

Analisis Potensi Land Subsidence Akibat Penurunan Muka Air Tanah di Daerah Amurang

Remmy Jean Ratulangi¹, Steeva G. Rondonuwu², Octovian B.A. Sompie³
Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado ^{1,2,3}
E-mail: remmyratulangi@gmail.com

Abstrak

Land subsidence adalah penurunan permukaan tanah secara bertahap atau tiba-tiba akibat pergerakan material di bawah permukaan bumi. Dampak land subsidence diantaranya kerusakan infrastruktur, perluasan wilayah banjir, peningkatan cakupan banjir rob dan intrusi air laut. Kota Amurang adalah ibukota kabupaten yang menjadi kawasan strategis untuk perekonomian. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kondisi bawah permukaan daerah Amurang didominasi oleh batuan lempung yang telah tersaturasi oleh air asin dan berupa batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, topsoil dan lumpur. Informasi ini ditunjang dengan letaknya di pesisir pantai dan muara sungai dengan penggunaan air tanah oleh mayoritas penduduk berpotensi untuk mengalami land subsidence.

Penelitian dilakukan dengan menganalisis data log bor di lokasi penelitian dan muka air tanah dari sumur pantau terdekat. Dari hasil pemodelan menggunakan Plaxis 2 D dengan asumsi penurunan 0,09 m per tahun maka dalam kurun waktu 10 tahun diperoleh penurunan muka tanah sebesar 3,13 cm. Semakin besar penurunan muka air tanah maka semakin besar pula penurunan muka tanah yang terjadi. Semakin cepat waktu penurunan muka air tanah terjadi semakin cepat pula penurunan muka tanah (land subsidence) yang terjadi. Hasil penelitian ini perlu dibandingkan dengan pemantauan permukaan dan diharapkan bisa memberikan informasi dalam mengelola penggunaan air tanah di daerah setempat untuk mengantisipasi potensi bencana.

Kata kunci: Land subsidence, Muka air tanah, Plaxis 2D.

Abstract

Land subsidence is a gradual or sudden decrease in the surface of the land due to the movement of material below the earth's surface. The impacts of land subsidence include damage to infrastructure, expansion of flood areas, increased coverage of tidal floods and sea water intrusion. Amurang City is the capital of the district which is a strategic area for the economy. Previous research shows that the subsurface conditions in the Amurang area are dominated by clay rocks that have been saturated by salt water and in the form of alluvial rocks formed from delta sedimentation, topsoil and mud. This information is supported by its location on the coast and river estuaries where groundwater use by the majority of the population has the potential to experience land subsidence.

The research was carried out by analyzing drill log data at the research location and groundwater levels from nearby monitoring wells. From the results of modeling using Plaxis 2D with the assumption of a decrease of 0.09 m per year, over a period of 10 years the land surface subsidence was 3.13 cm. The faster the time of groundwater level decline occurs, the faster the land subsidence that occurs. The results of this study need to be compared with surface monitoring and are expected to provide information in managing groundwater use in local areas to anticipate potential disasters.

Keywords: Land subsidence, Groundwater level, Plaxis 2D.

1. PENDAHULUAN

Land subsidence adalah penurunan permukaan tanah secara bertahap atau tiba-tiba akibat pergerakan material di bawah permukaan bumi (Galloway et al., 2008). Itu terjadi ketika air tanah diambil dari sistem akuifer atau reservoir bawah permukaan lebih cepat dibandingkan dengan pengisian ulangannya. Dalam konteks perubahan iklim global, peningkatan penggunaan sumber daya akuifer di sektor pertanian dan perkotaan merupakan masalah yang makin meningkat.. Dampak land subsidence dapat dilihat dalam beberapa bentuk, seperti retaknya konstruksi dan jalan permanen, perubahan sistem kanal sungai dan aliran pembuangan, perluasan wilayah banjir, kerusakan sistem drainase, peningkatan cakupan banjir rob dan peningkatan intrusi air laut. Hal – hal tersebut dapat menurunkan kualitas lingkungan, menimbulkan masalah kesehatan dan kerugian terhadap aspek sosial dan ekonomi.(Abidin et al., 2013) Proses atau gerakan turunnya permukaan tanah telah banyak terjadi diberbagai wilayah di dunia terutama dikota-kota besar yang berlokasi dikawasan pantai atau dataran aluvial (endapan lepas yang tertransport ke tempat lain atau tidak berada disekitar batuan induk dimana berukuran butiran berupa pasir dan lempung) (Hutabarat, 2017). Penurunan tanah yang berjalan lambat telah terjadi di setidaknya 150 lokasi di seluruh dunia, terutama di daerah pesisir, kompleks industri, dan daerah padat penduduk (Sarah, 2022). Fenomena ini terjadi di banyak kota di dunia yang terletak di daerah pantai, daerah gambut dan daerah eksplorasi minyak dan gas. Di Indonesia, sekurang-kurangnya 21 provinsi dengan 132 daerah kabupaten/kota terindikasi mengalami land subsidence dengan daerah terbanyak terletak di Pantai utara Jawa dan pantai utara Sumatera. Biaya yang dikeluarkan untuk perbaikan jalan, jembatan dan permukiman di pantai utara pulau Jawa menunjukkan bahwa potensi kerugian akibat land subsidence setiap tahunnya adalah sebesar 619 Triliun rupiah. Rata – rata land subsidence di daerah pesisir dataran rendah adalah 1-20 cm/ tahun (Wetlands International, 2019). Faktor penurunan muka air tanah akibat pengambilan air tanah menjadi salah satu penyebab terjadinya land subsidence di Indonesia (D.Sarah et al,2023)

Kota Amurang adalah daerah ibukota kabupaten dan sebagai daerah yang sedang berkembang dengan berbagai pembangunan infrastruktur penunjang perlu adanya stabilitas wilayah untuk penempatan lokasi dan pusat aktivitas pembangunan. Daerah ini jumlah kepadatan penduduknya adalah salah satu yang tertinggi di kabupaten Minahasa Selatan dengan mayoritas penduduknya menggunakan air tanah untuk kehidupan sehari-hari. Penelitian dengan geolistrik menunjukkan bahwa kondisi bawah permukaan daerah Amurang didominasi oleh batuan lempung yang telah tersaturasi oleh air asin (Sitompul A.B, 2023). Hasil survei mikrotremor oleh BMKG yang dianalisa dengan metode HVSR mengindikasikan kondisi tanah daerah ini merupakan tanah endapan yang merupakan hasil sedimentasi dengan kedalaman sekitar 30 meter atau lebih (Handayani dkk, 2023). Hasil penelitian ini ditunjang dengan posisi daerah yang terletak di pesisir pantai dengan beberapa bagiannya adalah muara sungai dengan penggunaan air tanah oleh mayoritas penduduk berpotensi untuk mengalami land subsidence. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi land subsidence akibat penurunan muka air tanah di daerah Amurang.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui penurunan muka tanah yang terjadi akibat penurunan muka air tanah di lokasi penelitian dengan menggunakan software Plaxis 2D, dan korelasi antara penurunan muka air tanah dan penurunan muka tanah di lokasi penelitian.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan adalah bentuk penelitian kuantitatif, dengan metode pengumpulan data berupa studi dokumen/literatur kemudian dihitung menggunakan software Plaxis 2 D untuk membuat prediksi berdasarkan analisis data numerik. Lokasi penelitian berada di kota Amurang Kabupaten Minahasa Selatan Provinsi Sulawesi Utara sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1. Data tanah berupa hasil penyelidikan tanah yang diambil di Kelurahan Uwuran Satu Kecamatan Amurang adalah dalam bentuk diagram bor yang kemudian dikorelasikan sesuai jenis tanah dan N-SPT untuk memperoleh parameter tanah yang dibutuhkan. Data yang digunakan adalah data di Kelurahan Uwuran Satu karena di daerah ini pernah terjadi bencana pada tahun 2022/ Data tren penurunan muka air tanah diambil dari data sumur pantau Balai Wilayah Sungai Sulawesi I terdekat di daerah Amurang. Data topografi, data tanah dan data tinggi muka air menjadi data masukan dalam pemodelan menggunakan software Plaxis 2D.

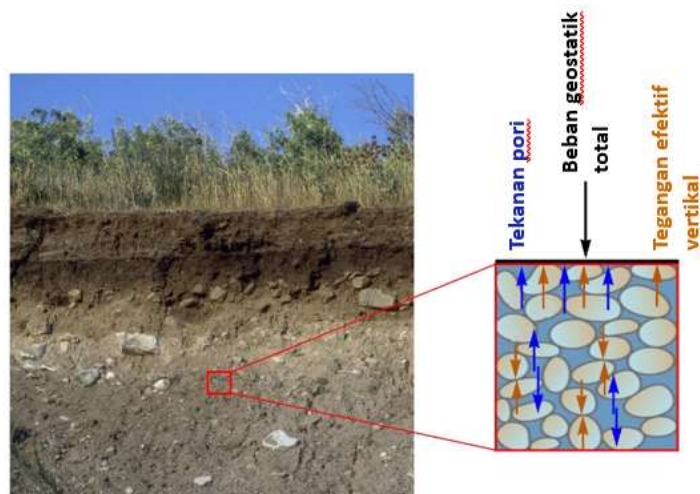


Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.1. Mekanisme dasar

Mekanisme yang menghubungkan penurunan tanah dengan penarikan cairan atau pemompaan adalah bahwa kompaksi sedimen bawah permukaan disebabkan oleh perubahan distribusi tegangan dalam partikel padat (Gambolati et al. 2005). Dalam sistem akuifer, total beban geostatis yang bekerja pada akuifer dan lapisan pembatas diimbangi oleh tekanan air pori serta tegangan efektif vertikal dan horizontal seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2. (Gambolati et al, 2021). Gangguan sistem aliran air tanah alami, misalnya, dengan adanya sumur yang memompa air keluar dari sistem ini, mengganggu keseimbangan hidrostatik sistem akuifer. Hal ini menyebar di ruang massa ini sebagai fungsi waktu, membentuk kerucut tekanan ((Guzy et al., 2020). Ketika akuifer dipompa, tekanan air pori tidak dapat lagi menopang sebagian besar beban dari formasi di atasnya. Oleh karena itu, lebih banyak beban ini harus ditanggung oleh kontak butir-ke-butir (tegangan efektif) dari material geologi itu sendiri, dengan adanya

perpindahan tegangan dari fluida ke fase padat. Peningkatan tegangan efektif ini terjadi pada bagian yang dipompa dan formasi yang berdekatan yang memadat.



Gambar 2. Beban geostatik total ditopang oleh tegangan efektif vertikal dan tekanan air pori

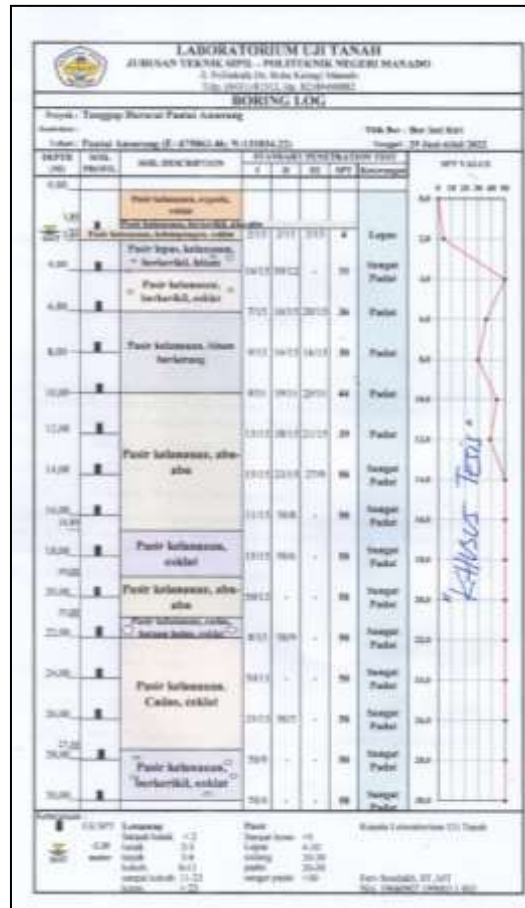
Besarnya pemadatan sangat berhubungan dengan kompresibilitas lapisan. Kumulatif pemadatan lapisan bawah permukaan yang dihasilkan memperluas pengaruhnya ke permukaan tanah, yang kemudian mengalami penurunan.

Mekanisme penurunan tanah karena penarikan cairan melibatkan proses dua langkah. Langkah pertama membahas mekanika fluida dari media berpori. Langkah kedua memecahkan masalah struktural menggunakan distribusi tekanan air pori fluida yang dihitung pada langkah pertama sebagai kekuatan pendorong dalam medium untuk memberikan deformasi partikel padat dan penurunan tanah (yaitu perpindahan vertikal) di permukaan tanah. Sistem stratigrafi tanah dianggap merupakan struktur 1 dimensi meskipun aliran fluida adalah 3 dimensi, karena perpindahan tanah sebagian besar terjadi dalam arah vertikal ke bawah.

2.2 Data Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral- mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1993)

Hasil penyelidikan tanah di lokasi penelitian berupa data diagram bor diperoleh dari Laboratorium Politeknik Negeri Manado dapat dilihat dalam Gambar 3. Data jenis tanah dan N-SPT dari diagram bor diolah dengan melakukan korelasi untuk mendapatkan parameter tanah yang akan menjadi data input Plaxis 2D sebagaimana dalam Tabel 1. Korelasi dilakukan terhadap nilai tipikal berat volume (Kementerian PUPR, 2019), N-SPT (Briaud, 2023), Poisson's Ratio (Kulhawy, 1990), dan nilai sudut geser dalam (Ameratunga et al., 2016).



Gambar 3. Diagram Bor di Lokasi Penelitian

Tabel 1. Parameter Tanah berdasarkan hasil korelasi Jenis Tanah dan N-SPT

Ke- dalam	Jenis Tanah	Tipe	N Desain	γ_{unsat} (kN/ m ³)	γ_{sat} (kN/ m ³)	E (kN/ m ²)	ν	c' (kN/ m ²)	ϕ' ($^{\circ}$)
0,00 – 4,00	Silty Sand 1	Un- drained	5	17	20	9.500	0,20	1,00	28
4,00 – 12,00	Silty Sand with Gravel	Drained	41	19	21	32.500	0,35	1,00	32
12,00 – 22,00	Silty Sand 2	Drained	50	21	23	32.500	0,35	1,00	33
22,00 – 30,00	Silty Sand 3	Drained	50	21	21	64.500	0,35	1,00	33

2.3 Data Muka Air Tanah

Air tanah merupakan air di bawah muka air tanah dan berada pada zona jenuh air yang masuk secara bebas ke dalam sumur, baik dalam keadan bebas (unconfined) maupun tertekan (confined) (Davis et al, 1966). Zona jenuh yang paling atas disebut dengan muka air tanah (water table).

Data tinggi muka air tanah rata-rata tiap tahun dari Pos Duga Air Amurang yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Tinggi Muka Air Tanah Rata-Rata

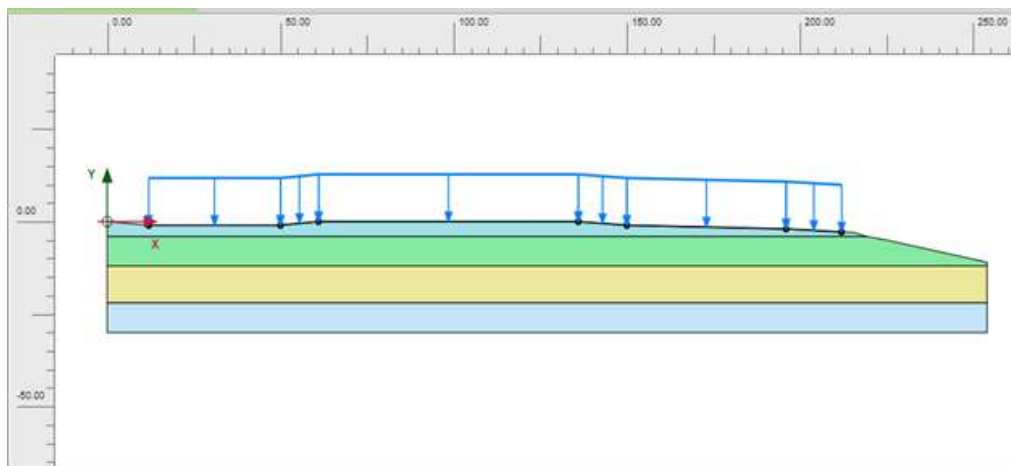
Tahun	Tinggi muka air tanah (m)	Beda tinggi dengan tahun sebelumnya (m)
2017	3,772	-
2018	3,686	0,086
2019	3,597	0,089

Dari data yang ada terlihat ada kecenderungan adanya penurunan muka air tanah dengan rata – rata 8,75 cm per tahun. Oleh karena itu diambil asumsi penurunan muka air tanah sebesar 9 cm per tahun.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemodelan dalam Plaxis 2 D

PLAXIS merupakan program dengan basis metode elemen hingga yang diperuntukkan untuk analisis deformasi dan stabilitas pada bidang geoteknik. Model material yang digunakan adalah Hardening Soil untuk tak terdrainase dan Mohr Coulomb untuk tipe terdrainase. Pemodelan pada Plaxis 2D seperti terlihat dalam Gambar 4 dibuat berdasarkan topografi lokasi penelitian dengan penampang melintang sepanjang 230 m dengan asumsi pembebanan rumah tinggal sebesar 24 kN/m² dan tinggi muka air awal adalah -2,2 m dari permukaan titik lokasi bor atau -3,2 m dari permukaan tertinggi. Kondisi batas yang diterapkan adalah perpindahan adalah nol pada arah x dan y ($U_x, U_y=0$) di sepanjang dasar jaring geometri. Sepanjang batas vertikal geometri (yaitu pada sisi kiri dan kanan), tanah tidak dapat bergerak ke arah x ($U_x=0$) tetapi bebas bergerak ke arah y. Sepanjang permukaan tanah terbuka, tanah bebas bergerak baik dalam arah x maupun arah y.

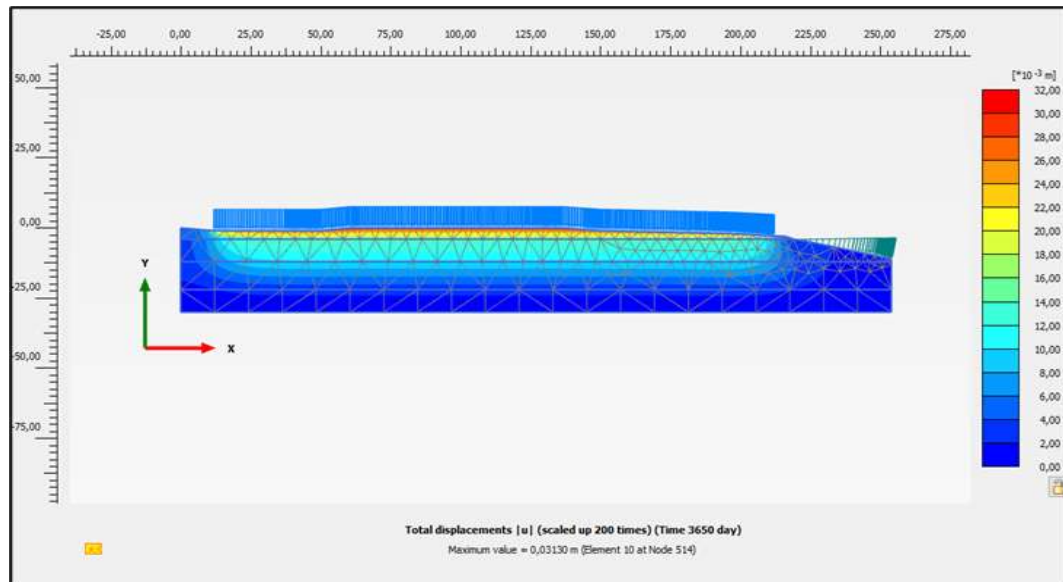


Gambar 4. Pemodelan dalam Plaxis 2 D

Tahapan kalkulasi dilakukan dengan konsolidasi sampai tekanan air pori minimum dengan pemodelan penurunan muka air tanah sebesar 0,90 m dalam 3650 hari atau 10 tahun.

3.2 Output

Dari hasil pemodelan jika kondisi muka air tanah mengalami penurunan selama 0,9 m dalam kurun waktu 10 tahun atau tinggi muka air awal adalah -3,2 m dari permukaan paling tinggi maka terjadi penurunan muka tanah sebesar 0,0313 m atau 3,13 cm sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 5 dan grafik penurunan dalam Gambar 6.



Gambar 5. Output Penurunan Tanah (3650 hari)



Gambar 6. Grafik Penurunan Muka Tanah dan waktu dengan asumsi penurunan air tanah 0,90 m dalam 3650 hari.

Gambar 6 menunjukkan bahwa penurunan muka tanah berbanding lurus dengan penurunan muka air tanah, semakin tinggi penurunan muka air tanah maka semakin tinggi penurunan muka tanah yang terjadi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka diperoleh kesimpulan jika kondisi muka air tanah diasumsi mengalami penurunan sebesar 0,09 m dalam setahun dan meingkat secara linear sehingga menjadi 0,90 m dalam kurun waktu 10 tahun maka akan terjadi penurunan muka tanah maksimal sebesar 0,0313 m atau 3,13 cm. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa ada korelasi antara penurunan muka air dan penurunan muka tanah di lokasi penelitian yaitu bahwa semakin besar penurunan muka air tanah maka semakin besar pula penurunan muka tanah yang terjadi. Penelitian ini bisa dikembangkan dengan fluktuasi penurunan muka air tanah dan pengaruh instruksi air laut. Penelitian ini juga perlu dibandingkan dengan pemantauan penurunan permukaan di lokasi penelitian dan perlu dikembangkan dengan waktu pemantauan penurunan muka air tanah yang lebih lama serta prediksi penurunan muka tanah yang lebih lama. Berbagai data penelitian kiranya boleh menjadi bahan kajian stakeholder terkait dalam melakukan perencanaan daerah sehingga berbagai kemungkinan bencana yang dipengaruhi oleh faktor manusia dapat dimitigasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., Sidiq, T. P., Fukuda, Y., (2013). *Land subsidence in coastal city of Semarang (Indonesia): characteristics , impacts and causes*. 5705. <https://doi.org/10.1080/19475705.2012.692336>.
- Akbar Kurniawan, Udiana Wahyu Deviantari. (2022). Literatur Review: Perbandingan Berbagai Teknik Pemodelan Land Subsidence. *Geoid*. Vol. 17, No. 2.
- Ameratunga, J., Sivakugan, N., & Das, B. M. 2016. *Geotechnical Properties of Soils – Fundamentals*. 236 hal. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2629-1_2
- Bentley Advancing Infrastructure, *Scientific Manual 2D, Plaxis 2D* (2024).1
- Briaud, J. L. (2023). *Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils*. John Wiley and Sons Inc.
- BPS Kabupaten Minahasa Selatan. (2024). *Minahasa Selatan dalam Angka*
- Das, B. M. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis (1993)* Jilid 1. Penerbit Erlangga. 283 hal.
- Gracia Mizuno, Elisa Sompie, O.B.A. Sompie, Steeva Rondonuwu.. Analisis Stabilitas Tanah Dengan Model Material Mohr Coulomb Dan Soft Soil. *Jurnal Sipil Statik* Vol.6 No.10 Oktober 2018 (783-792) ISSN: 2337-6732
- Gambolati, G., Teatini, P., & Ferronato, M. 2005. *Anthropogenic Land Subsidence. Encyclopedia of Hydrological Sciences*, (2018). <https://doi.org/10.1002/0470848944.hsa164b>
- Gambolati, G., and Teatini, P. (2021) *Land Subsidence and its Mitigation*. Guelph, Ontario, Canada. <https://gw-project.org/books/land-subsidence-and-its-mitigation/>, 92 pages.
- Guzy, A., Malinowska A.A. 2020. State of the Art and Recent Advancements in the Modelling of Land Subsidence Induced by Groundwater Withdrawal. *Research Gate*. <https://www.researchgate.net/publication/343054513>
- Handayani, N.D., Koagouw Joanes, Pratama, D. A. (2023). Analisa Mikrotremor untuk Mengetahui Karakteristik Bawah Permukaan di sekitar Jembatan Amurang, Minahasa Selatan. *Jurnal Widya Climago*. Volume 5 No.1
- Hutabarat, L. E. (2017). Study of Land Subsidence Due to Excessive Groundwater Extraction in DKI Jakarta. *Kumpulan Karya Ilmiah Dosen Universitas Kristen Indonesia Delapan Windu* (pp. 360–374).
- Kementerian PUPR. (2019). *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik*. PUPR, 94.

- Pemerintah Kabupaten Minahasa Selatan, 2014. *Peraturan Daerah (PERDA) Kabupaten Minahasa Selatan Nomor 3 Tahun 2014 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Minahasa Selatan Tahun 2014-2034*.
- Kulhawy, F. H., & Mayne, P. W. (1990). *Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design*. In Ostigov (p. 299). http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=6653074
- Sandy Nur Eko Wibowo, Gybert E. Mamuaya, Rignolda Djamaluddin. (2018) Land subsidence Analysis of Reclaimed Land using Time-Lapse Microgravity Anomaly in Manado, Indonesia. *Jurnal Forum Geografi* , Vol 32 (1) July 2018: 53-63
- Sarah, D. (2022). Land subsidence hazard in Indonesia: Present research and challenges ahead. *RISSET Geologi Dan Pertambangan*, 32(2), 83. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2022.v32.1195>
- Sarah, D., Soebowo, E., Satriyo, N. A., Zulfahmi, & Wahyudin. (2023). Predictive Modelling of Land Subsidence Due to Groundwater Level Decline in Gedebage District, Bandung, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1227(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1227/1/012016>
- Sitompul, A.A.B, (2023). *Tesis*, Identifikasi Intrusi Air Laut Pada Daerah Amurang Menggunakan Metode Resistivity. Fakultas Teknologi Eksplorasi dan Produksi .Universitas Pertamina . Jakarta.
- Suoth, D. S., Legrans, R. R. I., & Manaroinson, L. D. (2021). Studi Karakteristik Kompresibilitas Tanah Pada Daerah Aliran Sungai Tondano (Studi Kasus: Lokasi Pembangunan Jembatan Kuwil). *Tekno*, 19(April), 41–45.