

# IDENTIFIKASI POTENSI REMBESAN MIKRO DI LAPANGAN MIGAS MELALUI DETEKSI MINERAL LEMPUNG MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT 8 OLI/TIRS, STUDI KASUS LAPANGAN MIGAS CEKUNGAN JAWA BARAT BAGIAN UTARA

## (IDENTIFICATION OF MICROSEEPAGES POTENTIAL IN THE OIL AND GAS FIELD BY CLAY MINERAL DETECTION USING LANDSAT 8 OLI/TIRS IMAGE, CASE STUDY OF OIL AND GAS FIELD IN THE NORTH OF WEST JAVA BASIN)

Tri Muji Susantoro<sup>1,2\*</sup>, Ketut Wikantika<sup>2,3,4</sup>, Asep Saepuloh<sup>2,3,4</sup> dan Agus Handoyo Harsolumakso<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

<sup>2</sup>Pusat Penginderaan jauh, Institut Teknologi Bandung

<sup>3</sup>Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

<sup>4</sup>ForMIND Institute (Forum Peneliti Muda Indonesia)

\*e-mail: trimuji\_s@yahoo.com

Diterima 06 November 2017; Direvisi 25 Januari 2018; Disetujui 06 Februari 2018

### ABSTRACT

Clay minerals in the oil and gas field have changed with an increase of the quantities in the middle of the oil and gas field and reduction in the edges. This reduction is the effect of micro seepage from oil and gas from the subsurface. The aims of the research is to identify the potential oil and gas seepage through clay mineral mapping. The data used where Landsat 8 OLI/TIRS with recording dated September 25, 2015. The method used in the mapping of clay minerals using the ratio of 1.55-1.75  $\mu\text{m}$  (Short Wave Infrared 1) and 2.08-2.35  $\mu\text{m}$  (Short Wave Infrared 2). The result of Landsat 8 OLI/TIRS data processing shows the potential of anomalies in edges of the oil and gas field. The anomaly is a change in the index value of clay minerals that tend to be lower with values 1.0 to 1.5 than the middle of oil and gas field with values 1.5 to 2.0. The potential pattern of the anomaly follows the border of the oil and gas field. Field surveys show that oil and gas field based on grain size analysis is dominated by clay-sized soil. The dominant clay minerals from X-Ray Diffraction analysis are smectite (56%) and kaolinite (6%).

Keywords: *Clay Mineral Landsat 8 OLI/TIRS, Microseepages, Smectite, Kaolinite*

**ABSTRAK**

Mineral lempung di lapangan migas mengalami perubahan dengan terjadinya peningkatan kandungannya pada tengah lapangan migas dan pengurangan di tepinya. Pengurangan ini merupakan efek adanya rembesan mikro dari migas yang berasal dari bawah permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi adanya potensi rembesan migas melalui pemetaan mineral lempung. Adapun data yang digunakan adalah Landsat 8 OLI/TIRS dengan perekaman tanggal 25 September 2015. Metode yang digunakan pada pemetaan mineral lempung menggunakan perbandingan panjang gelombang 1,55-1,75  $\mu\text{m}$  (*Short Wave Infrared 1*) dengan 2,08-2,35  $\mu\text{m}$  (*Short Wave Infrared 2*). Hasil pengolahan data Landsat 8 OLI/TIRS menunjukkan adanya potensi anomali di tepi lapangan migas cekungan Jawa Barat bagian utara. Anomali tersebut berupa perubahan nilai indeks mineral lempung yang cenderung lebih rendah yaitu dengan nilai 1,0 – 1,5 dibandingkan lokasi di tengah lapangan yaitu dengan nilai 1,5 – 2,0. Pola potensi anomali tersebut mengikuti batas tepi lapangan migas. Survei lapangan menunjukkan bahwa pada lapangan migas berdasarkan analisis ukuran butir didominasi oleh tanah berukuran lempung. Adapun mineral lempung yang dominan dari hasil analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) berupa smektit (56%) dan terdapat kaolinit (6%).

Kata kunci: *Mineral Lempung, Landsat 8 OLI/TIRS, Rembesan Mikro, Smektit, Kaolinit*

**1 PENDAHULUAN**

Eksplorasi minyak dan gas bumi (migas) merupakan kegiatan yang beresiko tinggi, padat modal dan teknologi tinggi. Adapun tingkat keberhasilan eksplorasi migas tahun 1985 – 1993 di Indonesia berkisar antara 40,2%-52,1% dan khusus tahun 1993 adalah 47,3% (Romadhon, 2009). Eksplorasi migas menjadi semakin beresiko dengan penurunan harga minyak. Hal ini menyebabkan tingkat keekonomian menjadi semakin rendah sehingga kegiatan eksplorasi menurun. Pemanfaatan teknologi yang murah dan cepat diperlukan untuk meningkatkan kegiatan eksplorasi tersebut. Salah satu teknologi yang dapat digunakan dalam membantu kegiatan eksplorasi migas adalah teknologi penginderaan jauh. Teknologi tersebut mempunyai kehandalan untuk merekam kondisi permukaan bumi melalui gelombang elektromagnetik yang direpresentasikan dengan nilai digital sehingga dapat memberikan gambaran mengenai fenomena-fenomena permukaan yang ada.

Fenomena- fenomena permukaan yang dapat dikaji dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh sebagai indikator adanya migas di bawah permukaan meliputi anomali mineral lempung, geomorfologi, ion besi, vegetasi, delta karbonat dan kandungan gas dalam tanah (Yang, 1999; Saunders et al., 1999; *National Aeronautics and Space*

*Administration*, 2011; Joshua, 2015). Fenomena tersebut terjadi akibat adanya rembesan migas yang mencapai permukaan. Keberadaan rembesan migas di permukaan tanah sebagai dampak dari akumulasi migas yang bersifat dinamis dan kondisi tudung/seal yang tidak sempurna pada reservoirnya sehingga terjadi migrasi (Schumacher, 2001).

Rembesan migas secara umum didefinisikan sebagai minyak dan gas bumi yang secara alami mengalami kebocoran ke permukaan tanah melalui retakan dan sedimen, seperti air yang keluar dari mata air ke permukaan (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, 2015) atau hasil migrasi hidrokarbon sepanjang sesar, kelurusan dan kedudukan batuan yang tidak menerus serta pori-pori batuan atau lubang-lubang kecil diantaranya (Smejkalova & Bujok, 2012). Rembesan migas merupakan salah satu parameter kualitatif yang digunakan untuk eksplorasi migas. Keberadaan rembesan migas sangat menguntungkan, tetapi bukan sebagai faktor keekonomian terhadap migas yang akan diproduksi (Eyer et al., 1977). Rembesan migas menjadi bagian sejarah penting dalam penemuan migas di dunia. Pemboran migas pada awal perkembangannya dilakukan di dekat rembesan dan hanya sedikit bantuan teknik yang diberikan dalam mencari penentuan lokasi pemboran

(Kusumadinata, 1980). Adanya rembesan migas membuktikan bahwa hidrokarbon telah dihasilkan pada daerah tersebut, dimana batuan induk telah matang secara temperatur dan bermigrasi pada jebakan yang tepat (Priyanto & Fitriannur, 2008; Nasution et al., 2008).

Berdasarkan hal tersebut diatas dilakukan deteksi mineral lempung untuk identifikasi potensi rembesan mikro pada lapangan migas di cekungan Jawa Barat Utara menggunakan Landsat 8 OLI/TIRS. Landsat 8 OLI/TIRS merupakan generasi dari Landsat TM yang mempunyai panjang gelombang *short wavelength infrared* (SWIR) yang memungkinkan untuk mengidentifikasi mineral lempung sebagai dampak adanya rembesan migas (Everett et al., 2002). Adanya rembesan migas diduga mempengaruhi kondisi permukaan sedimen dan tanah yang disebabkan oleh reaksi reduksi dan oksidasi sepanjang jalur migrasi (Shi et al., 2010). Rembesan migas dalam waktu yang lama akan menyebabkan perubahan mineral secara umum dan termasuk di dalamnya mineral lempung di sepanjang jalur migrasi (Schumacher & Abrams, 1996). Perubahan-perubahan tersebut termasuk pembentukan kalsit, pirit uraninit, sulfur, magnetik oksida besi, sulfida besi, pemutihan lapisan tanah merah (*bleaching of red beds*), perubahan mineral lempung, perubahan elektrokimia, anomali radiasi dan anomali biogeokimia dan geobotani (Yang et al., 2000).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengkaji kemampuan Landsat 8 OLI/TIRS dalam mengidentifikasi potensi rembesan mikro melalui analisis indeks mineral lempung dan bukti fisik hasil survei lapangan dan analisis laboratorium. Penelitian ini dilakukan untuk membuktikan bahwa di lapangan migas terjadi perubahan pola distribusi mineral lempung sebagai akibat adanya migas dibawahnya. Harapannya dengan adanya penelitian

ini bisa memberikan gambaran mengenai peluang eksplorasi migas memanfaatkan teknologi penginderaan jauh melalui deteksi rembesan mikro di permukaan tanah.

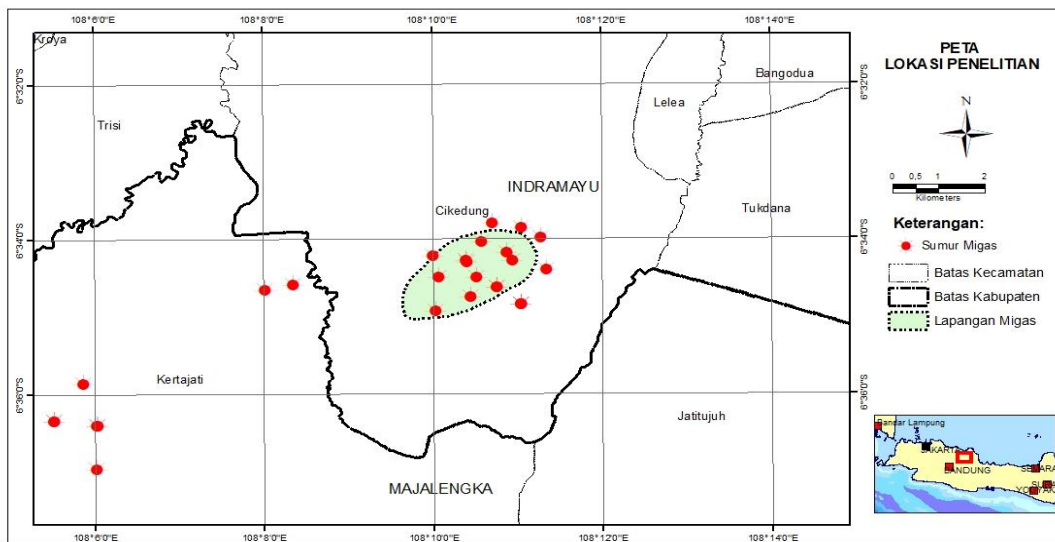
## 2 METODOLOGI

### 2.1 Data dan Lokasi

Lokasi penelitian terletak di perbatasan antara kabupaten Indramayu dan Kabupaten Majalengka. Kecamatan yang tercakup pada penelitian ini meliputi Cikedung, Bangodua, Lelea dan Widasari yang berada di Kabupaten Indramayu serta kecamatan Kertajati dan Jatitujuh yang berada di Kabupaten Majalengka. Berdasarkan kondisi tanahnya, jenis tanah di lokasi penelitian terdiri dari tujuh ordo, yaitu *inceptisols*, *ultisols*, *andisols*, *entisols*, *alfisols*, *vertisols* dan tanah asosiasi. Adapun jenis dominan yang ada adalah dari ordo *inceptisols*, *ultisols* dan *andisols* (Badan Litbang Kementerian Pertanian, 2014).

Pada lokasi ini terdapat lapangan migas Tugu Barat yang merupakan bagian dari cekungan Jawa Barat Utara. Cekungan ini terbukti sebagai cekungan penghasil migas, ada 65 lapangan di darat dan 88 lapangan di laut (PPPTMGB LEMIGAS-SKK Migas, 2015). Kegiatan eksplorasi migas di cekungan ini telah banyak menemukan migas terutama pada struktur-struktur antiklin. Adapun lapisan utama yang berproduksi adalah batupasir dari formasi Talangakar dan Cibulakan serta batugamping dari formasi Baturaja dan Parigi. Di cekungan ini juga telah diproduksi minyak dari batuan tuffa vulkanik dan breksi dari formasi Jatibarang (Mulyana, 2014). Adapun lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2-1.

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah Landsat 8 OLI/TIRS dengan *path/row* 121/65 dan waktu perekaman tanggal 25 September 2015. Data tersebut diperoleh dengan mengunduh pada <https://earthexplorer.usgs.gov/>.



Gambar 2-1: Lokasi penelitian yang merupakan Lapangan Migas dan terletak di perbatasan Kabupaten Majalengka dan Indramayu.

## 2.2 Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data yang dilakukan koreksi radiometrik, koreksi geometrik dan *band ratio*. Koreksi radiometrik dilakukan secara bertahap dengan mengubah nilai digital ke dalam nilai radian pada *Top of Atmosphere* (ToA) melalui proses kalibrasi radiometrik. Selanjutnya dilakukan koreksi atmosfer dengan mengubah nilai radian dari ToA ke pantulan di permukaan bumi menggunakan metode *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH). Koreksi geometrik dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya pergeseran lokasi di data penginderaan jauh dengan posisi geografis di permukaan bumi yang sebenarnya.

Pemetaan indeks mineral lempung dilakukan dengan perbandingan saluran pada panjang gelombang 1,55 -1,75  $\mu\text{m}$  dan 2,09 -2,35  $\mu\text{m}$  (Sabins, 1987). Perbandingan tersebut akan menghasilkan nilai yang lebih tinggi pada lokasi yang kaya mineral lempung. Hal ini terjadi karena pada panjang gelombang 2,09 -2,35  $\mu\text{m}$  mineral lempung menyerap radiasi secara signifikan sehingga terjadi pengurangan pantulan dan menyebabkan nilai perbandingan keduanya menjadi lebih tinggi. Adapun formula yang digunakan dirumuskan oleh Drury (1987) sebagai berikut:

$$\text{Indeks Mineral lempung} = A/B \dots \dots (2-1)$$

dimana:

A = *Shortwave-infrared 1* dengan panjang gelombang 1.55-1.75  $\mu\text{m}$

B = *Shortwave-infrared 2* dengan panjang gelombang 2.08-2.35  $\mu\text{m}$

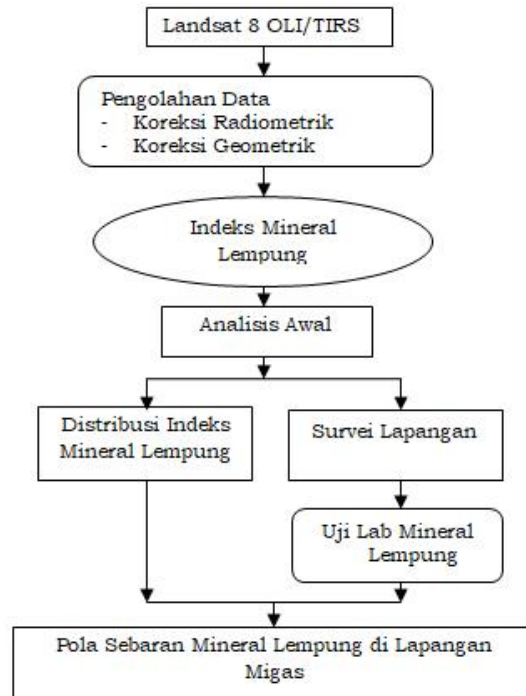
Formula ini disebut juga dengan *Simple Ratio Clay Index* (SRCI). Danoedoro dan Zukhrufiyati (2015) berdasarkan hasil penelitian di Gunung Kidul dengan Landsat 8 OLI/TIRS, SRCI mempunyai koefisien determinasi dengan kandungan lempung di permukaan sekitar  $R^2 = 0.65$ .

Survei lapangan dilakukan pada bulan Maret 2017 untuk memantau kondisi fisik lapangan migas tersebut dan pengambilan sampel tanah. Sampel tersebut kemudian dilakukan analisis ukuran butir (*grain size*) dan analisis kandungan mineral lempung dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) di laboratorium sedimentologi, Koordinator Kelompok Pelaksanaan Penelitian Pengembangan (KP3) Teknologi Eksplorasi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS".

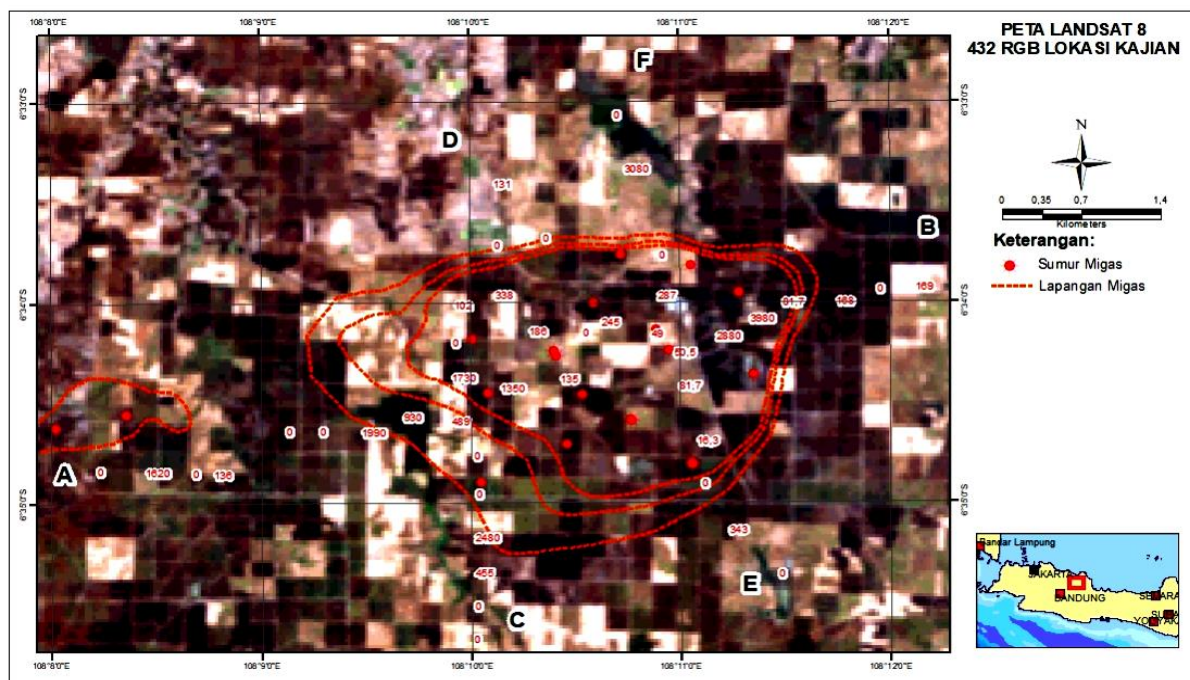
Analisis selanjutnya adalah mengkaji anomali mineral lempung berdasarkan hasil SRCI. Analisis ini dilakukan dengan cara tumpang susun peta lapangan migas Tugu Barat dengan hasil *band ratio* SRCI. Hasilnya diharapkan dapat diperoleh anomali mineral lempung yang tinggi di tengah dan rendah ditepi lapangan migas. Pola kandungan mineral lempung yang rendah hasil analisis Landsat 8 OLI/TIRS diharapkan membentuk pola melingkar mengikuti batas lapangan migas. Hal ini

sesuai konsep yang diterangkan oleh Yang (1999) dimana adanya migas di bawah permukaan bumi mempengaruhi mineral lempung di atasnya. Dimana pada lapangan migas akan terjadi pengkayaan mineral lempung dan kemudian berkurang ke arah tepi

lapangan. Verifikasi lapangan dilakukan untuk mengkaji kondisi daerah yang diduga sebagai lokasi rembesan mikro. Adapun diagram alir penelitian dan data Landsat 8 OLI/TIRS yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2-2 dan Gambar 2-3.



Gambar 2-2: Diagram alir penelitian.



Gambar 2-3: Citra Landsat 8 OLI/TIRS 432 RGB lokasi penelitian dengan perekaman tanggal 25 September 2015 yang ditumpang-susun dengan Lapangan Migas, Sumur Migas dan Titik Lintasan Survei.

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

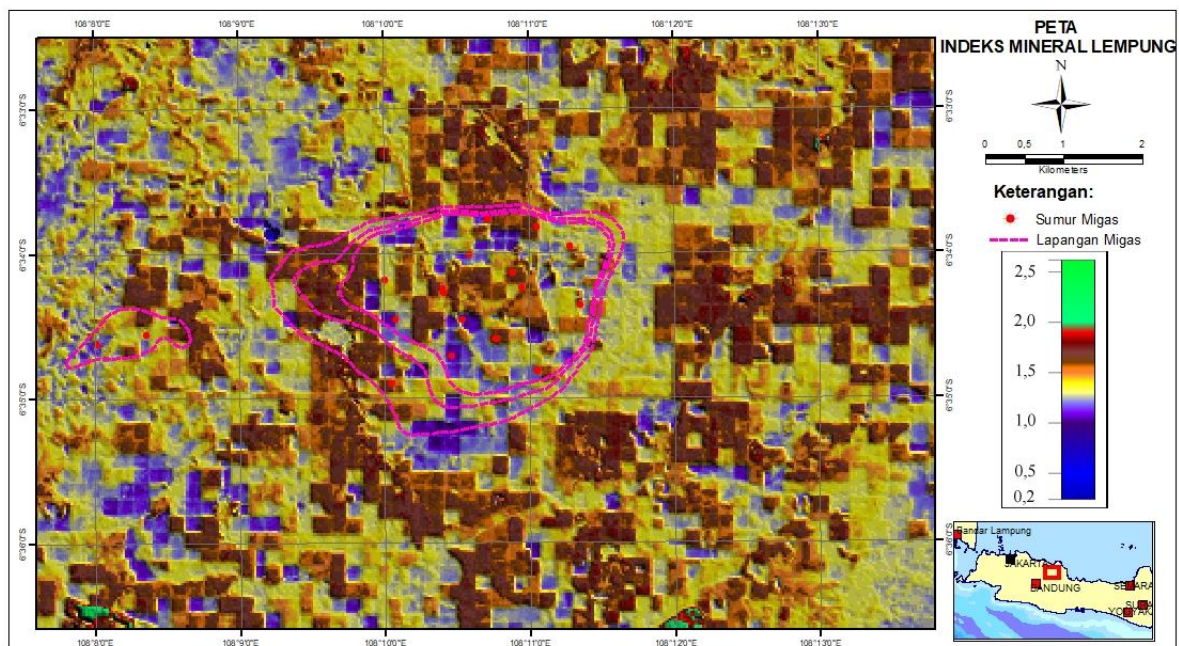
Hasil indeks mineral lempung pada lokasi penelitian berkisar antara 0,51 – 2,52. Pada bagian tengah permukaan lapangan migas Tugu Barat nilai indeks mineral lempung berkisar 1,5 sampai 2,0, kemudian cenderung menurun di tepi lapangan migas dengan kisaran 1,0 – 1,5. Penurunan ini membentuk pola melingkar mengikuti pola lapangan migas dan terlihat sangat jelas di bagian selatan ke arah timur lapangan migas. Penurunan ini diduga sebagai dampak adanya rembesan mikro. Diterangkan oleh Yang (1999) adanya migas di bawah permukaan bumi mempengaruhi mineral lempung di atasnya. Dimana pada lapangan migas akan terjadi pengkayaan mineral lempung dan kemudian berkurang ke arah tepi lapangan. Adanya migas di bawah permukaan bumi akan menyebabkan terjadinya rembesan mikro di sekitar lapangan migas (Yang, 1999; Saunders et al., 1999).

Rembesan mikro secara umum dapat terjadi ditengah dan ditepi lapangan migas karena adanya minimal empat proses, yaitu efusi (pengaliran) difusi (penyebaran), pelarutan (*solution*) dan gelembung gas yang naik (Schumacher, 2001). Namun demikian rembesan mikro akan lebih dominan terjadi pada bagian tepi lapangan migas karena adanya proses *vapour migration*

dan peningkatan rekahan sebagai akibat dari perbedaan kekompakan dan kepadatan batuan (Sikka & Shives, 2001).

Fenomena rembesan migas merupakan hal umum yang terjadi pada lapangan migas. Dimana lebih dari 75% cekungan migas terjadi rembesan makro yang dapat dilihat secara kasat mata (Clarke & Cleverly, 1991) dan sekitar 85% terjadi rembesan mikro yang hanya dapat diidentifikasi secara geokimia. Hal ini mengakibatkan pada permukaan lapangan migas terjadi pengkayaan mineral lempung (Tian, 2012). Adapun peta indeks mineral lempung dapat dilihat ada Gambar 3-1.

Hasil survei lapangan menunjukkan ukuran butir tanah pada lapangan migas didominasi oleh lempung, yaitu dengan rata-rata 83% dari 45 sampel yang dianalisis. Adapun kandungan mineral lempung yang ada di lokasi penelitian berdasarkan hasil analisis XRD dari survei lapangan menunjukkan rata-ratanya adalah 62,51% dari 45 sampel. Adapun jenis mineral lempung yang ada pada lokasi penelitian adalah smektit dan kaolinit. Pola distribusi yang terbentuk pada lintasan survei yang berarah selatan – utara lapangan migas menunjukkan pola penurunan kandungan mineral lempung di tepi dan kemudian naik ditengahnya.



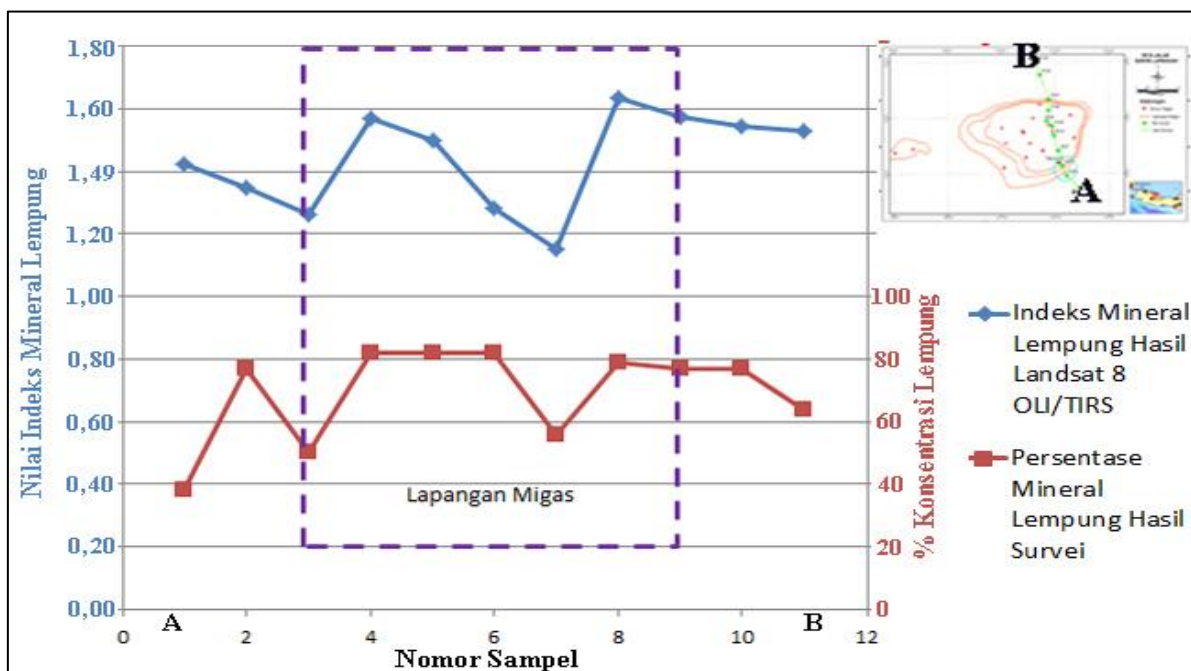
Gambar 3-1: Peta indeks mineral lempung di lokasi kpenelitian

Adanya perubahan mineral lempung pada lapangan migas terjadi akibat rembesan migas dalam jangka panjang akan menyebabkan terjadinya anomali lokal, perubahan kimia dan mineralogi. Adanya oksidasi hidrokarbon yang mengakibatkan kondisi asam pada permukaan tanah dan sedimen akan menyebabkan pelapukan diagenesis felspar menjadi tanah liat dan perubahan smektit menjadi kaolinit. Hasil kaolinit tersebut stabil secara kimia, kecuali apabila terjadi perubahan lingkungan (Schumacher & Abrams, 1996; Saunders et al., 1999).

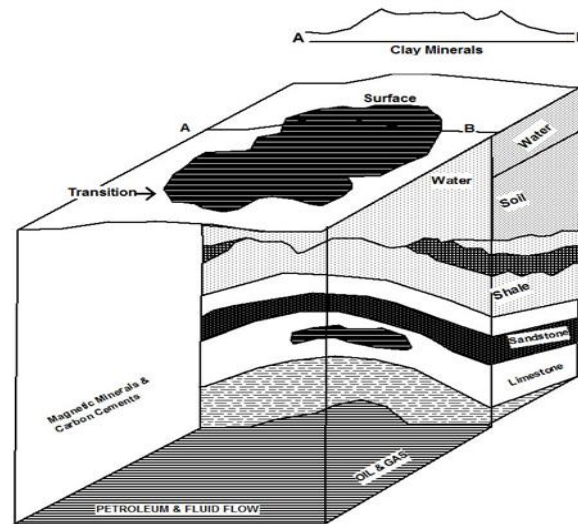
Berdasarkan analisis hasil laboratorium dari survei lapangan, kandungan mineral lempung di lapangan migas Tugu Barat menunjukkan penurunan di tepi dan tinggi di tengah lapangan migas. Hal ini sesuai dengan hasil analisis indeks mineral lempung pada Landsat 8 OLI/TIRS (Gambar 3-2). Pada bagian selatan ke arah timur di tepi lapangan migas Tugu Barat, indikasinya terlihat jelas dengan tidak berkembang

mineral hematit dan kristobalt. Hematit dan kristobalt berkembang di tengah lapangan migas ke arah utara. Hematit merupakan mineral oksida besi yang bisa menjadi indikator adanya migas. Pengkayaan mineral oksida besi biasa terjadi di tengah lapangan migas (Yang, 1999).

Berdasarkan hasil penelitian pada lapangan Tugu Barat di Cekungan Jawa Barat Utara, maka kondisi pengkayaan mineral lempung masih mengikuti konsep yang telah dijelaskan oleh Saunders et al. (1999) dan Yang (1999). Dimana pada lapangan migas akan terjadi pengkayaan mineral lempung yang kemudian ke tepi lapangan akan berkurang. Adapun gambaran model konseptual tersebut dapat dilihat pada Gambar 3-3. Berdasarkan hal tersebut maka pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dapat digunakan sebagai salah satu alternatif teknologi untuk mendukung eksplorasi migas melalui pendekatan anomali mineral lempung.



Gambar 3-2: Konsentrasi mineral lempung hasil survei lapangan dan analisis kualitatif indeks mineral lempung berdasarkan Landsat 8 OLI/TIRS yang menunjukkan adanya kesesuaian antara keduanya.



Gambar 3-3: Model konseptual perubahan kondisi mineral lempung pada lapangan migas, dimana terjadi pengkayaan mineral lempung di tengah dan kemudian menurun di tepi lapangan migas (Saunders et al., 1999; Yang, 1999).

#### 4 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data penginderaan jauh menggunakan Landsat 8 OLI/TIRS, dihasilkan pola distribusi indeks mineral lempung yang naik di tengah dan menurun di tepi lapangan migas Tugu Barat. Penurunan indeks mineral lempung paling jelas terlihat di selatan ke arah timur tepi lapangan migas. Hasil analisis mineral lempung menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* menunjukkan kandungan mineral lempung sesuai dengan pola indeks mineral lempung hasil analisis Landsat 8 OLI/TIRS. Analisis mineral lainnya menunjukkan pada lokasi tersebut tidak berkembang mineral hematit dan kristobalt. Kedua mineral tersebut berkembang di tengah lapangan ke arah utara. Kondisi ini membuktikan bahwa di lapangan migas terjadi anomali kandungan mineral lempung dengan pola distribusi tinggi di tengah dan menurun di tepi lapangan migas.

Kedepannya penelitian ini perlu dilakukan secara komprehensif dengan mengkaji kondisi vegetasi, suseptibilitas magnetik, Analisis spektral vegetasi dan tanah serta radon untuk menghasilkan analisis potensi anomali lapangan migas sebagai akibat adanya rembesan mikro ataupun makro yang lebih detail. Hal lain yang perlu dilakukan mengkaji indeks hidrokarbon pada sampel tanah di permukaan menggunakan *Analytical Spectral Devices* di sekitar lapangan migas.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada Kelompok Penginderaan Jauh dan SIG, Kelompok Sedimentologi, Koordinator Program Penelitian Pengembangan Teknologi Eksplorasi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS" yang telah membantu dalam menyediakan peralatan survei dan analisis laboratorium. Terima kasih kami ucapkan juga kepada TIM survei lapangan, Bapak Yudhi, Bapak Heri dan Pak Triwijaya yang telah membantu dalam pelaksanaan survei lapangan.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Badan Litbang Kementerian Pertanian, (2014). *Peta Sumberdaya Tanah Tingkat Tinjau Provinsi Jawa Barat dan DKI Jakarta*. Skala 1:250.000. Kementerian Pertanian.
- Clarke R.H. & Cleverly R.W., (1991). *Petroleum Seepage and Post-Accumulation migration*. In: England, W.A., and Fleet, A.J. (Eds.), *Petroleum Migration. Geological Society Special Publication N. 59*. Geological Society of London, Bath, pp 265–271.
- Danoedoro, P. & Zukhrufiyati, A., (2015). *Integrating Spectral Indices and Geostatistics Based on Landsat-8 Imagery for Surface Clay Content Mapping in Gunung Kidul Area, Yogyakarta, Indonesia*. Proceeding of the 36th Asian Conference on Remote



- Sensing, Yogyakarta. <https://www.researchgate.net/publication/302580476>.
- Drury, S.A., (1987). *Image Interpretation in Geology*. Department of Earth Sciences. The Open University. Allen & Unwin. London.
- Everett, J.R., Staskowski, R.J. & Jengo, C., (2002). *Remote Sensing and GIS Enable Future Exploration Success*. Word Oil. Vol 223. No 11. Gulf Publishing Company. [www.worldoil.com](http://www.worldoil.com).
- Eyer, J.A., Foreman, J.E. & Raney, G.L., (1977). *Natural Oil Seep Detection in Marine Environments*. Proceeding of the 9th Annual Offshore Technology Conference. May 2-5, 1977. Houston, Texas. USA.
- Joshua, J., (2015). *Hyperspectral Remote Sensing for Oil Exploration*. Published in Science. Cited in <http://www.slideshare.net/serjiojaya/nthjoshua/hyperspectral-remote-sensing-for-oil-exploration>. [2 April 2016].
- Kusumadinata, R.P., (1980). *Geologi Minyak dan Gas Bumi*. Edisi kedua. Jilid I. Penerbit Institut Teknologi Bandung.
- Mulyana, A., (2014). *Studi Sekuen Stratigrafi Formasi Parigi Lapangan C Cekungan Jawa Barat Utara, Kabupaten Subang, Jawa Barat*. Jurnal Ilmiah MTG. Vol, 7. No 1.
- Nasution, F.A., Nugroho, B., Krisyuniyanto, A. & Bahtiar.A., (2008). *Overview Petroleum System of Taliabu-Mangole Synrift in Sula Subbasin*. Prosiding pada Pertemuan Ilmiah Tahunan IAGI ke-37. Agustus 2008. Hotel Horison, Bandung.
- National Oceanic and Atmospheric Administration, (2015). *Natural Oil Seeps in Southern California*. Office of Response and Restoration. U.S. Department of Commerce.
- National Aeronautics and Space Administration, (2011): *Finding Oil and Gas from Space*. Cited in [https://apollomapping.com/wp-content/user\\_uploads/2011/11/NASA\\_Remote\\_Sensing\\_Tutorial\\_Oil\\_and\\_Gas.pdf](https://apollomapping.com/wp-content/user_uploads/2011/11/NASA_Remote_Sensing_Tutorial_Oil_and_Gas.pdf). [2 April 2016].
- PPPTMGB LEMIGAS – SKK Migas, (2015). *Laporan Akhir Revitalisasi Pengelolaan Sumberdaya*. Nomor: KUS-128/SKKG3000/2015/S7. Jakarta.
- Priyanto, B. & Fitriannur, M.R., (2008). *Neogene Tectonic and Sedimentary Control to Hydrocarbon Generation in Banggai Basin, Eastern Sulawesi*. Paper dipresentasikan pada Pertemuan Ilmiah Tahunan IAGI ke-37. Agustus 2008. Hotel Horison, Bandung.
- Romadhon, T.M., (2009). *Pengaturan Production Sharing Contract dalam undang-Undang Minyak dan Gas*. Jurnal Hukum No. 1 Vol 16. Cited in <http://law.uui.ac.id/images/stories/Jurnal%20Hukum/Topan%20Meiza%20Ramadhani.pdf>. [2 April 2017].
- Sabins, F.F., (1987). *Remote Sensing Principles and Interpretation*. W. H. Freeman and Company. New York.
- Saunders, D.F., Burson, K.R. dan Thompson, C.K., (1999). Model for Hydrocarbon Microseepages and Related Near-Surface Alteration. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geology*. 83. 170-185.
- Schumacher, D. & Abrams, A. A., (1996). *Hydrocarbon Microseepage and its near-Surface Expression*. AAPG Memoir 66, pp.446.
- Schumacher, D., (2001). *Petroleum Exploration in Environmentally Sensitive Areas: Opportunities for Non-Invasive Geochemical and Remote Sensing Methods*. Proceeding of the Rock the Foundation Convention. Canadian Society of Petroleum Geologist. Canada.
- Smejkalova, E. & Bujok, P., (2012). *Remote Sensing Methods in the Identification of Oil Contaminations*. Geoscience Engineering. Vol. L VIII. Cited in <http://gse.vsb.cz>. [2 April 2017].
- Shi, P., Fu, B. & Ninomiya, Y., (2010). *Mapping Hydrocarbon Seepage-Induced Anomalies in the Arid Region, West China Using Multispectral Remote Sensing*. Proceeding of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan.
- Sikka, D. B. & Shives, R. B. K., (2001). *Mechanisms to Explain the Formation of Geochemical Anomalies over Oilfields*. Proceeding of the AAPG Hedberg Conference "Near-Surface Hydrocarbon migration: Mechanisms and Seepage Rates", Vancouver, BC, Canada, 1-4.

Tian Q., (2012). *Study on Oil and gas Reservoir Detecting Methods Using Hyperspectral Remote Sensing*. Proceeding of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Volume XXXIX-B7. XXII ISPRS Congress, 25 August - 1 Sept 2012. Melbourne Australia.

Yang H., (1999). *Imaging spectrometry for hydrocarbon microseepage*.

---

Dissertation. TU Delft. Master of Science in Geology. ITC Publication Nuumber 76.

Yang, H., Meer. F.D.V.D. & Zhang, J. (2000). *Aerospace Detection of Hydrocarbon-Induced Alteration-Chapter 7*. In Hale, M. (ed). *Geochemical Remote Sensing of the Subsurface*. Handbook of Exploration Geochemistry. Vol. 7. Elsevier Science.B.V