

DOI: doi.org/10.21009/0305020412

# PEMETAAN KELURUSAN MENGGUNAKAN *REMOTE SENSING* DAN KORELASINYA TERHADAP DISTRIBUSI MANIFESTASI PERMUKAAN DI DAERAH POTENSI GEOTHERMAL KEPAHIANG, BENGKULU

Ricky Ferdianto Herlambang<sup>1,\*</sup>), Kms Novranza<sup>1,\*\*</sup>)

<sup>1</sup>Magister Ilmu Fisika Kekhususan Eksplorasi Geothermal, Departemen Fisika, FMIPA Universitas Indonesia, Salemba, Jakarta

Email: \*[ricky.ferdianto.herlambang@gmail.com](mailto:ricky.ferdianto.herlambang@gmail.com), \*\*[kmsnovranzaui@gmail.com](mailto:kmsnovranzaui@gmail.com)

## Abstrak

Aplikasi teknologi *remote sensing* saat ini semakin berkembang dan meliputi berbagai lingkup penelitian, diantaranya dalam eksplorasi geothermal. *Remote sensing* dapat membantu mengidentifikasi struktur geologi di permukaan melalui pengamatan fitur kelurusan. Struktur geologi dalam eksplorasi geothermal umumnya berkaitan dengan zona permeabel dan dapat berkorelasi dengan zona *upflow* ataupun *outflow* yang ditunjukkan dengan kehadiran manifestasi permukaan. Citra Landsat-8 digunakan dalam mendelineasi kelurusan dengan terlebih dahulu dilakukan proses peningkatan kualitas citra menggunakan teknik *Gram-Schmidt Pan-Sharpning* dan metode PCA (*Principal Component Analysis*). Ekstraksi dari kelurusan di citra dibantu oleh *software* PCI-Geomatica modul LINE berdasarkan *automatic detection algorithms*. Untuk mereduksi fitur kelurusan yang tidak berkaitan dengan struktur geologi, seperti fitur buatan manusia, dilakukan pengamatan visual menggunakan beberapa kombinasi band. Hasil distribusi kelurusan menunjukkan arah utama dari kelurusan-kelurusan yang berkembang di daerah penelitian adalah Barat Laut-Tenggara, sesuai dengan pola struktur geologi utama yang telah dipublikasikan pada Peta Geologi Regional dan berkorelasi dengan keberadaan manifestasi permukaan. Namun dari hasil pengamatan Peta Kerapatan Kelurusan, tidak diperoleh korelasi langsung antara daerah yang memiliki kerapatan kelurusan tinggi dengan keberadaan manifestasi permukaan di daerah penelitian. Kerapatan kelurusan cenderung dominan dipengaruhi oleh formasi geologi.

**Kata Kunci:** *Remote Sensing, Landsat-8, Kelurusan, Geothermal, Manifestasi Permukaan*

## Abstract

*The application of remote sensing technology has currently evolved and covering a wide scope of study, for instance in geothermal exploration. Remote sensing can help identify the geological structures on the surface through observation of lineament features. The geological structures in geothermal exploration are related to permeable zones and can be correlated with the upflow or outflow zone as indicated by the presence of surface manifestations. Landsat-8 imagery is used in delineating the lineament as in advanced, the process was begun by doing image quality enhancement Gram-Schmidt Pan-Sharpning and PCA (Principal Component Analysis). Extraction of lineaments process was carried out with LINE module of PCI-Geomatica based on automatic detection algorithms. To reduce lineament features that are not related to the geological structure, such as man-made features, visual observation is conducted by using several band combinations. The results showed that the main direction of the lineaments within the study area is Northwest-Southeast, consistent to the pattern of major geological structures in Regional Geological Map and related to the existence of manifestations. However, from the observation of Lineament Density Map, there were no direct correlations between areas that have a high density of lineaments with the presence of surface manifestations. Lineament density tends to be dominantly influenced by the geological formation.*

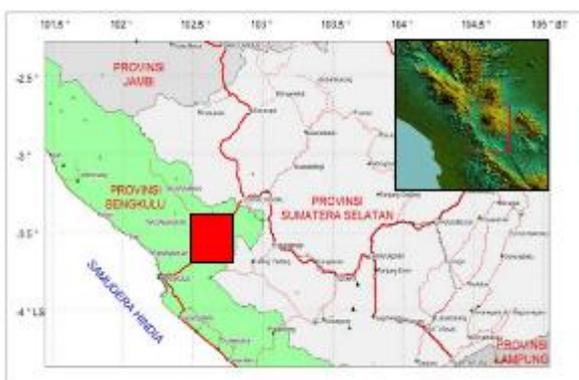
**Keywords:** *Remote sensing, Landsat-8, Lineament, Geothermal, Surface Manifestations*

## 1. Pendahuluan

Aplikasi teknologi *remote sensing* saat ini semakin berkembang dan meliputi berbagai lingkup penelitian, diantaranya dalam eksplorasi geothermal. Fitur kelurusan yang diekspresikan pada citra satelit hasil *remote sensing* dapat diamati dan dipetakan. Kelurusan ini dapat mencerminkan struktur geologi. Struktur geologi (patahan dan rekahan) dapat berfungsi sebagai zona permeabel dimana fluida bersirkulasi dan

membentuk suatu sistem geothermal [9]. Implikasi keberadaan struktur geologi sebagai suatu zona permeabel dapat ditandai dengan kehadiran manifestasi geothermal di permukaan, diantaranya yaitu mata air panas dan fumarol. Dalam eksplorasi sumberdaya geothermal, pemetaan kelurusan khususnya yang berkaitan dengan struktur geologi memegang peranan yang sangat penting [9].

Terdapat beberapa definisi mengenai kelurusan. Hariri M. dalam [5], menyatakan bahwa diantara fitur yang paling mudah diamati pada foto udara dan citra satelit adalah bentukan linear, yang disebut dengan kelurusan, nampak berupa garis lurus atau lengkungan dengan panjang yang berbeda-beda, umumnya berhubungan dengan rekahan dan batas litologi, serta relief geomorfik, yang muncul dengan perbedaan *tonal* (komposisi warna). Sedangkan Hung L.Q *et al.* dalam [5], menyatakan bahwa suatu kelurusan dapat berupa (1) aliran yg lurus dan lembah, (2) permukaan yang lurus, (3) perubahan *tonal* tanah, (4) kelurusan daerah vegetasi, (5) perubahan dari perbedaan tipe vegetasi dan ketinggian, atau (6) perbedaan topografi yang kontras. Semua fenomena ini mungkin hasil dari fenomena struktur, seperti: sesar (patahan), kekar, lipatan, dan rekahan. Konsep ekstraksi kelurusan dari citra satelit telah diaplikasikan oleh beberapa peneliti, diantaranya Podwysocki *et al.*, Burdick & Speirer, dan Baumgartner *et al.* dalam [1].

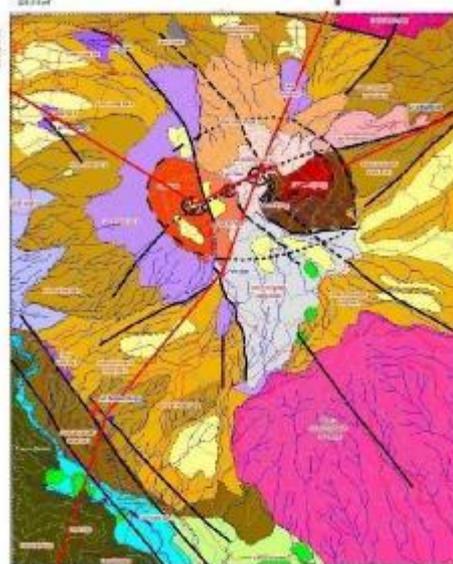


Gambar 1. Lokasi daerah Kepahiang, Bengkulu.

Berdasarkan penelitian [4], secara geologi daerah penelitian terletak pada busur magmatik Sumatera dengan lingkungan vulkanik kuartar. Morfologi terdiri dari empat satuan geomorfologi, yaitu: (1) Satuan geomorfologi Puncak Kaba, (2) Satuan geomorfologi Tubuh (Taba Pananjung, Malintang, dan Kaba), (3) Satuan geomorfologi Kaki Kaba, dan (4) Satuan Geomorfologi Pedataran. Daerah geothermal Kepahiang merupakan bagian dari sistem kompleks Gunungapi Kaba. Produk dari gunung ini secara garis besar terbagi menjadi dua bagian, yaitu produk erupsi Kaba Tua dan produk erupsi Kaba Muda yang dikelilingi oleh produk gunungapi lain, seperti Bukit Lumut di barat laut, Taba Pananjung di barat daya, dan Bukit Malintang di tenggaranya. Satuan batuan terdiri dari lava berkomposisi dasitik, andesitik, dan andesit basaltik, piroklastika jatuhan dan aliran, lahar dan endapan permukaan.

Struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian adalah *ring fracture* berbentuk setengah lingkaran berada di sisi barat dan timur mengelilingi bentukan Kawah Itam hingga Kawah Kaba Baru, sesar (patahan) arah barat laut-tenggara yang merupakan sesar mendatar sinistral berasosiasi dengan Sesar Besar Sumatera, sesar berarah barat daya-timur laut yang

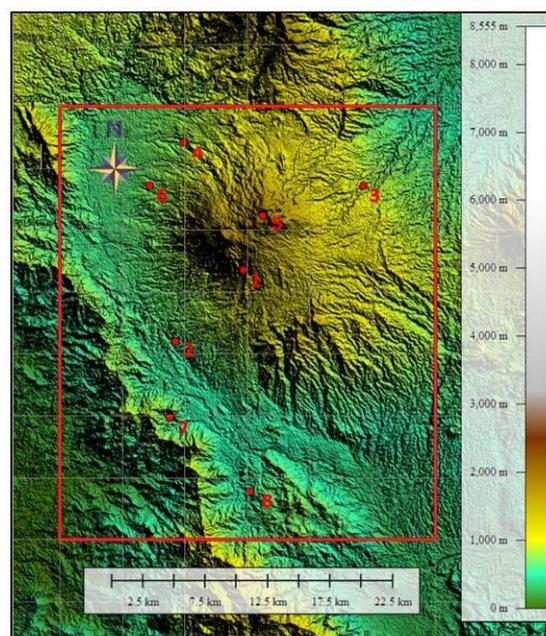
merupakan antitetik dari Sesar Besar Sumatera, dan sesar berarah utara-selatan (Sesar Malintang dan Sesar Sempiang) [6]. Sesar-sesar tersebut berhubungan dengan kemunculan manifestasi geothermal [4].



Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian [4].

Tabel 1. Manifestasi geothermal di daerah Kepahiang dan sekitarnya [6].

No.	Lokasi	Manifestasi	Suhu (°C)
1.	Sempiang	Fumarol, MAP	94,1
2.	Babakan Bogor	Mata Air Panas	43,1
3.	Sindang Jati	Mata Air Panas	35,8-36,2
4.	Suban	Mata Air Panas	49,0-51,8
5.	Kaba, Komplek G.Kaba	MAP, Fumarol*	96, 360*
6.	Tempel Rejo	Mata Air Panas	47,5
7.	Taba Pananjung	Alterasi	-
8.	Bayung	Mata Air Panas	58,8



Gambar 3. Lokasi manifestasi geothermal

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memetakan kelurusan yang berhubungan dengan struktur geologi dan melihat korelasinya dengan keberadaan manifestasi geothermal di daerah Kepahiang, Bengkulu. Pemetaan ini menggunakan metode ekstraksi otomatis (digital) dari citra satelit Landsat-8.

## 2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan Citra Landsat-8, OLI\_TIRS Tipe L1T path 125 row 63 dengan resolusi band multispektral 30 m dan resolusi band pankromatik 15 m. Waktu akuisisi citra yaitu 3 Juli 2015. Data ini diunduh melalui website [www.earthexplorer.usgs.gov](http://www.earthexplorer.usgs.gov).

Metodologi dalam penelitian ini terdiri dari empat tahap, yaitu: (1) Preparasi Data, (2) Pengolahan Data, (3) Ekstraksi Kelurusan, dan (4) Verifikasi Hasil.

### 2.1. Preparasi Data

Preparasi atau *pre-processing* data merupakan kegiatan sebelum dilakukannya pengolahan maupun interpretasi pada citra satelit. Data citra yang terekam sensor sangat dipengaruhi oleh kondisi atmosfer, sudut pengambilan data dari sensor, dan waktu pengambilan data. Kondisi tersebut menyebabkan data citra satelit memiliki bias nilai informasi yang harus dikoreksi. Koreksi yang umum dilakukan terdiri dari: Koreksi geometrik dan Koreksi radiometrik (termasuk didalamnya koreksi atmosferik).

Koreksi geometrik merupakan proses penyesuaian koordinat piksel pada citra dengan koordinat bumi dalam bidang datar. Citra Landsat-8 yang digunakan merupakan tipe L1T (*level-one terrain corrected*), yang telah melalui proses penyesuaian data sensor dan ephemeris, serta menggunakan GCP (*ground control point*) untuk mengatasi kesalahan geometriknya, sehingga tidak perlu lagi dilakukan proses koreksi geometrik.

Sensor satelit akan merekam dan menyimpan informasi permukaan bumi dalam bentuk *digital number (DN)* dengan rentang nilai 0-255. Koreksi radiometrik dan atmosferik yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari dua tahap, yaitu: (1) Proses konversi *digital number (DN)* ke reflektan *top of atmosphere (TOA)*. (2) Proses konversi reflektan *TOA* ke reflektan permukaan (*surface reflectance*) menggunakan metode *dark object subtraction (DOS)*. Citra dalam bentuk *surface reflectance* ini yang kemudian digunakan dalam tahap pengolahan.

### 2.2. Pengolahan Data

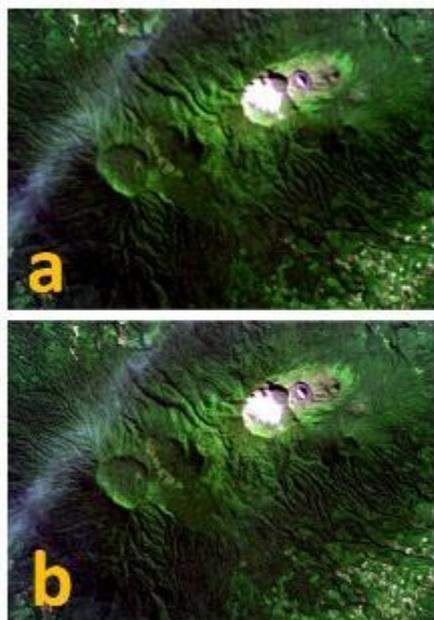
Pengolahan data dalam penelitian ini difokuskan untuk memperoleh citra dengan kualitas yang baik, memiliki tampilan tajam dan jelas, khususnya terhadap fitur-fitur kelurusan, sehingga dapat digunakan dalam proses ekstraksi kelurusan selanjutnya. Berbagai metode telah dikembangkan para peneliti untuk meningkatkan kualitas citra, khususnya dalam penajaman citra. Berdasarkan penelitian [8], metode

*Gram-Schmidt* dan PCA (*Principal Component Analysis*) memberikan hasil yang paling baik dibandingkan metode lainnya seperti IHS (*Intensity, Hue & Saturation*), CN-Brovey ataupun CN-Spectral dari segi spasial dan spektral, yang diamati secara visual dan statistik dalam hal peningkatan kualitas penajaman citra (*pan-sharpening*). Oleh sebab itu, metode peningkatan kualitas citra yang dipilih dalam penelitian ini adalah *Gram-Schmidt (GS)* dilanjutkan dengan PCA (*Principal Component Analysis*).

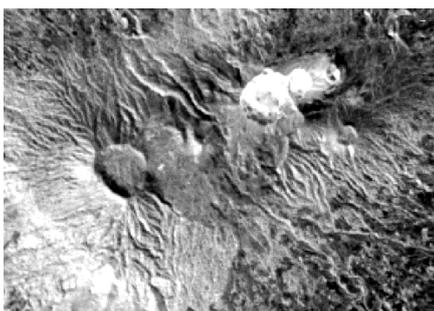
➤ ***Gram-Schmidt Pan-sharpening (GS)***: Metode GS ini meningkatkan resolusi spasial dari band multispektral dengan menggabungkan band resolusi tinggi pankromatik (Pan) dengan band resolusi rendah. Dalam prosesnya, band resolusi tinggi pankromatik disimulasikan dari band resolusi terendah. Transformasi GS dilakukan pada semua band, band pankromatik hasil simulasi digunakan sebagai band pertama. Kemudian band pankromatik akan diganti dengan band GS pertama. Akhirnya, transformasi inverse GS diaplikasikan untuk menghasilkan band-band dengan kualitas yang lebih tajam dengan menggunakan pembobotan [8].

➤ ***Principal Component Analysis (PCA)***: Metode yang digunakan untuk menyederhanakan suatu data, dengan cara mentransformasikan data secara linier sehingga terbentuk sistem koordinat baru dengan varians maksimum (A. Miranda dalam [10]). Metode ini dapat mengurangi dimensi dari data tanpa menghilangkan informasi penting dari data tersebut. PCA mentransformasikan variabel yang berhubungan menjadi sebuah set variabel yang tidak berhubungan, yang dinamakan komponen utama (*principal component*). Data band multispektral umumnya saling berhubungan, transformasi PCA digunakan untuk menghasilkan output band yang terpisah, saling tidak berhubungan. PC1 memiliki persentasi varians terbesar, PC2 varians terbesar kedua, dan selanjutnya. PC terakhir memperlihatkan *noise* karena memiliki varians yang sangat kecil. Citra PC1 dengan varians terbesar memiliki informasi yang paling banyak dari citra aslinya (original) dan akan menjadi pilihan yang ideal untuk menggantikan citra pankromatik resolusi tinggi. [8]. Kenampakan garis seperti contohnya sungai (tubuh air) lebih baik menggunakan metode PCA ini.

*Gram-Schmidt Pan-sharpening* akan memberikan hasil citra dengan resolusi spasial yang baik kemudian PCA dengan hasilnya PC1 akan memberikan peningkatan kualitas tepi objek (*edge enhancement*) dan menampilkan efek *emboss* yang jelas sehingga memudahkan ekstraksi fitur kelurusan.



**Gambar 4.** (a) Citra sebelum pan-sharpening. (b) Citra hasil Gram-Schmidt pan-sharpening (GS) dalam natural color RGB 432.



**Gambar 5.** Citra PCI hasil metode Principal Component Analysis

### 2.3. Ekstraksi Kelurusan

Terdapat dua metode yang umum digunakan dalam mendeteksi dan mengekstrak fitur kelurusan dari citra satelit [3], yaitu:

- **Ekstraksi berdasarkan pengamatan visual:** Diawali dengan penggunaan beberapa teknik pengolahan citra untuk meningkatkan kualitas tepian objek (*edge enhancement*). Fitur kelurusan dapat secara visual diperjelas menggunakan teknik peningkatan kualitas citra (*image enhancement*) dengan filter-filter *directional* dan *non-directional*, seperti PCA (*Principal Component Analysis*), Laplacian, Sobel, dan peregangan kontras (*contrast stretching*). Kemudian kelurusan akan diamati dan didigitasi secara manual.
- **Ekstraksi otomatis (digital):** Beberapa metode dengan bantuan komputer telah diajukan untuk mengekstrak kelurusan. Umumnya metode-metode tersebut didasari teknik filter dan pendeteksian tepi (*edge filtering*), seperti: algoritma START, Canny, dan EDISON. Piranti lunak (*software*) yang umum

digunakan untuk mengekstrak kelurusan secara otomatis adalah PCI-Geomatica modul LINE [5].

Penelitian ini menggunakan metode ekstraksi otomatis (digital) dengan bantuan *software* PCI-Geomatica modul LINE dalam proses analisis digital dan ekstraksi kelurusan. Parameter algoritma yang digunakan adalah sebagai berikut:

- **RADI** – *Radius of filter in pixels*
- **GTHR** – *Threshold for edge gradient*
- **LTHR** – *Threshold for curve length*
- **FTHR** – *Threshold for line fitting error*
- **ATHR** – *Threshold for angular difference*
- **DTHR** – *Threshold for linking distance*

Algoritma terdiri dari tiga tahap [3], yaitu:

- Pendeteksian tepi (*edge detection*)
- Ambang batas (*thresholding*)
- Ekstraksi kurva (*curve extraction*)

Tahap pertama, algoritma pendeteksian tepi (*edge detection algoritim*) Canny diaplikasikan untuk menghasilkan citra dengan tampilan tepi tegas. Algoritma Canny terdiri dari tiga sub-tahap. (1) Input citra akan difilter menggunakan fungsi Gaussian yang radiusnya ditentukan berdasar pengisian parameter **RADI** (*filter radius*), (2) Gradien dihitung dari citra yang telah difilter, (3) Piksel yang gradiennya tidak maksimum akan ditekankan dengan menetapkan nilai ketegasan tepi adalah 0.

Tahap kedua, citra dengan tampilan tepi objek yang tegas akan batasi (*thresholded*) untuk mendapatkan citra biner. Setiap piksel ON pada citra biner merepresentasikan sebuah elemen tepi. Nilai ambang (*threshold value*) didefinisikan oleh parameter **GTHR** (*edge gradient threshold*).

Tahap ketiga, kurva akan diekstrak dari citra tepi biner. Tahap ini terdiri dari beberapa sub-tahap. (1) Algoritma yang mengecil akan diaplikasikan pada citra tepi biner untuk menghasilkan kurva-kurva rangka dalam bentuk *pixel-wide*, (2) Bagian dari piksel untuk setiap kurva akan diekstrak dari citra. Setiap kurva dengan jumlah piksel kurang dari nilai yang diinput pada parameter **LTHR** (*curve length threshold*) akan dibuang dalam proses lebih lanjut. Kurva piksel yang diekstrak akan diubah menjadi bentuk vektor melalui pencocokan (*fitting*) segmen garis terhadapnya. Polyline yang dihasilkan merupakan pendekatan kurva piksel original, dimana maksimum *fitting error* (jarak antara keduanya) ditentukan oleh parameter **FTHR** (*line fitting threshold*), (3) Algoritma akan memasangkan polyline yang memenuhi kriteria sebagai berikut:

- Dua akhir-segmen dari dua polyline yang saling berhadapan satu dengan lainnya dan memiliki orientasi yang hampir sama (sudut antara dua segmen adalah kurang dari nilai yang ditentukan dalam **ATHR**).
- Dua akhir-segmen yang saling menutup atau bertemu satu dengan lainnya (jarak antara titik akhir adalah kurang dari nilai **DTHR**).

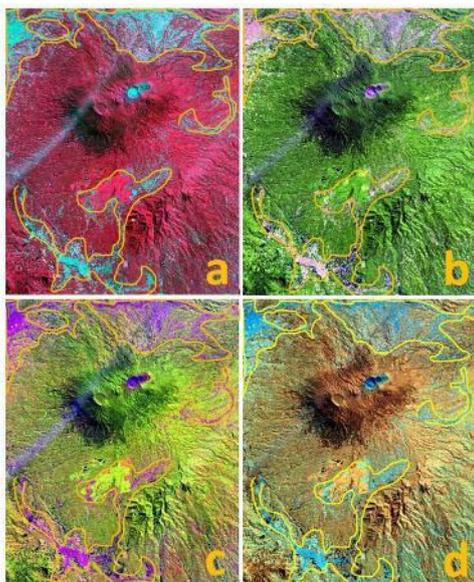
Hasil akhir polyline akan disimpan sebagai sebuah segmen vektor.

Dengan menggunakan enam parameter algoritma di atas dan melakukan beberapa input variasi nilai, dihasilkan beberapa peta kelurusan. Variasi nilai parameter (*threshold*) yang paling sesuai dipilih dalam memperkirakan fitur kelurusan yang berkaitan dan mencerminkan struktur geologi (patahan maupun rekahan). Karakteristik patahan maupun rekahan yang dijadikan bahan pertimbangan untuk menentukan nilai *threshold* diantaranya adalah panjang, kelengkungan, segmentasi, separasi, arah dan sebagainya. Nilai *threshold* yang digunakan dan dianggap paling sesuai menggambarkan struktur geologi di daerah penelitian adalah sebagai berikut:

■ **RADI** = 10, ■ **GTHR** = 60, ■ **LTHR** = 30, ■ **FTHR** = 3, ■ **ATHR** = 30, dan ■ **DTHR** = 20.

#### 2.4. Verifikasi Hasil

Kelurusan yang dihasilkan melalui proses ekstraksi otomatis memungkinkan fitur-fitur yang tidak berhubungan dengan geologi atau fitur buatan (*man-made*) turut terekstrak, ataupun sebaliknya, fitur geologi maupun fitur alamiah menjadi tidak terekstrak. Hal ini disebabkan keterbatasan dari *nature* algoritma yang digunakan itu sendiri. Algoritma masih membutuhkan peningkatan matematikal dan diuji coba pada berbagai macam tipe citra, berbagai resolusi, dan berbagai tipe kondisi geologi [2]. Metode ekstraksi otomatis ini masih merupakan teknik yang sangat baik, namun pengetahuan dari ahli geologi maupun interpreter selalu dibutuhkan untuk mengevaluasi kelurusan yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa metode ekstraksi yang dilakukan komputer masih membutuhkan pengamatan (observasi) visual secara manual untuk mengeliminasi atau mereduksi fitur yang tidak berhubungan dengan kondisi geologi dan mengenali fitur buatan (*man-made*).



**Gambar 6.** Kombinasi band pada citra. (a) RGB 543. (b) RGB 764. (c) RGB 652. (d) RGB 567.

Pada penelitian ini hasil kelurusan dari ekstraksi otomatis akan diverifikasi dan dievaluasi secara visual dengan menggunakan metode kombinasi band (*band combination*). Kombinasi band Citra Landsat-8 yang digunakan adalah:

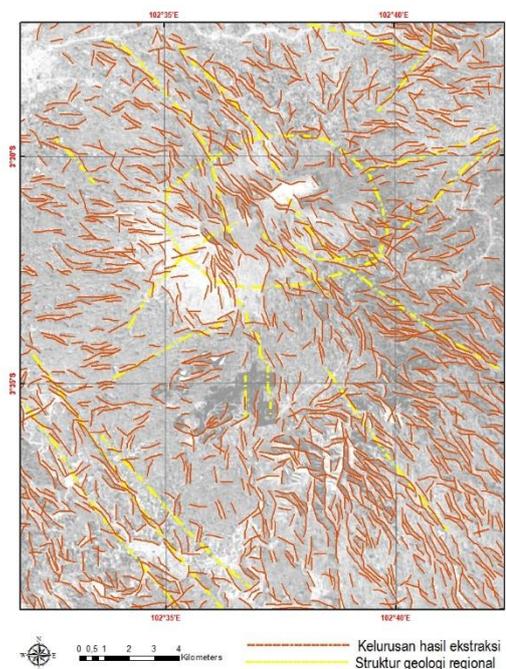
- RGB 543 – observasi vegetasi dan non-vegetasi
- RGB 764 – observasi daerah pemukiman
- RGB 652 – observasi agrikultur
- RGB 567 – observasi struktur geologi

Daerah yang ubahan (tidak alami) ditunjukkan oleh batas garis berwarna kuning pada **Gambar 6**. Kelurusan hasil ekstraksi yang berada di dalam area inilah yang perlu diamati lebih detil melalui observasi visual dan jika kelurusannya tidak berkaitan dengan kondisi geologi maka akan dieliminasi atau direduksi.

Hasil ekstraksi kelurusan dapat dikuantifikasi menjadi kerapatan kelurusan (*lineament density*). Kerapatan didefinisikan sebagai total panjang kelurusan per unit area [7]. Dalam penelitian ini digunakan ukuran unit area (*cell size*) 25 km<sup>2</sup>.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Peta kelurusan dihasilkan dengan menggunakan beberapa variasi nilai parameter. Nilai *threshold* yang digunakan dan dianggap paling sesuai menggambarkan struktur geologi di daerah penelitian telah disampaikan pada bab sebelumnya dan peta kelurusan dapat dilihat pada **Gambar 7**. Untuk menguji hasil metode ini dalam mengekstrak kelurusan, maka perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut [2]. Dalam penelitian ini hasil ekstraksi kelurusan dibandingkan dengan struktur berupa sesar (patahan) pada peta geologi regional.



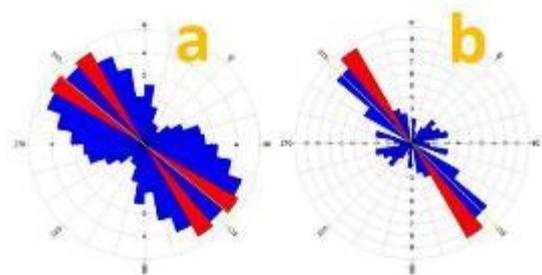
**Gambar 7.** Peta kelurusan hasil ekstraksi otomatis dan diverifikasi dengan kombinasi band di daerah penelitian.

Dari **Tabel 2**, dapat dilihat bahwa hasil ekstraksi memiliki jumlah kelurusan yang lebih banyak dibandingkan dengan jumlah kelurusan struktur pada peta geologi regional. Jumlah yang lebih banyak ini disebabkan geomorfologi daerah penelitian yang cenderung berbukit-bukit dan bertekstur kasar, yang kemungkinannya dipengaruhi oleh jenis batuan pada formasi geologi, sehingga fitur kelurusan mudah untuk dideteksi dan diekstrak oleh metode ekstraksi otomatis. Selain itu, tidak semua kelurusan yang terekstrak sudah pasti merupakan struktur geologi (patahan atau rekahan). Fitur kelurusan hanya mengindikasikan kemungkinan struktur tersebut. Sedangkan yang ditampilkan pada peta geologi regional umumnya kelurusan yang memang sudah terbukti sebagai struktur geologi ataupun terindikasi kuat sebagai struktur. Faktor paling penting yang harus diamati adalah kenyataan bahwa kelurusan-kelurusan hasil ekstraksi memiliki panjang yang cenderung lebih pendek dibandingkan dengan struktur di peta geologi regional. Kombinasi dari kelurusan-kelurusan yang pendek tersebut sebenarnya dapat membentuk suatu kelurusan yang cukup panjang sehingga dapat mengurangi jumlah kelurusan.

**Tabel 2.** Perbandingan antara kelurusan hasil ekstraksi otomatis dengan sesar (patahan) dari peta geologi regional.

Variabel	Hasil Ekstraksi	Geologi Regional
Jumlah kelurusan	3570	95
Panjang Maks. (km)	1.2	4.3
Panjang Min. (km)	0.03	0.3
Panjang Total (km)	1042.4	143.4
Panjang Rata <sup>2</sup> (km)	1.2	1.5

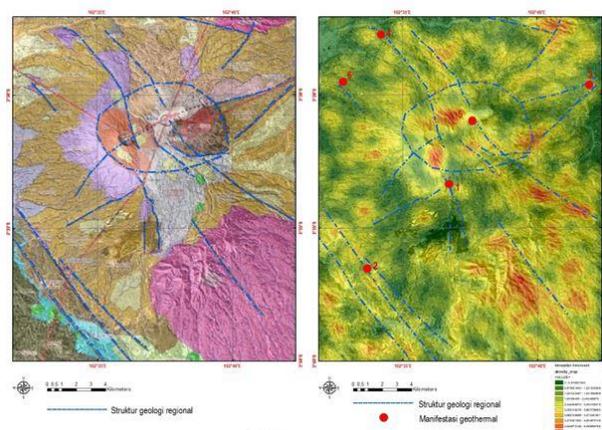
Arah atau orientasi dari kelurusan ditunjukkan melalui diagram rose pada **Gambar 8**. Arah utama dari kelurusan hasil ekstraksi yang berkembang di daerah penelitian adalah sesuai dengan pola struktur geologi utama pada peta geologi regional. Dominan berarah barat laut-tenggara, seperti arah Sesar Besar Sumatera. Maka dominan fitur kelurusan tersebut memang terkait dengan keberadaan struktur geologi berupa sesar (patahan) dan sesar-sesar tersebut berhubungan



**Gambar 8.** Diagram Rose (a) Hasil ekstraksi kelurusan, (b) Struktur geologi pada peta geologi regional.

dengan kemunculan manifestasi geothermal di daerah penelitian.

Hasil perhitungan kerapatan kelurusan di daerah penelitian menunjukkan bahwa keberadaan manifestasi geothermal yang berasosiasi dengan struktur geologi tidak berada di daerah dengan kerapatan yang tinggi, namun berada di daerah kerapatan sedang (**Gambar 9**). Daerah dengan kerapatan kelurusan tinggi berada di daerah yang memiliki morfologi kasar. Hal ini memberikan gambaran bahwa nilai kerapatan kelurusan lebih cenderung dipengaruhi oleh faktor morfologi. Faktor morfologi ini dipengaruhi oleh jenis batuan pada formasi geologi dan tingkat erosional yang berkaitan dengan umur formasi tersebut. Di daerah penelitian, kerapatan tinggi berada di formasi-formasi yang memiliki komposisi batuan dominan lava dibanding piroklastik. Selain itu, kerapatan tinggi pun berada di formasi yang berumur cenderung lebih tua, seperti contohnya Formasi Malintang dan Danaumas (kuarter awal). Hal ini memang merupakan ciri morfologi umum pada daerah vulkanik, dimana batuan yang berumur tua akan cenderung lebih kasar teksturnya karena telah mengalami proses erosional lebih lanjut dibanding batuan vulkanik yang berumur muda.



**Gambar 9.** Perbandingan peta kerapatan kelurusan dan lokasi manifestasi geothermal dengan peta geologi regional.

#### 4. Simpulan

Dalam paper ini telah diaplikasikan teknologi *remote sensing* dalam memetakan kelurusan yang berkaitan dengan struktur geologi dan mengamati hubungannya dengan keberadaan manifestasi geothermal di daerah Kepahiang, Bengkulu. Metode ekstraksi kelurusan menggunakan ekstraksi otomatis (digital) dari Citra Landsat-8 dengan terlebih dahulu dilakukan peningkatan kualitas citra (*image enhancement*) melalui teknik *Gram-schmidt (GS) Pan-sharpening* dan *PCA (Principal Component Analysis)*,

terbukti dapat membantu dalam mendeteksi fitur kelurusan dengan baik. Evaluasi dan kontrol hasil ekstraksi tetap harus dilakukan melalui observasi visual secara manual, untuk meningkatkan validitas hasil ekstraksi. Hasil ekstraksi kelurusan di daerah penelitian menunjukkan bahwa arah utama kelurusan berarah barat laut-tenggara dan sesuai dengan pola struktur pada peta geologi regional, serta berkaitan dengan keberadaan manifestasi geothermal. Namun dari hasil pengamatan kerapatan kelurusan, tidak diperoleh korelasi langsung antara daerah yang memiliki kerapatan kelurusan tinggi dengan keberadaan manifestasi permukaan. Kerapatan kelurusan cenderung dipengaruhi oleh faktor morfologi yang berkaitan dengan jenis batuan dalam formasi geologi serta umumnya yang berpengaruh dari segi tingkat erosional.

## 5. Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada Pusat Sumber Daya Geologi (PSDG) dan USGS untuk penyediaan data penelitian, serta ketua kekhususan dan staf pengajar magister fisika eksplorasi geothermal Universitas Indonesia atas segala bantuannya.

## 6. Daftar Acuan

- [1] A. A. Madani. Selection of the Optimum Landsat Thematic Mapper Bands for Automatic Lineament Extraction, Wadi Natash Area, South Eastern Desert, Egypt. The 22<sup>nd</sup> Asian Conf. on Remote Sensing. (2001).
- [2] A. Abdullah, S. Nassr, and A. Ghaleeb. Landsat ETM-7 for Lineament Mapping using Automatic Extraction Technique in the SW part of Taiz area, Yemen. *Globa J. Hum. Soc. Sci. Geogr. Geo-Science, Environ. Disaster Manag* (2013), vol. 13, no. 3, pp. 35–38.
- [3] A. D. Prasad, K. Jain, and A. Gairola. Mapping of Lineaments and Knowledge Base Preparation using Geomatics Techniques for part of the Godavari and Tapi Basins , India : A Case Study, *Int. J. Comput. Appl* (2013), vol. 70, no. 9, pp. 39–47.
- [4] D. Kusnadi, M. Nurhadi, Suparman. *Penyelidikan Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Kabupaten Kepahiang, Bengkulu*. Pusat Sumber Daya Geologi. Bandung (2014).
- [5] M. Sukumar, N. Venkatesan, C. N. K. Babu, A Review of Various Lineament Detection Techniques for high resolution Satellite Images. *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw.* (2014), vol. 4, no. 3, pp. 72–78.
- [6] Pusat Sumber Daya Geologi. Wilayah Kerja Panas Bumi Kepahiang cadangan Terduga 180 MW. *Jurnal Kementerian ESDM Sekjen Energi Baru Terbarukan dan Konversi energi*. Jakarta (2015).
- [7] S. Soengkono. Assessment of Faults and Fractures At the Mokai Geothermal Field , Taupo Volcanic Zone , New Zealand. *Proc. World Geotherm. Congr.* (2000), vol. 1937, pp. 1771–1776.
- [8] Yuhendra, H. Kuze, and J. T. Sumantyo. Performance Analyzing of High Resolution Pan-sharpening Techniques: Increasing Image Quality for Classification using Supervised Kernel Support Vector Machine, *Res. J. Inf. Technol* (2011), vol. 3, pp. 12–23.
- [9] S. Iswahyudi, A. Saepuloh, A. Widagdo. Delineating Outflow Zones Using Linear Features Density (LFD) Derived From Landsat Imagery at Paguyangan, Brebes, Central Java. *Proceedings, 3rd International ITB Geothermal Workshop* (2014).
- [10] [https://id.wikipedia.org/wiki/Analisis\\_komponen\\_utama](https://id.wikipedia.org/wiki/Analisis_komponen_utama)

