

# Pengaplikasian Metode Penginderaan jauh dan Pendekatan Geologi Sederhana dalam Kajian Masalah Penurunan Tanah di Wilayah Pesisir Semarang dan Demak: Studi Komparasi antara Asumsi Umum dan Alternatif

Sinatrya Diko Prayudi<sup>1,2,\*</sup>, Hayat Safi'i<sup>1,2</sup>, Najib<sup>1</sup>

Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro<sup>1</sup>, North East Java Research Section, Universitas Diponegoro<sup>2</sup>, Penulis Korespondensi \*  
geologi@ft.undip.ac.id<sup>1</sup>, nejrs@gmail.com<sup>2</sup>, sinatrya.diko@gmail.com \*

**Abstract**— The land subsidence occurring in the coastal of Semarang City and Demak Regency is one of the geological disaster issues that is quite interesting to discuss. With the subsidence rate ranging from 10 cm/year and the proof on the surface can be observed through the naked-eye, causing the local government to look at this problem seriously enough to know the main problems. Referring to some research, a strong suspicion arises as an influencing factor, namely over-exploitation of groundwater that high enough to overdo the coastal area which causes the aquifer to be depleted underneath and triggers aquifer compaction, making the layer become unstable and triggers land subsidence at surface. The assumptions made in Semarang City are not in line with what happened in the coastal area of Demak Regency, because the area does not over-exploited, but its territory now submerged by seawater. In research carried-out using a methodology that includes literature study, analysis of remote sensing imagery data, and regional geological approaches. Several literature studies found indicate that there are other factors that trigger land subsidence with addition to groundwater problem, namely the existence of subsurface geological structures where the appearance on surface is not visible, with intersecting directions. The distribution of areas subject to the structure based on results of the remote sensing analysis includes areas where intensive land subsidence occurred on one side and areas not affected on the other. The movement of these subsurface structures is thought to trigger an increase or decrease in subsurface rock blocks and cause quaternary alluvium deposits above become unstable based on the geological approach. Some of these conditions triggered the emergence of new assumptions besides factors from groundwater extraction in the study area.

**Index Terms**—land subsidence, Semarang City, Demak Regency, remote sensing, geological approach, alternative assumptions

## I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan satu dari sekian banyak wilayah di Bumi yang memiliki karakteristik yang unik, terutama dalam kondisi geologinya. Kondisi yang dimaksudkan dalam hal ini berupa variasi jenis batuan yang ada di permukaan, karakteristik topografi, hingga potensi bencana geologi yang muncul. Setiap sudut wilayah Indonesia, baik di kota besar maupun pulau terpisah memiliki riwayat bencana sendiri. Ragam bencana yang mengancam meliputi gempa bumi, tsunami, gunung Meletus, banjir,

tanah longsor, angin puting beliung, hingga kebakaran. Secara umum, bencana tersebut menyebabkan korban, baik harta maupun jiwa. Berdasarkan data [1] diketahui bahwa telah terjadi kasus yang menyebabkan kerusakan dan kematian berjumlah banyak pada tahun 2018 lalu.

Dalam mengkaji permasalahan bencana alam di Indonesia, terdapat satu jenis proses alam yang dapat dikategorikan dalam bencana alam, yaitu penurunan tanah atau biasa disebut *subsidence*. Bencana ini didefinisikan sebagai suatu mekanisme pergerakan vertikal bertahap yang

terjadi di permukaan bumi akibat pergerakan material di bawah permukaan bumi [2]. Proses yang terjadi dapat dipicu secara alami seperti akibat pemadatan sedimen, tektonik, atau proses isostasi [3] maupun adanya peran manusia seperti akibat ekstraksi fluida bawah permukaan atau penambahan beban di permukaan [4].

Secara umum, wilayah pesisir merupakan daerah yang sangat rawan terjadi *land subsidence*, terlebih jika wilayah tersebut merupakan daerah perkotaan pada penduduk. Wilayah di sepanjang pesisir utara Pulau Jawa memiliki riwayat buruk terkait *land subsidence*, dimana beberapa kota besar yang berada pada jalur tersebut sudah mengalami seperti Jakarta, Semarang, Pekalongan, dan Surabaya [5]. Masing-masing wilayah memiliki intensitas penurunan yang nilainya variatif, mulai dari nilai terendah 1 cm/tahun hingga 28 cm/tahun.

Permasalahan terkait *land subsidence* pada beberapa wilayah tersebut memiliki kesamaan pada aspek pemicunya, yaitu adanya eksploitasi air tanah yang berlebihan. Kombinasi kondisi hidorogeologi serta karakteristik batuan memicu tingginya intensitas penurunan tanah. Akan tetapi, terdapat sebuah kondisi menarik di mana wilayah pesisir Kabupaten Demak yang berdekatan dengan Kota Semarang mengalami penurunan tanah dengan nilai 0,06 m/tahun hingga 1,15 m/tahun [6]. Nilai tersebut secara signifikan lebih tinggi dibandingkan daerah Kota Semarang, serta wilayah tersebut memiliki kecenderungan penurunan tanah dengan probabilitas kecil dipicu oleh aktivitas ekstraksi air tanah yang tinggi.

Penelitian yang dilakukan berfokus untuk memahami proses penurunan tanah yang terjadi pada dua wilayah yang berdekatan (Kota Semarang dan Kabupaten Demak) yang diduga memiliki aspek khusus yang memicu terjadi *land subsidence*. Dengan menggunakan metode penginderaan jauh dari data citra satelit maupun referensi lainnya, perubahan kondisi permukaan ditunjukkan dari pengambilan data lampau hingga kondisi terkini. Kajian literatur digunakan untuk memahami riwayat dari bencana *land subsidence* pada kedua wilayah serta mencari dugaan faktor lain yang kemungkinan menyebabkan perbedaan mendasar. Tinjauan lapangan, dokumentasi serta integrasi beragam data geospasial ditambahkan sebagai penguat perspektif terkait proses penurunan tanah yang terjadi serta terekam pada saat ini.

## II. METODOLOGI

Penelitian yang mengambil wilayah studi di pesisir Kota Semarang dan Demak terkait kajian perspektif lain mengenai penurunan tanah menggunakan dua metode penelitian: pendekatan inderaja (*remote sensing*) dan pendekatan geologi baik dari kajian literatur maupun survei tinjau lapangan. Analisis data penginderaan jauh yang dilakukan menggunakan tiga basis data: data pertama berasal dari data spasial Google Timelapse atau Google Earth Pro; data kedua dari Landsat 8 OLI/TIRS yang diolah menggunakan ArcGIS 10.3 dan ENVI; dan data ketiga dari data *Digital Elevation Model* (DEM) SRTM 49S. Data spasial yang berupa *timelapse* dalam hal ini dikhususkan untuk mengetahui pola perubahan daerah yang terdampak, mulai dari sebelum hingga kondisi terkini. Data Landsat 8 yang diolah bertujuan untuk mengetahui besar luasan wilayah yang terdampak penurunan tanah, dalam hal ini yang telah terpengaruh air laut pada wilayahnya.

Data Landsat 8 yang digunakan lebih lanjut diolah dengan menggunakan metode analisis spectral *Normalize Difference Water Index* (NDWI). Kalkulasi dari NDWI sendiri melibatkan jenis kanal yang memiliki reflektansi tinggi terhadap air, yaitu 3 dan 5 [7]. Rumusan perhitungan NDWI dapat dijabarkan sesuai pada Persamaan 1 berikut ini.

$$NDWI = \frac{Band\ 3\ (Green) - Band\ 5\ (NIR)}{Band\ 3\ (Green) + Band\ 5\ (NIR)} \quad (1)$$

Pendekatan geologi sederhana yang menggunakan data studi literatur digunakan untuk memahami aspek penyebab dari penurunan tanah yang telah diketahui, serta korelasi distribusi keterdapatan titik yang terdampak penurunan tanah. Korelasi tersebut memberikan gambaran dan asumsi terkait penyebab bencana serta dasar untuk mengkaji lebih mendalam. Dengan menggunakan komparasi penelitian terkait asumsi umum dan alternatif penyebab penurunan tanah di Semarang dan Demak, secara sederhana dapat ditunjukkan adanya dugaan lain yang berpengaruh dalam penurunan tanah yang terjadi pada wilayah fokus penelitian.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Analisis Perubahan Daerah Terdampak Penurunan Tanah dengan Timelapse

Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya, penggunaan data *timelapse* bertujuan untuk

memahami perubahan kenampakan dari wilayah telitian dalam rentang waktu tertentu. Perubahan yang diambil pada rentang 10 tahunan dengan titik awal tahun 1988 hingga terbaru pada 2018. Untuk kenampakan pola perubahan berdasarkan *timelapse* dapat dilihat pada Gambar 1.

Melalui gambar tersebut, diketahui bahwa semakin bertambahnya waktu paruh yang muncul, wilayah yang tertutup tubuh air semakin banyak. Distribusi wilayah laut pada tahun 1988 secara bertahap mengalami perluasan hingga tampilan akhir tahun 2018.

#### B. Perbandingan Luasan Terdampak dengan NDWI

Data citra Landsat 8 yang digunakan berasal dari akuisisi pada tanggal 5 Mei 2018 dibandingkan dengan akuisisi tanggal 17 September 2019. Terkait dengan tahap identifikasi wilayah yang terdampak proses penurunan tanah adalah melalui olah data yang menghasilkan distribusi wilayah yang terendam air laut. Dengan menggunakan mekanisme *Normalize Difference Water Index* (NDWI), daerah dengan nilai  $> 0$  dianggap sebagai tubuh air yang menutupi suatu permukaan bumi. Pengolahan hasil NDWI terkait dengan luasan wilayah terdampak penurunan tanah melalui kenampakan spektral didapatkan nilai: pada data tahun 2018 luasan tubuh air pada daerah target telitian sebesar 98 km<sup>2</sup> sedangkan tahun 2019 sebesar 122 km<sup>2</sup>. Perbandingan nilai tersebut memberikan indikasi adanya perluasan wilayah

daratan yang tertutup tubuh air atau diselimuti air permukaan dalam rentang satu tahun (Gambar 2 A dan B).

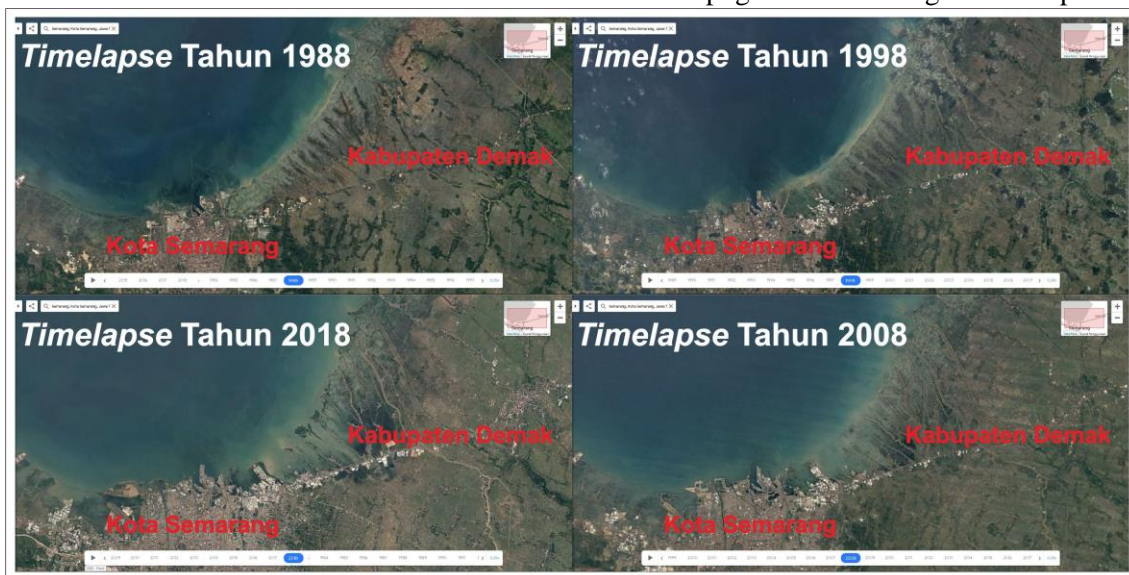
#### C. Distribusi Titik Lokasi Terdampak Penurunan Tanah melalui Survei Tinjau

Tahap survei tinjau lapangan yang dilakukan berfokus untuk mengetahui distribusi daerah yang terdampak penurunan tanah. Survei yang dilakukan difungsikan untuk memperbaiki atau menambahkan sebaran titik lokasi yang terdampak penurunan tanah pada lokasi fokus penelitian. Hasil survei didapatkan sebanyak 29 titik lokasi yang persebarannya dapat dilihat pada Gambar 3A.

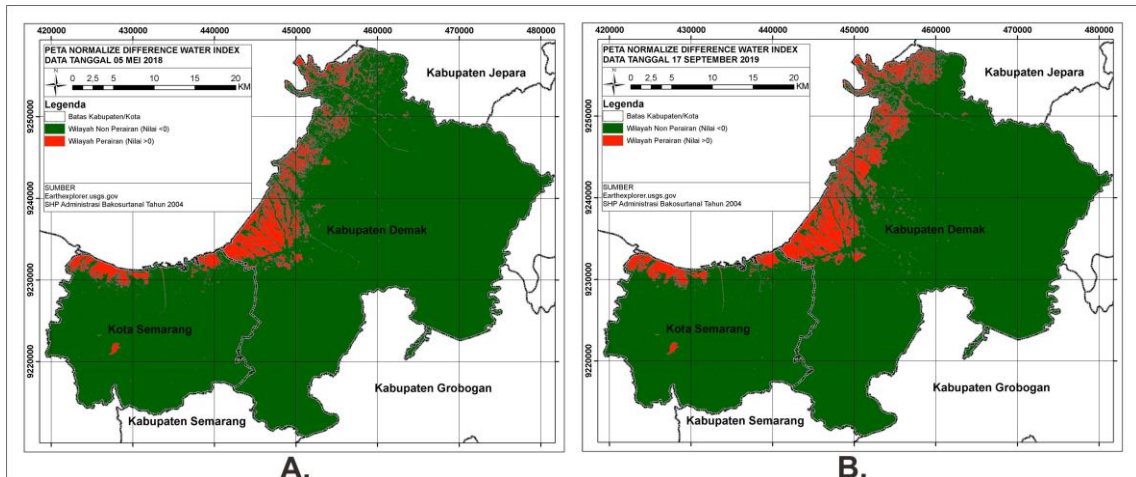
#### D. Korelasi Kondisi Geologi Regional dengan Titik Lokasi Terdampak

Kondisi geologi regional yang ditinjau pada bagian ini mengacu pada komponen geologi yang terkandung dalam wilayah telitian. Komponen yang dimaksud meliputi aspek stratigrafi, morfologi, dan struktural geologi, khususnya pada wilayah pesisir yang menjadi target utama wilayah terdampak penurunan tanah. Berikut adalah penjabaran masing – masing aspeknya:

- Distribusi titik lokasi ditemukannya objek bangunan ataupun infrastruktur yang terdampak penurunan tanah umumnya berada pada formasi batuan aluvium kuarter atau Qa pada Gambar 3B [8][9].
- Topografi daerah dengan keterdapatn titik



Gambar 1. Kenampakan perubahan kondisi wilayah pesisir Kota Semarang dan Kabupaten Demak dengan menggunakan *Google Earth Timelapse*



Gambar 2. Perbandingan tampilan distribusi daerah yang tertutupi tubuh air permukaan pada pengolahan NDWI tahun 2018 (A) dan tahun 2019 (B)

yang terdampak berada pada jenis morfologi yang cenderung datar (persen derajat keterengan 0 – 8°) seperti pada Gambar 3C.

- Kenampakan morfologi melalui tampilan *hillshade* tidak menunjukkan adanya indikasi struktur geologi permukaan seperti tergambar pada Gambar 3D.
- Persebaran titik yang terdampak sebagian berada pada zona wilayah tubuh air yang mengalami perluasan, dalam hal ini perluasan diakibatkan intrusi air laut maupun rob (Gambar 3E).
- Pada titik lokasi yang terdampak penurunan tanah umumnya berupa bangunan rumah yang terlihat lebih rendah daripada daerah sekitarnya atau terendam air laut di sekelilingnya (Gambar 3F dan 3G).

#### E. Asumsi Umum dan Alternatif Terkait Penurunan Tanah di Semarang - Demak

Penelitian terdahulu yang mengkaji proses penurunan tanah di wilayah pesisir Semarang dan Demak [5][10][11] secara umum disebabkan oleh pengaruh dari ekstraksi air tanah yang berlebihan, terutama pada akuifer yang kedalamannya menengah hingga dalam. Umumnya, pihak perusahaan maupun masyarakat yang mengambil secara berlebihan air tanah tersebut dalam proporsi yang melebihi batas. Ekstraksi tersebut lebih lanjut memicu penurunan muka air tanah serta menyebabkan ketidakstabilan material batuan penyusun yang berupa aluvium sehingga menyebabkan penurunan tanah.

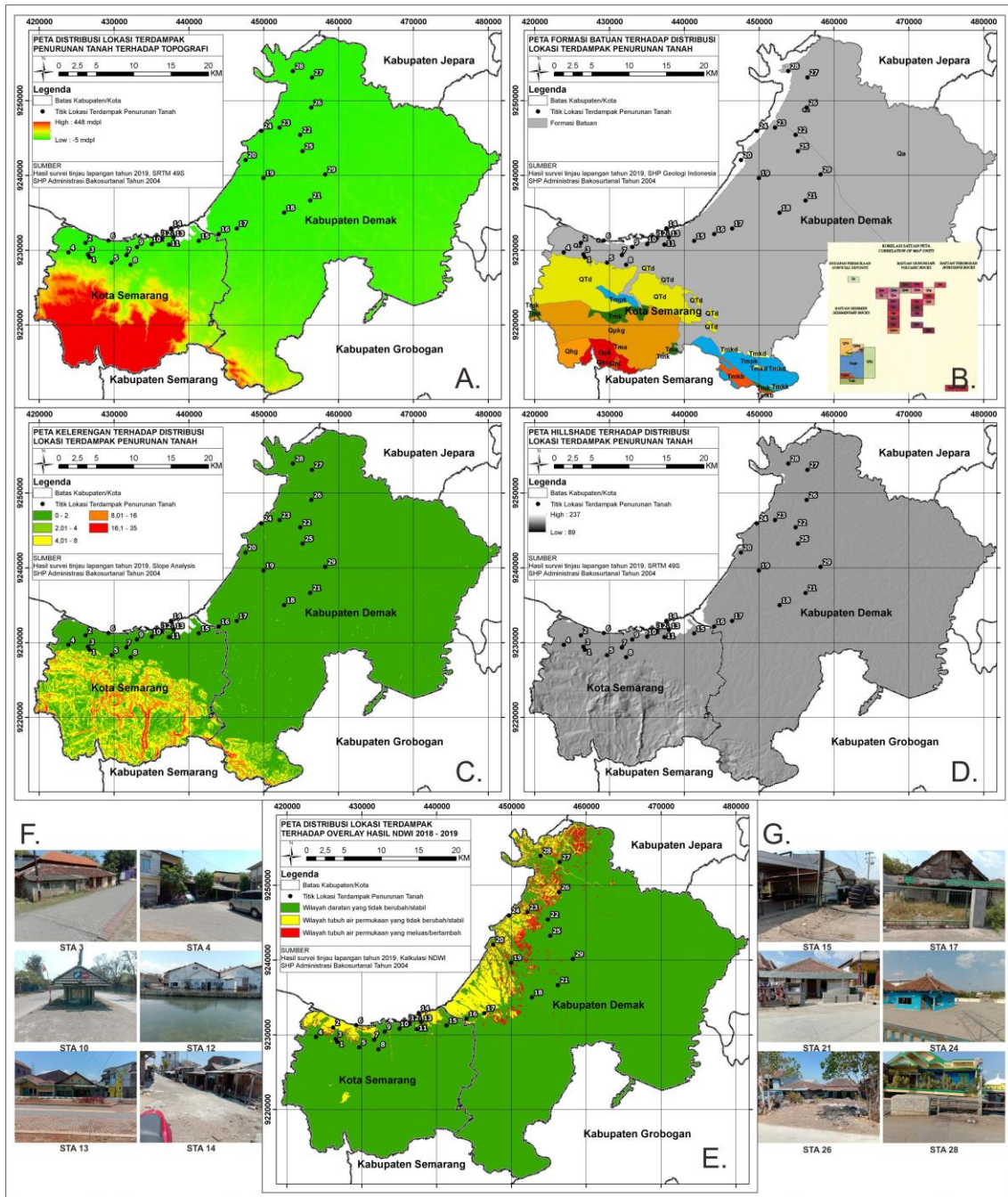
Faktor yang menitikberatkan pada ekstraksi air tanah dalam hal ini tidak dapat diterapkan sepenuhnya pada wilayah Kabupaten Demak, terutama wilayah pesisirnya. Kondisi wilayah tersebut sudah terlebih dahulu dalam keadaan terendam tubuh air, jauh lebih lama dibandingkan wilayah Semarang (Gambar 1). Beranjak dari hal tersebut, muncul dugaan adanya faktor lain yang memicu penurunan tanah yang cukup intensif dibandingkan wilayah pesisir Kota Semarang.

Terdapat faktor lain yang diduga memicu hal terkait, yaitu keberadaan struktur geologi regional yang letaknya dalam [12][13], sehingga kondisi permukaannya tidak terlihat akibat terkubur oleh sedimen maupun batuan yang lebih muda. Struktur yang berupa pola *lineament* dalam yang memanjang dari arah relatif utara selatan berpotongan dengan sesar naik Kendeng yang diduga membentuk cekungan/dalaman di bawah wilayah yang sekarang berupa pesisir Kota Semarang bagian timur dan Demak bagian selatan (Gambar 4). Bentuk tersebut yang secara signifikan menyebabkan proses penurunan tanah pada wilayah tersebut sangat intensif dan berbeda dari asumsi umum yang dipahami, di mana material yang belum terkonsolidasi (Qa) perlahan akan mengisi ruang yang dibentuk oleh aktivitas pendalaman cekungan dari struktur tersebut.

#### IV. SIMPULAN

Hasil penelitian terkait penurunan tanah pada wilayah Kota Semarang dan Kabupaten Demak dengan penginderaan jauh yang menggunakan baik dari hasil *timelapse* maupun Landsat 8 bahwa daerah penelitian secara bertahap mengalami perubahan dengan tertutupnya daratan





Gambar 3. Variasi peta yang menunjukkan perbandingan distribusi titik lokasi terdampak penurunan tanah dengan kondisi geologi regional maupun olah data inderaja (A – E) dan gambar hasil survei tinjau lapangan tahun 2019 (F – G)

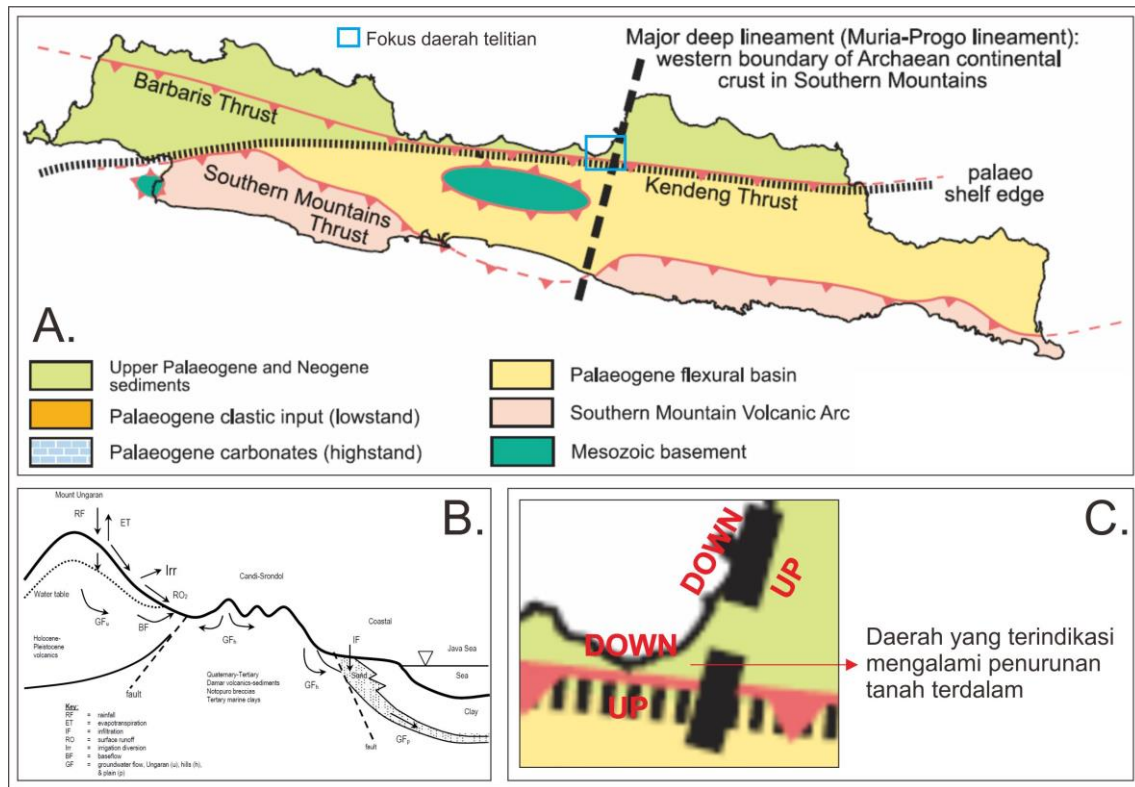
oleh tubuh air laut yang diduga akibat penurunan tanah. Ditinjau dari kondisi geologi regionalnya, daerah yang distribusinya telah dipetakan sebanyak 29 titik secara umum berada pada batuan yang belum terkonsolidasi (Qa) berumur muda dan pada topografi datar yang tidak terdapat indikasi struktur permukaannya. Wilayah Demak bagian pesisir yang diduga terdampak lebih berat dalam masalah penurunan tanah tanpa adanya indikasi asumsi ekstraksi airtanah berlebih memunculkan spekulasi lain. Dugaan yang berhasil dikumpulkan adalah

adanya struktur bawah permukaan yang dimungkinkan masih aktif dan saling berpotongan yang memicu terbentuknya cekungan/dalaman sebagai wadah turunnya material di atasnya saat mengalami pemadatan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Pada bagian ini, penulis banyak mengucapkan terima kasih kepada pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung serta tidak dapat

disebutkan satu per satu dalam melancarkan riset terkait.



Gambar 4. Tampilan struktur regional di Pulau Jawa dengan lokasi studi penurunan tanah (A), model 2D pada pesisir Kota Semarang (B), dan dugaan terkait pemicu oleh adanya struktur pembentuk dalam dari dua bidang yang turun di utara (C)

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, 2019. *Data Kebencanaan Indonesia Tahun 2018*. Diakses dari [dibi.bnpb.go.id](http://dibi.bnpb.go.id) pada 1 Oktober 2019.z
- [2] E. Carminati dan G. Di Donato, 199. "Separating natural and anthropogenic vertical movements in fast subsiding areas: The Po Plain (N. Italy) Case," *Geophys. Res.* Vol. 26, 2291-4.
- [3] T.A. Meckel, U.S. Brink, dan S.J. Williams, 2006. Current subsidence rates due to compaction of Holocene sediments in southern Louisiana, *Geophys. Res.* Vol. 33, hal. 1-5.
- [4] D.L. Galloway dan T.J. Burbey, 2011. "Review: Regional land subsidences accompany groundwater extraction," *Hydrogeol. J.* Vol. 19, 1459-86.
- [5] D. Sarah dan E. Soebowo, 2017. "Land subsidence threats and its management in North Coast of Java," in *Global Colloquium on Geosciences and Engineering*, hal. 1-6.
- [6] N.M. Widya, A. Suryanti, M.A. Marfai, 2015. "Analisis Multibahaya di Wilayah Pesisir Kabupaten Demak," *Repository UGM*.
- [7] S.K. McFeeters, 1996. "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features," *Int. J. Remote Sens.* Vol, 17, 1425-1432.
- [8] R.E. Thanden, H. Sumadirdja, P.W. Richards, K. Sutisna, dan T.C. Amin, 1996. *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- [9] T. Suwarta dan R. Wikarno, 1992. *Peta Geologi Lembar Kudus, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- [10] B.D. Yuwono, H.Z. Abidin, I. Gumilar, H. Andreas, M. Awaluddin, K.F. Haqqi, dan R. Khoirunnisa, 2016. "Preliminary Survey and Performance of Land Subsidence in North Semarang Demak," *The 5<sup>th</sup> International Symposium on Earthhazard and Disaster Mitigation*, hal 1-11
- [11] B.D. Yuwono, S. Subiyanto, A.S. Pratomo, Najib, 2019. "Time Series of Land Subsidence rate on Coastal Demak Using GNSS CORS UDIP and DINSAR," *E3S Web of Conferences*, vol 94, hal. 1-5.
- [12] Suripin, 2005. "Contribution of Groundwater Abstraction to Landsubsidence at the North Coast of Semarang," *Media Komunikasi Teknik Sipil*, vol 13 no.2, hal. 27-36.
- [13] B. Clements, R. Hall, H.R. Smyth dan M.A. Cottam, 2009. "Thrusting of a volcanic arc: a new structural model for Java," *Petroleum Geoscience*, vol 15, hal. 159-174.