Integrasi Data Geologi dan Teknologi untuk Kemandirian Energi dan Air di Iklim Tropis Indonesia

Program PPMI FITB ITB 2026 No. 2235/IT1.B07.1/TA.00/2026

KK Petrologi, Vulkanologi dan Geokimia
Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung

Baseline Geokimia REE dan pH Sedimen Lahan Bekas Tambang Timah di Pulau Bangka (Indonesia)

Asep Saepuloh (Peneliti Utama) , Ainun Mardiyah, Very Susanto,
Nurcahyo Indro Basuki

Abstrak

Pemetaan spektral penting untuk memetakan lahan bekas tambang secara luas, cepat, dan efisien. Namun, interpretasi respons spektral memerlukan data dasar (*baseline*) dan validasi lapangan (*ground truth*) berupa data geokimia, sedangkan data logam tanah jarang (LTJ) di lahan bekas tambang timah Bangka–Belitung masih terbatas. Penelitian ini menyajikan data dasar tersebut: 20 sampel sedimen yang dianalisis dengan ICP-MS setelah digesti HF–$HClO_4$–HNO_3 dan dipasangkan dengan pH. Total LTJ (ΣREE) berkisar 16–246 mg/kg (rata-rata 105 mg/kg) dan didominasi LTJ ringan (HREE/LREE 0,06–0,19). pH tidak berkorelasi dengan ΣREE, sehingga kontrol utamanya kemungkinan mineralogi sumber; anomali Ce positif hanya muncul pada sampel ber-pH mendekati netral, dua di antaranya kaya Fe. Hasil ini menjadi *ground truth* awal bagi pemetaan spektral dan basis verifikasi lanjutan.

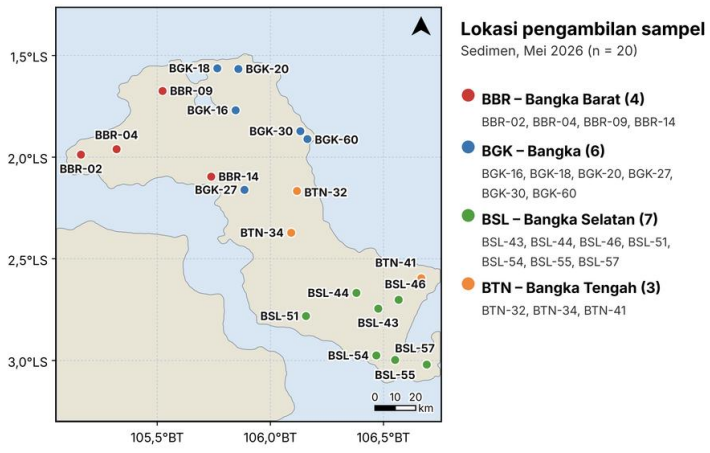
Kata kunci: logam tanah jarang; lahan bekas tambang; pH; ICP-MS; Bangka–Belitung

Pendahuluan

Transisi energi global bergantung pada logam kritis, termasuk logam tanah jarang (LTJ/REE) yang, antara lain, digunakan sebagai bahan magnet pada turbin angin dan kendaraan listrik, sehingga Indonesia memerlukan data sumber daya sendiri untuk kemandirian energi. Data geokimia LTJ di lahan bekas tambang timah Bangka-Belitung masih terbatas, padahal dibutuhkan untuk perencanaan pemanfaatan lahan dan pemetaan spektral (*remote sensing*), dengan ICP-MS sebagai *ground truth* (validasi kimiawi) bagi interpretasi respons spektral.

Penelitian ini bertujuan menyajikan konsentrasi LTJ dan pH sedimen di empat kelompok lokasi sebagai data dasar (*baseline*) serta mengevaluasi hubungan pH dengan konsentrasi dan perilaku LTJ.

Lokasi dan Pengambilan Sampel





Gambar 1. Lokasi dan pengambilan sampel (Mei 2026).

Metode Penelitian

1. Pengambilan sampel
20 sampel sedimen (dari ±100 sampel), Mei 2026; deskripsi litologi

2. Pengukuran pH
pH meter pada sedimen permukaan

3. Digesti
0,5 g sampel dalam 50 mL HF–$HClO_4$–HNO_3

4. Analisis ICP-MS
Hasil dalam mg/kg. Kontrol mutu: duplikat (RPD REE 0,2–5%) dan material acuan bersertifikat.

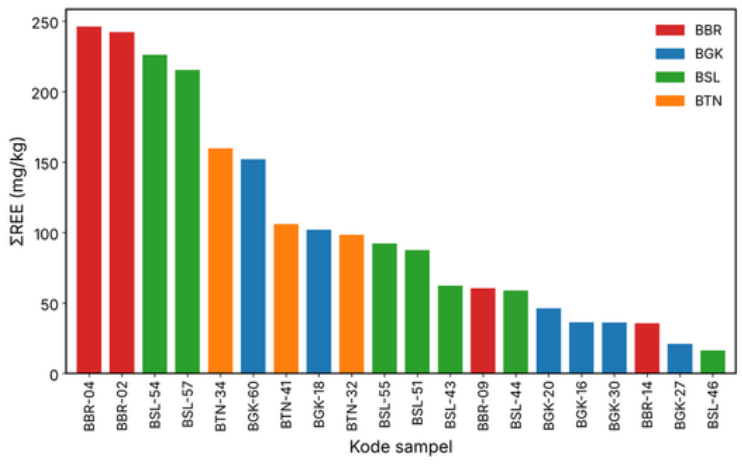
5. Pengolahan data
Normalisasi PAAS · rasio HREE/LREE · korelasi dengan pH

Kelompok lokasi: Bangka Barat (BBR), Bangka (BGK), Bangka Selatan (BSL), dan Bangka Tengah (BTN). BGK-60 adalah batuan granodiorit tanpa data pH, sehingga korelasi pH memakai 19 sampel.

Hasil dan Pembahasan

Lokasi (kode)	n	Rata-rata ΣREE (mg/kg)
Bangka Barat (BBR)	4	146
Bangka Tengah (BTN)	3	121
Bangka Selatan (BSL)	7	108
Bangka (BGK)	6	66

Konsentrasi ΣREE berkisar antara 16 hingga 246 mg/kg, dengan rata-rata 105 mg/kg dan median 90 mg/kg, setara atau di bawah nilai kerak atas (Gambar 2). Konsentrasi tertinggi ditemukan pada sampel BBR-04 sebesar 246 mg/kg, BBR-02 sebesar 242 mg/kg, BSL-54 sebesar 226 mg/kg, dan BSL-57 sebesar 215 mg/kg. Rata-rata ΣREE per lokasi secara berurutan adalah Bangka Barat 146 mg/kg, Bangka Tengah 121 mg/kg, Bangka Selatan 108 mg/kg, dan Bangka 66 mg/kg, seperti tercantum pada Tabel 1.



Gambar 2. Total konsentrasi REE (ΣREE, mg/kg) pada 20 sampel.

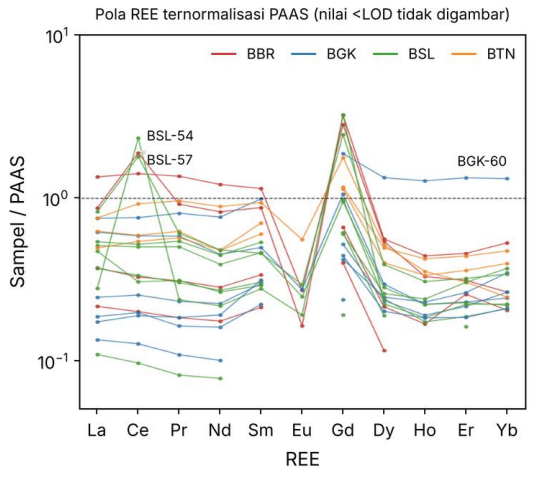
Pola ternormalisasi PAAS didominasi oleh LTJ ringan, dengan rasio HREE/LREE berkisar antara 0,06 hingga 0,19 (Gambar 3). Sebagian besar sampel berada di bawah PAAS sekitar 0,1 hingga 1 kali. Keempat kelompok lokasi memiliki bentuk pola yang sama, hanya berbeda pada tingkat konsentrasinya

Kesimpulan

Sebagian besar sampel memiliki konsentrasi LTJ di bawah nilai kerak atas, dengan pengayaan pada beberapa sampel, dan pH tidak menjelaskan variasi LTJ; mineralogi sumber menjadi fokus. Anomali Ce pada sampel kaya Fe ber-pH netral masih hipotesis.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Program PPMI FITB, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung, melalui Skema No. 2235/IT1.B07.1/TA.00/2026.



Gambar 3. Pola REE ternormalisasi PAAS (Taylor & McLennan, 1985).

pH sedimen berkisar antara 4,3 hingga 6,9, dengan Bangka Tengah paling asam dan Bangka Barat paling tinggi. pH tidak berkorelasi dengan ΣREE (ρ ≈ 0,08) maupun rasio HREE/LREE (ρ ≈ 0,06), sehingga variasi LTJ kemungkinan dikendalikan oleh mineralogi sumber, bukan oleh pH. Anomali Ce positif hanya ditemukan pada sampel BSL-54, BSL-57, dan BBR-04 yang memiliki pH 5,95 hingga 6,89, dua di antaranya kaya Fe, dan tidak ditemukan pada sampel dengan pH di bawah 5 (Gambar 4). Pola ini sesuai dengan penahanan Ce(IV) pada oksida Fe, namun masih bersifat hipotesis karena hanya didukung oleh tiga sampel sehingga memerlukan lebih banyak sampel untuk dikonfirmasi.

Gambar 4. Anomali Ce (Ce/Ce*) terhadap pH sedimen permukaan; warna = log10 Fe (g/kg).

Luaran

1. *Anthropogenic Gadolinium in the Yodo River System and Tap Water in Japan: Occurrence, Speciation, and Environmental Fate* **(Status: *Revision*).**

2. *Rare Earth Element Uptake and Translocation in Plants Growing on Former Tin-Mining Sediments, Bangka–Belitung Indonesia* **(Status: *Draft*).**

Integrasi Data Geologi dan Teknologi untuk Kemandirian Energi dan Air di Iklim Tropis Indonesia

Program PPMI FITB ITB 2026 No. 2235/IT1.B07.1/TA.00/2026

KK Petrologi, Vulkanologi dan Geokimia
Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bndung

Deteksi Rembesan Hidrokarbon Menggunakan Gabungan Citra Multi-Sensor di Cekungan Jawa Barat Utara

Asep Saepuloh (Peneliti Utama), Dani Mardiati, Very Susanto, Nurcahyo Indro Basuki

Abstrak

Rembesan hidrokarbon menjadi petunjuk adanya sistem minyak dan gas bumi yang masih aktif. Namun, di lahan pertanian tropis jejaknya di permukaan sulit dikenali karena tersamarkan oleh pola tanam, irigasi, genangan, dan tutupan awan. Penelitian ini mengembangkan metode deteksi rembesan dengan memadukan citra Sentinel-2 dan Landsat 8. Metode dikalibrasi di rembesan Tukdana dan diuji di lapangan pada 30 titik target. Hasilnya, ketiga rembesan yang diketahui berada di dalam ±1% wilayah dengan peringkat tertinggi (AUC *success-rate* 0,996), lebih baik dibandingkan bila hanya memakai satu sensor. Metode ini dapat menjadi alat penyaring awal yang murah untuk eksplorasi migas.

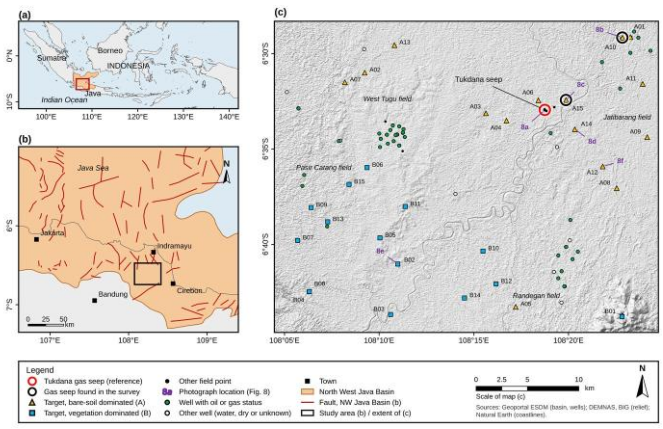
Kata kunci: rembesan hidrokarbon; penginderaan jauh multi-sensor; stres vegetasi; alterasi lempung; *fuzzy gamma*; validasi lapangan; Cekungan Jawa Barat Utara.

Pendahuluan

Hidrokarbon yang merembes ke permukaan mengubah sifat tanah, antara lain membentuk mineral lempung, dan membuat tanaman di atasnya mengalami stres. Di daerah persawahan yang kondisinya cepat berubah, gejala ini kerap luput jika hanya diamati dengan satu jenis citra satelit.

Karena itu, penelitian ini menguji apakah gabungan dua sensor satelit mampu menunjukkan lokasi rembesan dengan lebih tepat. Indikator yang dipakai dipilih lebih dulu melalui uji buta di rembesan yang sudah diketahui keberadaannya.

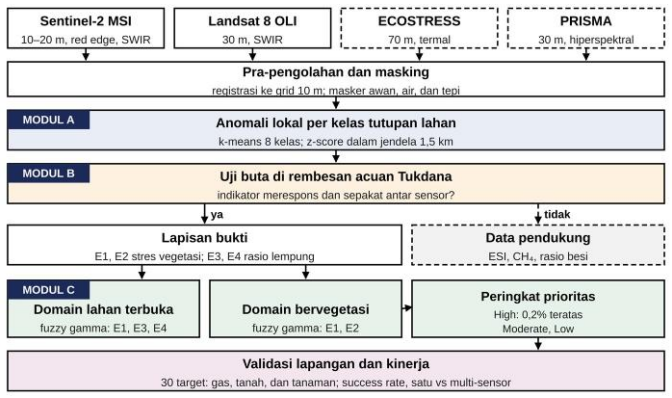
Daerah Penelitian dan Data



Gambar 1. Daerah penelitian Indramayu–Majalengka (±1.100 km²) beserta titik target lapangan, rembesan gas, dan sumur migas.

- **Data utama:** citra Sentinel-2 MSI dan Landsat 8 OLI.
- **Data pendukung:** ECOSTRESS (termal) dan PRISMA (hiperspektral), perekaman April 2026.
- **Rembesan acuan:** Tukdana (TK-04).
- **Survei lapangan:** 25–29 September 2026 pada 30 titik target (15 di lahan terbuka dan 15 di lahan bervegetasi). Parameter yang diukur: gas hidrokarbon, pH dan kelembapan tanah, serta klorofil daun.

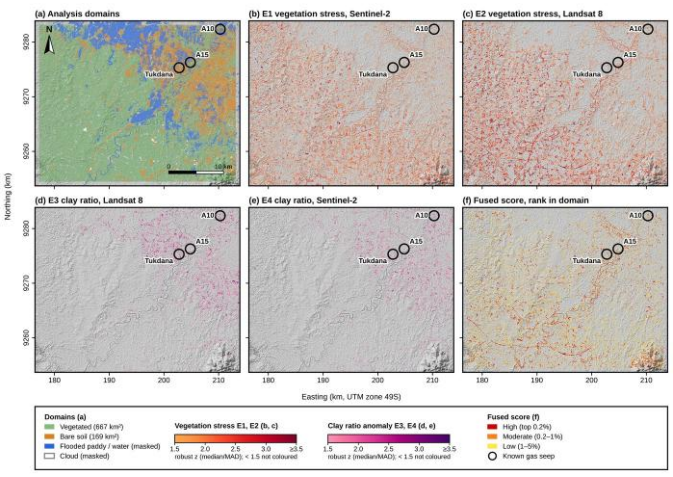
Metode Penelitian



Gambar 2. Tahapan pengolahan data dalam metode multi-sensor.

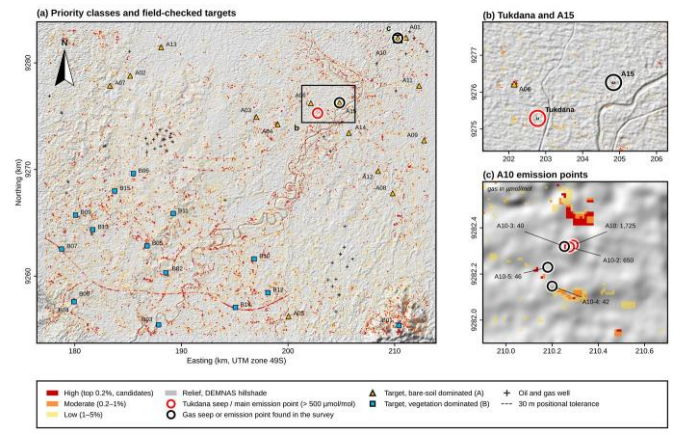
- **Modul A:** nilai setiap piksel dibandingkan dengan piksel lain yang tutupan lahannya sama dalam radius 1,5 km, lalu dinyatakan sebagai *z-score*.
- **Modul B:** indikator dipakai hanya jika merespons di Tukdana dan selaras pada kedua sensor. Rasio lempung lolos (r = 0,45), rasio besi tidak (r = 0,26).
- **Modul C:** indikator terpilih digabungkan dengan *fuzzy gamma* (γ = 0,8) secara terpisah untuk lahan terbuka dan bervegetasi. Kelas High adalah 0,2% piksel tertinggi.

Hasil dan Pembahasan



Gambar 3. Domain analisis, lapisan bukti E1–E4, dan skor gabungan di atas relief DEMNAS.

Rasio lempung paling kuat menandai rembesan (0,31–0,65% piksel teratas). Stres vegetasi konsisten pada kedua sensor, tetapi sinyalnya lebih lemah. CH_4 PRISMA dan ESI ECOSTRESS tidak merespons di lokasi rembesan sehingga hanya dipakai sebagai data pendukung.



Gambar 4. Kelas prioritas di atas relief DEMNAS, titik target, dan rembesan gas; (b, c) detail sekitar rembesan.



Gambar 5. Kondisi lapangan: (a) Tukdana, (b) A10, (c) A15, serta (d–f) anomali yang tidak disertai gas.

- Kelas High hanya mencakup 1,67 km² (0,2% luas lahan), dan 92% di antaranya didukung oleh minimal dua lapisan bukti.
- Gas ditemukan di A10 dan A15 dengan konsentrasi hingga 1.725 µmol/mol, tersebar di 7 titik emisi pada 3 rembesan.
- Sebagian anomali lain ternyata berasal dari pabrik, perumahan, jalan tol, dan sawah yang tergenang.

Tabel 1. Peringkat rembesan (% teratas) dan nilai AUC *success-rate* untuk setiap model.

Model	TK	A15	A10	AUC
Gabungan	**0,10**	**0,018**	**1,04**	**0,996**
Landsat 8 saja	0,20	0,74	1,63	0,991
Sentinel-2 saja	0,32	0,080	4,94	0,982
Vegetasi saja	6,14	0,95	21,5	0,905

Kesimpulan

- Jejak rembesan di permukaan bergantung pada kondisi lahan, yaitu berupa alterasi lempung di lahan terbuka dan stres tanaman di lahan bervegetasi.
- Penggabungan Sentinel-2 dan Landsat 8 menghasilkan peringkat rembesan yang lebih tepat dibandingkan penggunaan satu sensor.
- Seluruh rembesan yang diketahui berada di dalam ±1% wilayah yang dianalisis.

Hasil Kegiatan

- Peta prioritas rembesan hidrokarbon beresolusi 10 m seluas ±1.100 km² di bagian darat Cekungan Jawa Barat Utara.
- Survei lapangan pada 30 titik target berhasil mengonfirmasi 3 rembesan dengan 7 titik emisi gas.

Luaran

- Artikel jurnal: *A Multi-Sensor Geospatial Framework for Hydrocarbon Seepage Detection in Tropical Agricultural Landscapes Using Sentinel-2, Landsat 8, ECOSTRESS and PRISMA* (draf untuk jurnal *Geo-Spatial Information Science*, Q1).
- Basis data GIS berisi peta prioritas dan hasil pengukuran lapangan.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Program PPMI FITB, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung, melalui Skema No. 2235/IT1.B07.1/TA.00/2026.