkan oleh Gambar 4.5 yang hasil pengolahannya berupa *eigen value* (nilai *eigen vektor*) sedangkan tabel 3 menunjukkan hasil pengolahan PCA untuk mendapatkan informasi mineralisasi. Pemilihan gambar dari algoritma PCA mempunyai aturan yang sesuai dengan teori nya bahwa *eigen value* mineral harus lebih besar dari *eigen value* citra vegetasinya jika nilai positif (+) atau lebih kecil jika nilainya negatif (-). Karena tempat dengan mineral yang tinggi ditandai dengan kondisi vegetasi yang kurang baik. Dengan melihat Tabel 3, mineralisasi *ferrous iron* dapat diambil dari PCA1 karena mempunyai *eigen value* paling besar dan lebih besar dari *eigen value* vegetasinya. *Eigen value* ini menunjukkan bahwa dalam PCA1 akan dominan oleh mineralisasi dari *ferrous iron*. Untuk *ferric iron* dapat kita lihat dari PCA2

karena *eigen value* nya paling besar dan lebih besar dari vegetasi. Sedangkan untuk mineralisasi *clay-carbonate* dapat kita ambil dari PCA3 karena memiliki *eigen value* yang paling besar dan lebih besar dari *eigen value* vegetasinya.

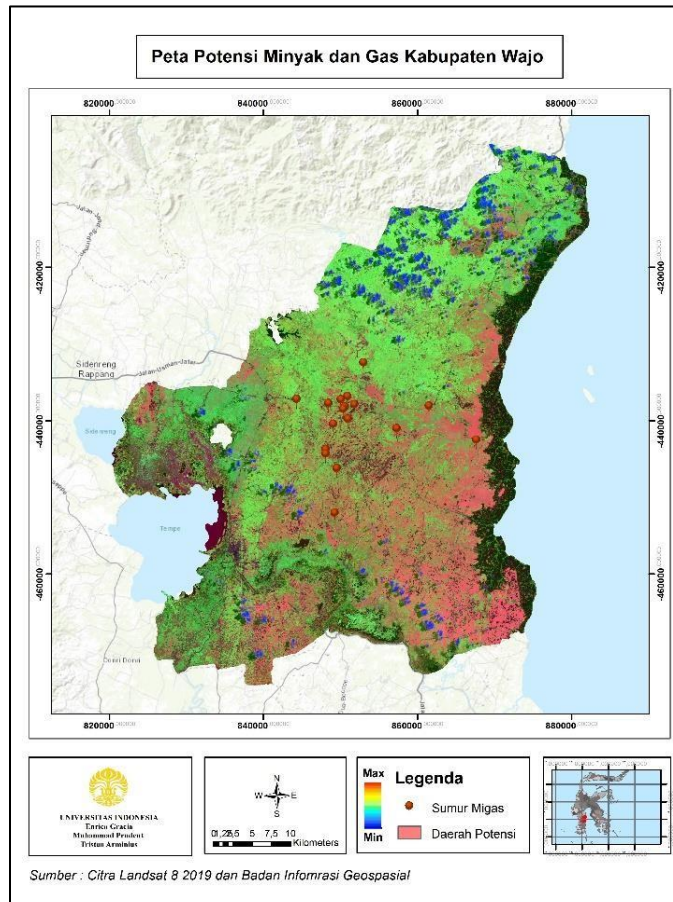
Tabel 3. *Nilai PCA*

PCA	Eigenvector			
	Ferric	Ferrous	Clay Carbonate	NDVI
PCA1	0.0392	0.70425	0.61584	-0.35107
PCA2	0.87631	0.29654	-0.37864	0.02806
PCA3	0.35298	-0.27662	0.64607	0.61764
PCA4	0.32553	-0.58273	-0.24490	-0.7.0319

Pengolahan anomali alterasi *clay carbonate*, *ferric iron*, *ferrous iron*, dilakukan dengan cara menghitung ambang batas masing-masing band menggunakan Persamaan 1. Hasil perhitungan nilai ambang batas ubahan anomali tiap mineral pada citra Landsat 8 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. *Nilai Ambang Anomali Alterasi Mineral*

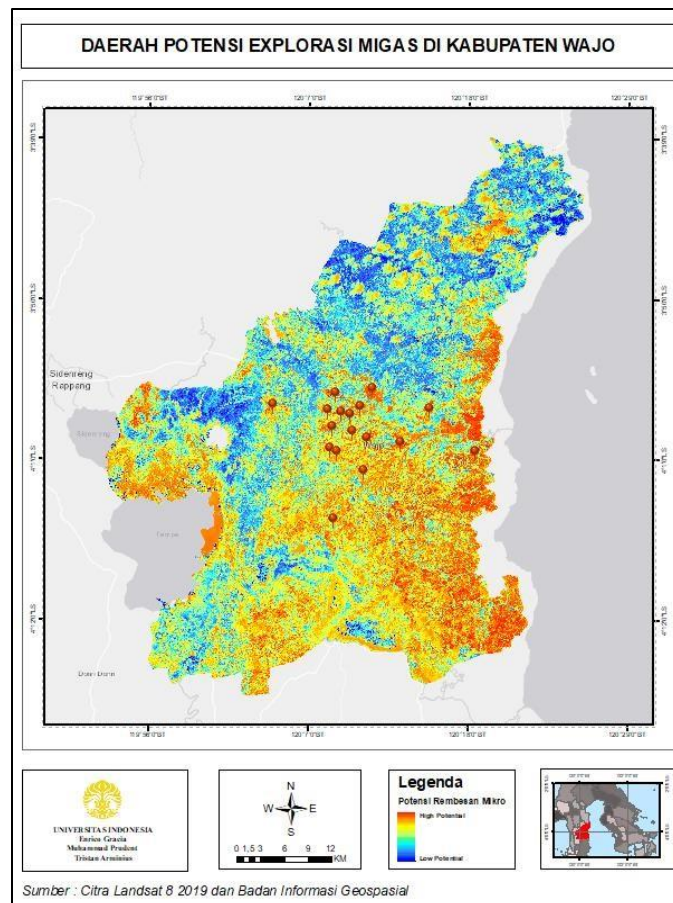
Nama	Mean	S.Dev	Threshold Value
Clay	137.59	12.83	150.42
Fe ³⁺	82.29	17.92	64.369
Fe ²⁺	92.49	10.51	81.982



Gambar 5. Peta Hasil PCA

Gejala rembesan mikro hidrokarbon ditandai dengan kelainan pada perubahan mineral dan geobotanik. Gambar 6 menunjukkan informasi lokasi potensial terdapatnya reservoir minyak dan gas. Lokasi tersebut didapatkan dari hasil fuzzy overlay dengan metode gamma antara *Principal Component Analysis* (PCA) dari alterasi mineral Fe^{3+} , alterasi mineral Fe^{2+} , alterasi mineral *clay carbonate* dengan indeks vegetasi. Daerah dengan warna merah cerah dan kuning-jingga menunjukkan daerah dengan rembesan mikro hidrokarbon yang paling banyak yang bermakna juga sebagai daerah dengan potensi minyak dan gas baru paling besar. Secara spasial, potensi minyak dan gas yang ada di Kabupaten Wajo terkluster di sebelah tenggara. Sedangkan poin atau titik merah merupakan titik sumur migas yang telah dibangun oleh pemerintah. Dari sumur migas yang sudah terbentuk, menunjukkan adanya kesinambungan

karakteristik gejala mikro hidrokarbon antara analisis tempat sumur yang berpotensi dengan sumur yang sudah ada.



Gambar 6. Peta Potensi Sumur Migas

Untuk mengetahui *cost and benefit* dari metode ini, dapat dibuat rangkaian harga alat-bahan yang digunakan pada Tabel 5. Apabila dibandingkan dengan metode lainnya, maka akan lebih tinggi pengeluarannya. Pengeluaran tersebut dibutuhkan untuk penyediaan alat Geophone dan alat penguji seismik dan refleksi dengan total sebesar Rp 45,000,000.00 sampai Rp 450,000,000.00. Dengan demikian, eksplorasi titik potensial reservoir minyak dan gas menjadi jauh lebih murah dengan menggunakan pengolahan citra.

Tabel 5. *Anggaran alat-bahan yang digunakan*

Barang	Banyaknya	Harga
Software ArcGIS	1 pcs	Rp 27,000,000.00 - Rp 35,000,000.00
Laptop/Komputer	1 pcs	Rp 9,000,000.00 - Rp 13,000,000.00
Ongkos Internet	1 bulan	Rp 300,000.00 - Rp 500,000.00
Ongkos Listrik	1 bulan	Rp 1,000,000.00 - Rp 2,000,000.00
TOTAL		Rp 37,300,000.00 - Rp 50,500,000.00

Kesimpulan

Penelitian rembesan mikro hidrokarbon untuk mendeteksi potensi sumur migas yang baru di Kabupaten Wajo bisa dilakukan menggunakan citra Landsat 8. Pendeteksian mikro hidrokarbon dilakukan dengan menggunakan metode PCA untuk melihat alterasi anomali mineral dan geobotanik. Untuk vegetasi indeksinya menggunakan NDVI, *Chlorophyll Index Green*, dan GNDVI. Dari hasil PCA dan indeks vegetasi dilakukan *overlay* menggunakan metode *fuzzy overlay* dan didapatkan hasil bahwa daerah potensi terbesar untuk dilakukan eksplorasi sumur yang baru terdapat pada sebelah timur dan selatan Kabupaten Wajo.

Daftar Pustaka

- Ammaliah, Nur, Rustanto, Andry, & Indrawan, I Nyoman. (2019). Pemanfaatan Penginderaan Jauh Untuk Pemetaan Dinamika Suhu Permukaan Darat dan Perkembangan Permukiman. *Seminar Nasional Infrastruktur Berkelanjutan 2019 Era Revolusi Industri 4.0*, halaman II 7-II 14. Sumatera Barat: Universitas Andalas.
- Ardiansyah. (2015). *Pengolahan Citra Penginderaan Jauh Menggunakan ENVI 5.1 dan ENVI LiDAR*. Jakarta: PT. LABSIG INDERAJA ISLIM. 978-602-71527-0-0.
- Arellano Paul, Kevin Tansey, Heiko Balzer and Doreen S Boyd. (2015). Detecting the Effect of Hydrocarbon Pollution in the Amazon Forest Using Hyperspectral Satellite Images. *Environmental Pollution*, 205, pp 225-239.

- Avcioglu, Emme. (2010). *Hydrocarbon Microseepage Mapping Via Remote Sensing for Gemrik Anticline, Bozova Oil Field, Adiyaman, Turkey*. Ankara: Thesis Geodetic and Geographic Information Technologies Department, Middle East Technical University.
- Chen, S., Zhao, Y., Zhao, L., Liu, Y., & Zhou, C. (2017). Hydrocarbon micro-seepage detection by altered minerals mapping from airborne hyperspectral data in Xifeng Oilfield, China. *Journal of Earth Science*, 28(4), 656–665. 10.1007/s12583-015-0604-1.
- Clark, R. H., Cleverly, R. W. (1991). Petroleum Seepage and Post Accumulation Migration. *Spec. Publication*, 59 (1): 265-27.
- Hong Yang. (1999). *Imaging Spectrometry for Hydrocarbon Microseepage* (Delf: Thesis TU Delf University).
- Husein, J. (2009). *Sulawesi Selatan Miliki Potensi Gas yang Melimpah*. Bisnis Tempo. <https://bisnis.tempo.co/read/209359/sulawesi-selatan-miliki-potensi-gas-melimpah/full&view=ok>
- Rockwell BW. (2013). Automated mapping of mineral groups and green vegetation from landsat thematic mapper imagery with an example from the San Juan Mountains, Colorado: U.S. *Geological Survey Scientific Investigations Map 3252*, 25p, pamphlet.
- Salati, S., van Ruitenbeek, F., van der Meer, F., & Naimi, B. (2014). Detection of alteration induced by onshore gas seeps from ASTER and worldview-2 Data. *Remote Sensing*, 6(4), 3188–3209. 10.3390/rs6043188.
- Scafutto, R. D. P. M., de Souza Filho, C. R., & de Oliveira, W. J. (2017). Hyperspectral remote sensing detection of petroleum hydrocarbons in mixtures with mineral substrates: Implications for onshore exploration and monitoring. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 128, 146–157. 10.1016/j.isprsjprs.2017.03.009.
- Tian, Qingjiu. (2012). Study on Oil-Gas Reservoir Detecting Methods Using Hyperspectral Remote Sensing. *Remote Sensing and Spatial Information Science* Vol, XXXIX-B7:157-162.

Umah, A. (2021). *Ampun Bang Jago! Cadangan Minyak RI Tinggal 9,5 Tahun Lagi*. CNBC Indonesia.

<https://www.cnbcindonesia.com/news/20210121093557-4->

[217631/ampun-bang-jago-cadangan-minyak-ri-tinggal-95-tahun-lagi](https://www.cnbcindonesia.com/news/20210121093557-4-217631/ampun-bang-jago-cadangan-minyak-ri-tinggal-95-tahun-lagi)