

**PEMANFAATAN CITRA SENTINEL-1 DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS
(GIS) DALAM ANALISIS PENYEBAB PENURUNAN KONSOLIDASI
(CONSOLIDATION SETTLEMENT) DI KOTA YOGYAKARTA
TAHUN 2015 – 2016**

Resa Fondania^{1*}, T. Yan Waliana Muda Iskandarsyah¹, Boy Yoseph CSS Syah Alam¹

Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

*Korespondensi: resa17003@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Kondisi tanah dan aktivitas pembebanan bangunan diduga mengambil peran terhadap terjadinya fenomena penurunan muka tanah, berupa penurunan konsolidasi di Kota Yogyakarta. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis keterkaitan antara permeabilitas tanah dan perubahan jenis tutupan lahan terhadap penurunan muka tanah berupa *consolidation settlement* di Kota Yogyakarta pada tahun 2015 – 2016. Metode yang digunakan berupa pemetaan dengan memanfaatkan Citra Sentinel-1 dan Sistem Informasi Geografis (SIG) menggunakan perangkat lunak SNAP, ArcGIS dan QGIS. Hasil dari penelitian ini, yaitu pada permeabilitas tanah yang lebih rendah di daerah penelitian dengan beban bangunan yang tinggi (pada daerah dengan peningkatan tutupan lahan *urban*) akan menyebabkan terjadinya konsolidasi tanah dan berakhir dengan penurunan muka tanah. Dengan demikian penurunan muka tanah yang terjadi di daerah penelitian merupakan penurunan konsolidasi atau *consolidation settlement*.

Kata Kunci: Citra Sentinel-1, Sistem Informasi Geografi, Penurunan Konsolidasi, Permeabilitas Tanah dan Perubahan Tutupan Lahan

ABSTRACT

Soil conditions and building loading activities are thought to play a role in the land subsidence phenomenon, in the form of consolidation settlement in Yogyakarta City. The purpose of this study was to analyze the relationship between soil permeability and changes in land cover types on land subsidence in the form of consolidation settlement in Yogyakarta City in 2015 - 2016. The method used was mapping using Sentinel-1 Imagery and Geographic Information Systems (GIS) by using SNAP, ArcGIS, and QGIS software. The results of this study, namely the lower soil permeability in the study area with high building loads (in areas with increased urban land cover) will cause soil consolidation and end up with consolidation settlement.

Keywords: *Sentinel-1 Image, Geographic Information System, Consolidation Settlement, Soil Permeability and Land Cover Change*

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, penelitian dalam bidang geologi, khususnya kebencanaan dipermudah dengan adanya kemajuan dan perkembangan zaman, terutama pada bidang penginderaan jauh (*remote sensing*) dan Sistem Informasi Geografis (SIG). Perkembangan tersebut dibuktikan dengan munculnya jenis citra baru, seperti Citra Sentinel-1 yang memungkinkan untuk berbagai pemetaan sepanjang waktu, salah satunya terkait terhadap fenomena penurunan muka tanah. Fenomena penurunan muka tanah menjadi isu penting dan kerap terjadi di berbagai daerah di Indonesia, salah satunya di Kota Yogyakarta. Fenomena tersebut salah satunya terjadi pada tahun 2015 (Zein, *et al.*, 2020). Namun belum diketahui pasti terkait penyebab terjadinya fenomena penurunan muka tanah tersebut. Hal tersebut memacu keingintahuan penulis untuk menganalisis penyebab terjadinya fenomena penurunan muka tanah dan jenis penurunan muka tanah yang terjadi. Adapun Kota Yogyakarta pada tahun 2015 – 2016 mengalami peningkatan total jumlah penduduk yang signifikan, yaitu sebesar 5.040 jiwa (Badan Pusat Statistik Provinsi D.I. Yogyakarta, 2021). Selain itu, pada tahun tersebut telah terjadi peningkatan bangunan hotel sebagai fasilitas pendukung sektor pariwisata, yaitu sebanyak 625 bangunan hotel atau 49,9% dibandingkan dengan tahun 2010 (Dataku, 2020). Adapun peningkatan jumlah penduduk dan jumlah hotel tersebut tentunya diiringi dengan semakin tingginya kebutuhan lahan dan tentunya mengakibatkan meningkatnya pembebanan bangunan. Di lain pihak, isu-isu permasalahan lahan dan pembebanan bangunan erat kaitannya dengan kondisi tanah, salah satunya terkait dengan permeabilitas tanah. Dengan begitu penelitian terkait kondisi tanah, terutama terkait permeabilitas tanah perlu dilakukan. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis keterkaitan antara permeabilitas tanah dan perubahan jenis tutupan lahan terhadap penurunan muka tanah berupa *consolidation settlement*. Adapun untuk lokasi penelitian ini mencakup seluruh kecamatan di Kota Yogyakarta (**Gambar 1**) pada rentang waktu tahun 2015 – 2016.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Fisiografi Regional

Berdasarkan van Bemmelen (1949), zona fisiografi daerah penelitian (Gambar 2) termasuk ke dalam Zona Depresi Tengah Jawa. Di mana Zona Depresi Tengah Jawa atau Zona Solo di Yogyakarta terbentuk akibat dari proses pengangkatan (*uplifting*) Pegunungan Kulon Progo dan Pegunungan Selatan pada Kala Pleistosen awal. Adapun bentuk fisiografi dari Zona Depresi Tengah Jawa adalah berupa dataran yang dikelilingi tinggian hasil proses pengangkatan (van Bemmelen, 1949).

Geologi Regional

Daerah penelitian yang terletak di Kota Yogyakarta memiliki kondisi geologi yang tergambarkan pada Peta Geologi Daerah Penelitian (Gambar 3). Adapun berdasarkan peta tersebut daerah penelitian secara keseluruhan terdiri atas Endapan Gunungapi Merapi Muda (Qmi). Adapun Endapan Gunungapi Merapi Muda termasuk ke dalam tipe endapan Gunungapi Merapi masakini terpilih yang terbentuk pada Zaman Kuartar. Endapan Gunungapi Merapi Muda ini terdiri atas tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan (Rahardjo, dkk., 1995).

Hidrogeologi Regional

Adapun pembagian zonasi akuifer berdasarkan jenis aliran air tanah, produktivitas, kelulusan, dan debit aliran air tanah dapat diamati pada Peta Hidrogeologi Daerah Penelitian (Gambar 4). Adapun berdasarkan peta tersebut daerah penelitian secara keseluruhan merupakan sistem akuifer dengan aliran air tanah melalui celahan dan ruang antarbutir. Berdasarkan produktivitasnya, zona ini termasuk akuifer dengan produktif sedang dan memiliki penyebaran luas. Zona ini memiliki karakteristik akuifer dengan tingkat keterusan sangat beragam (rendah – sedang) dan debit air sumur umumnya kurang dari 5 liter/detik.

3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, tahap-tahap pengolahan data secara keseluruhan dilakukan menggunakan pengaplikasian dari Sistem Informasi Geografis

(SIG). Adapun Sistem Informasi Geografis (SIG) sendiri merupakan sistem berbasis perangkat komputer yang berguna dalam memasukkan, menyimpan, mengelola, menganalisis, dan mengaktifkan kembali data yang mempunyai referensi keruangan atau spasial untuk tujuan pemetaan maupun perencanaan (Burrough, 1986; Supuwingsih dan Rusli, 2020). Adapun data yang diolah menggunakan data Citra Sentinel-1 (Tipe Single Look Complex (SLC) yang teramati pada (Tabel 1) dan Ground Range Detection (GRD)) yang dapat diamati pada (Tabel 2), serta data tanah (berupa peta).

Pengolahan dan Analisis Data Citra Sentinel-1 Tipe SLC Untuk Analisis Penurunan Muka Tanah

Analisis penurunan muka tanah dilakukan menggunakan gabungan Metode InSAR, DinSAR dan PLT. Adapun InSAR sendiri bertujuan untuk membentuk raw citra interferogram dari sepasang data SLC. Di lain pihak, Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) sendiri merupakan proses penghapusan topografi dan filtering yang bertujuan untuk mengamati pergerakan tanah atau deformasi tanah (Purna, 2009; Sari, 2014). Kemudian, untuk PLT dilakukan menggunakan QGIS. Adapun pemrosesan PLT QGIS dengan menggunakan raster calculator dengan logika pairwise. Adapun hasil dari pemrosesan ini berupa geotiff yang kemudian diklasifikasikan sebagai berikut.

Tabel 3. Klasifikasi Penurunan Muka Tanah (Modifikasi Sahu dan Sikdar, 2011; Das, 2016)

Penurunan Muka Tanah (cm/tahun)	Kelas
>2	Sangat Tinggi
1.5 – 2	Tinggi
1 – 1.5	Sedang
0.5 – 1	Rendah
<0.5	Sangat Rendah

Adapun klasifikasi penurunan muka tanah terbagi menjadi lima kelas, yaitu sangat tinggi (> 2 cm/ tahun), tinggi (1,5 – 2 cm/ tahun), sedang (1 – 1,5 cm/ tahun), rendah (0,5 – 1 cm/ tahun) dan sangat rendah (0 – 0,5 cm/ tahun).

Setelah dilakukan proses pengklasifikasian penurunan muka tanah, selanjutnya dilakukan layouting di ArcGIS. Output atau keluaran pada tahap ini adalah Peta Distribusi Penurunan Muka Tanah di Kota Yogyakarta Tahun 2015 – 2016, kemudian didapatkan juga informasi terkait luas dan prosentase dari penurunan muka tanah di Kota Yogyakarta tahun 2015 – 2016 yang disajikan dalam bentuk tabel.

Pengolahan dan Analisis Data Tanah (Jenis, Tekstur, dan Permeabilitas Tanah)

Adapun data tanah yang diperoleh berdasarkan Peta Jenis Tanah Kota Yogyakarta yang dibuat oleh BAPPEDA DIY. Di mana jenis tanah yang ada diklasifikasikan berdasarkan tekstur oleh Soeprtohardjo (1982) dalam Sustanugraha (2013).

Tabel 4. Klasifikasi Tekstur Tanah Berdasarkan Jenis Tanah (Modifikasi M. Soeprtohardjo, 1982; Sustanugraha, 2013)

Jenis Tanah	Tekstur Tanah (M. Soeprtohardjo, 1982; Sustanugraha, 2013)
Regosol	Pasir
Latosol	Lempung/ clay
Grumusol	Lempung
Kambisol	Lempung/ berdebu
Mediteran	Geluh-lempungan

Adapun berdasarkan tekstur tanah, jenis tanah dapat ditelaah koefisien permeabilitasnya yang dapat diamati sebagai berikut.

Tabel 5. Klasifikasi Tekstur dan Permeabilitas Tanah (Modifikasi Analisis Data, 2012; Sustanugraha, 2013)

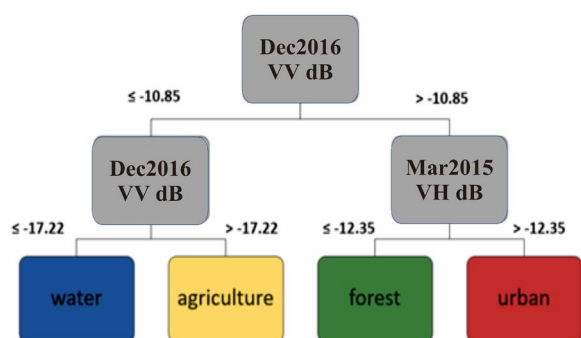
Jenis Tanah	Tekstur Tanah	Nilai Koefisien Permeabilitas Tanah (cm/s)	Derajat Permeabilitas Tanah (Modifikasi ABNT, 2015; Galvão dkk, 2016)
Regosol	Pasir	$10^{-2} - 1$	Sedang – Tinggi
Latosol	Lempung/ clay	$10^{-9} - 10^{-6}$	Sangat Rendah – Hampir Kedap
Grumusol	Lempung	$10^{-9} - 10^{-6}$	Sangat Rendah – Hampir Kedap
Kambisol	Lempung/ berdebu	$10^{-5} - 5 \times 10^{-4}$	Rendah
Mediteran	Geluh-lempungan	$10^{-5} - 5 \times 10^{-4}$	Rendah

Berdasarkan tabel tersebut dihasilkan, berupa Peta Distribusi Permeabilitas Tanah di Kota

Yogyakarta, kemudian didapatkan juga informasi terkait luas dan prosentase dari permeabilitas tanah di Kota Yogyakarta yang disajikan dalam bentuk tabel.

Data Citra Sentinel-1 Tipe GRD Untuk Analisis Perubahan Jenis Tutupan Lahan

Berdasarkan Braun, 2020, langkah-langkah pengolahan data citra sentinel-1 untuk zonasi perubahan tutupan lahan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SNAP melalui metode unsupervised classification. Di mana pembagian kelas atau class thresholding dilakukan dengan mengikuti kriteria klasifikasi sebagai berikut.



Gambar 4. Class Thresholding (Modifikasi Braun, 2020)

Kemudian dihasilkan file berupa geotiff. Geotiff tersebut kemudian dilakukan layouting di ArcGIS. Adapun output atau keluaran pada tahap pengolahan ini adalah Peta Distribusi Perubahan Jenis Tutupan Lahan Kota Yogyakarta Tahun 2015 – 2016, kemudian didapatkan juga informasi terkait luas dan prosentase dari perubahan jenis tutupan lahan di Kota Yogyakarta tahun 2015 – 2016 yang disajikan dalam bentuk tabel.

Berdasarkan keseluruhan pengolahan dan analisis data, berupa data tanah dan data citra dapat menghasilkan gambaran keterkaitan distribusi permeabilitas tanah dan perubahan jenis tutupan lahan terhadap penurunan muka tanah, berupa penurunan konsolidasi (consolidation settlement) di Kota Yogyakarta tahun 2015 – 2016.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penurunan Muka Tanah di Kota Yogyakarta Tahun 2015 – 2016

Berdasarkan pengolahan Citra Sentinel-1, berupa data SLC di Kota Yogyakarta pada rentang waktu 2015 hingga 2016, maka didapatkan hasil bahwa daerah penelitian mengalami penurunan muka tanah yang dapat diamati dari Peta Distribusi Penurunan Muka Tanah di Kota Yogyakarta Tahun 2015 – 2016 Skala 1:25.000 (Gambar 5). Adapun berdasarkan klasifikasi penurunan muka tanah oleh Sahu dan Sikdar (2011) dalam Das, et al (2016), pada tahun 2015 hingga 2016 daerah penelitian mengalami penurunan muka tanah sedang (1 – 1,2 cm/tahun), rendah (0,5 – 1 cm/tahun), dan sangat rendah (0 – 0,5 cm/tahun). Adapun distribusi rinci terkait luas dan persentase penurunan muka tanah terdapat pada tabel berikut.

Tabel 6. Distribusi Luas dan Persentase Penurunan Muka Tanah

Simbol	Penurunan Muka Tanah	Besar Penurunan Muka Tanah	Luas (Km ²)	Persentase (%)
	Sedang	1 – 1,2 cm/tahun	26.998	80.536
	Rendah	0,5 – 1 cm/tahun	4.737	14.131
	Sangat Rendah	0 – 0,5 cm/tahun	1.788	5.333

Adapun berdasarkan tabel tersebut, distribusi penurunan muka tanah membuktikan bahwa daerah penelitian memiliki tingkat penurunan muka tanah yang bervariasi dan didominasi oleh penurunan muka tanah sedang.

Jenis Tanah, Tekstur, dan Permeabilitas Tanah di Kota Yogyakarta

Adapun berdasarkan Peta Jenis Tanah oleh BAPPEDA DIY (2000) yang kemudian dimodifikasi menghasilkan Peta Distribusi Jenis dan Tekstur Tanah di Kota Yogyakarta (Modifikasi Peta Jenis Tanah Kota Yogyakarta (BAPPEDA D. I. Yogyakarta)) Skala 1:25.000 (Gambar 6). Adapun penjelasan lebih rinci dari peta tersebut dapat diamati pada tabel berikut.

Tabel 7. Distribusi Luas dan Persentase Jenis-Tekstur Tanah

Simbol	Jenis Tanah	Tekstur Tanah	Luas (Km ²)	Persentase (%)
	Kambisol	Lempung/ berdebu	18.264	54.482
	Regosol	Pasir	15.259	45.518

Adapun berdasarkan tabel tersebut, distribusi penurunan muka tanah membuktikan bahwa daerah penelitian didominasi oleh tanah kambisol dengan tekstur lempung/berdebu. Tekstur tanah tersebut berhubungan dengan permeabilitas tanah (Kironoto, dkk., 2020). Distribusi permeabilitas sendiri dapat diamati dari Peta Distribusi Permeabilitas Tanah di Kota Yogyakarta Skala 1:25.000 (Gambar 7). Adapun permeabilitas sendiri merupakan ukuran tingkat laju air mengalir melalui tanah maupun batuan (Easton and Bock, 2015). Hubungan antara keduanya tercermin pada tabel luas dan persentase jenis tanah tekstur dan permeabilitas tanah berikut

Tabel 8. Distribusi Permeabilitas Berdasarkan Tekstur Tanah

Simbol	Jenis dan Tekstur Tanah	Koefisien Permeabilitas Tanah	Derajat Permeabilitas Tanah	Luas (Km ²)	Persentase (%)
	Kambisol (Lempung/berdebu)	$10^{-5}-10^{-6}$	Rendah	18.264	54.482
	Regosol (Pasir)	$10^{-2}-1$	Sedang – Tinggi	15.259	45.518

Tabel tersebut menunjukkan semakin halus tekstur tanah (lempung/berdebu pada tanah kambisol) memiliki derajat permeabilitas tanah yang lebih rendah, dan sebaliknya. Hal tersebut diakibatkan semakin halus tekstur tanah mengakibatkan ruang antarbutir tanah menjadi kecil sehingga permeabilitas tanah menjadi rendah, dan sebaliknya pada tanah regosol dengan tekstur yang lebih kasar maka akan mengakibatkan ruang antarbutir lebih banyak dan menyebabkan permeabilitas tanah regosol menjadi lebih tinggi.

Perubahan Jenis Tutupan Lahan di Kota Yogyakarta Tahun 2015 – 2016

Berdasarkan pengolahan Citra Sentinel-1, berupa data GRD di Kota Yogyakarta pada rentang waktu 2015 hingga 2016, maka didapatkan hasil bahwa pada tahun 2015 hingga 2016, di Kota Yogyakarta terdapat perubahan jenis tutupan lahan

yang bervariasi. Adapun berdasarkan klasifikasi perubahan jenis tutupan lahan oleh Braun (2020), perubahan jenis tutupan lahan di Kota Yogyakarta dapat diamati pada Peta Distribusi Perubahan Jenis Tutupan Lahan di Kota Yogyakarta Skala 1:25.000 (Gambar 8). Adapun berdasarkan peta tersebut, Kota Yogyakarta terbagi ke dalam tiga kelas perubahan jenis tutupan lahan, yaitu forest, agriculture dan urban. Adapun distribusi rinci terkait luas dan persentase perubahan jenis tutupan lahan terdapat pada tabel berikut.

Tabel 9. Distribusi Luas dan Persentase Perubahan Jenis Tutupan Lahan

Simbol	Perubahan Jenis Tutupan Lahan	Deskripsi	Luas (Km ²)	Persentase (%)
	Forest	Sigma0_VH_mst_03Mar2015_db=-14.194 Sigma0_VV_mst_03Mar2015_db=-7.153 Sigma0_VH_slv1_10Dec2016_db=-13.872 Sigma0_VV_slv2_10Dec2016_db=-7.25	10.202	30.433
	Agriculture	Sigma0_VH_mst_03Mar2015_db=-16.493 Sigma0_VV_mst_03Mar2015_db=-10.189 Sigma0_VH_slv1_10Dec2016_db=-15.952 Sigma0_VV_slv2_10Dec2016_db=-9.836	0.833	2.485
	Urban	Sigma0_VH_mst_03Mar2015_db=-12.3 Sigma0_VV_mst_03Mar2015_db=-3.848 Sigma0_VH_slv1_10Dec2016_db=-12.135 Sigma0_VV_slv2_10Dec2016_db=-4.078	22.488	67.082

Berdasarkan hal tersebut daerah penelitian secara keseluruhan didominasi oleh perubahan jenis tutupan lahan berupa urban. Adapun pemusatan dan berkembangnya daerah urban ini mengacu pada Bowen and Pallister (2002), di mana kecenderungan manusia untuk membangun bangunan, yaitu mengacu pada daerah dengan kondisi fisik berupa relief cenderung datar, akses mudah, tanah yang subur, iklim tidak ekstrem (curah hujan dan penyinaran matahari yang cukup), vegetasi tidak rapat, dan adanya sumber daya yang mencukupi (salah satunya berupa air tanah). Di mana berdasarkan fisiografi oleh van Bemmelen (Gambar 2), daerah penelitian memiliki bentuk lahan berupa dataran. Di mana bentuk lahan dataran cocok dalam menunjang aktivitas manusia dan memudahkan akses maka mengakibatkan konsentrasi daerah urban. Di lain pihak, berdasarkan Peta Geologi Regional Daerah Penelitian Sebagian Peta Geologi

Bersistem Jawa Lembar Yogyakarta (Rahardjo, dkk., 1995) (Gambar 3) daerah penelitian terdiri atas batuan dan endapan yang berasal dari aktivitas gunung berapi yang lapuk dan menghasilkan tanah yang subur. Selain itu, batuan hasil dari aktivitas gunung berapi tersebut juga dapat menjadi akuifer yang baik, hal ini sesuai dengan Prastistho, dkk. (2018). Hal ini juga dibuktikan pada Peta Hidrogeologi Regional Lembar Yogyakarta (Gambar 4), daerah penelitian pada khususnya pada bagian tengah termasuk ke dalam akuifer dengan produktivitas tinggi dan memiliki penyebaran luas. Hal tersebut tentunya dapat mempermudah akses penduduk terhadap kebutuhan air. Maka dari itu, berdasarkan beberapa faktor tersebut menjadikan Kota Yogyakarta memiliki perubahan tutupan lahan urban yang tinggi dibandingkan perubahan jenis tutupan lahan yang lain.

Hubungan Permeabilitas Tanah dan Perubahan Jenis Tutupan Lahan Terhadap Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*) di Kota Yogyakarta Tahun 2015 – 2016

Berdasarkan hasil overlay distribusi permeabilitas tanah dan perubahan jenis tutupan lahan terhadap penurunan muka tanah di Kota Yogyakarta pada tahun 2015 – 2016 maka dihasilkan Peta Keterkaitan Distribusi Permeabilitas Tanah dan Perubahan Jenis Tutupan Lahan Terhadap Penurunan Muka Tanah di Kota Yogyakarta Skala 1:25.000 (Gambar 9). Adapun gambaran terkait hubungan kedua faktor terhadap penurunan muka tanah dapat diamati pada Tabel Keterkaitan Distribusi Permeabilitas Tanah dan Perubahan Jenis Tutupan Lahan Terhadap Penurunan Muka Tanah (Tabel 10).

Adapun berdasarkan tabel tersebut, distribusi permeabilitas tanah rendah dengan perubahan tutupan lahan berupa urban mengalami kondisi penurunan muka tanah yang lebih tinggi. Adapun keterkaitan antara ketiganya dapat diamati pada gambar berikut.



Gambar 10. Keterkaitan Permeabilitas Tanah dan Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*)

Berdasarkan informasi dari gambar tersebut, terjadinya perubahan jenis tutupan lahan menjadi daerah urban mengakibatkan terjadinya pembebanan bangunan. Adapun pembebanan bangunan pada tanah dengan permeabilitas rendah mengakibatkan terjadinya perubahan volume akibat perubahan susunan partikel-partikel tanah. Selain itu, adanya pembebanan bangunan pada tanah dengan permeabilitas tanah rendah mengakibatkan tekanan pori (pore water pressure) meningkat sehingga air pori meninggalkan pori tanah (terjadinya konsolidasi tanah). Hal ini sesuai dengan konsep dari pengertian konsolidasi sendiri dalam Darwis (2018). Adapun ruang pori tanah menjadi kosong akibat konsolidasi tanah dan terjadinya penurunan muka air tanah apabila terus mendapat tekanan akibat beban bangunan di atasnya maka terjadilah penurunan muka tanah. Di mana karena dipengaruhi oleh konsolidasi tanah maka penurunan muka tanah yang terjadi adalah penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*).

5. KESIMPULAN

Adapun berdasarkan hasil penelitian dan analisis mengenai permeabilitas tanah dan perubahan tutupan lahan terkait penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*) di Kota Yogyakarta pada tahun 2015 – 2016 menggunakan Citra Sentinel-1 dan Sistem Informasi Geografis dapat ditarik kesimpulan bahwa dominasi kondisi daerah penelitian yang berupa tanah kambisol dengan tekstur lempung/berdebu yang mengakibatkan permeabilitas tanah menjadi rendah, serta peningkatan tutupan lahan urban yang

menyebabkan peningkatan beban tanah mengakibatkan air dalam pori tanah tertekan oleh beban bangunan di atas tanah sehingga air meninggalkan pori tanah dan terjadi konsolidasi. Akibat peristiwa tersebut terdapat ruang pori yang kosong yang menyebabkan permukaan tanah menjadi turun. Fenomena tersebut dikenal dengan penurunan konsolidasi (consolidation settlement).

DAFTAR PUSTAKA

- Analisis Data, 2012; Sustanugraha, D., 2013. Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) Untuk Penentuan Lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah di Wilayah Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman, dan Kabupaten Bantul (Kartamantul). Skripsi. Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Bambang., dan Seyanta. 2010. Anomali gaya berat, struktur kerak dan mendala tektonik Jawa Timur dan sekitarnya. Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Tersedia online pada laman atau website <https://psg.bgl.esdm.go.id/survei/fokus/171-anomali-gaya-berat-struktur-kerak-dan-mendala-tektonik-jawa-timur-dan-sekitarnya> (diakses Kamis, 6 Mei 2021 pukul 00:26 WIB).
- Bowen, A., and Pallister. 2002. Understanding GCSE Geography. Oxford: Heinemann Educational Publishers, hal. 103.
- Braun, A., 2020. SAR-Based Land Cover Classification with Sentinel-1 GRD Products. Waterloo: SkyWatch Space Applications Inc, hal. 2-13.
- Badan Geologi, Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan - Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2018. Peta Hidrogeologi Skala 1:100.000.
- Badan Pusat Statistik Provinsi D.I. Yogyakarta. 2021. Jumlah penduduk menurut kabupaten/kota di D.I. Yogyakarta (jiwa), 2015 – 2017. Tersedia online pada laman atau website <https://yogyakarta.bps.go.id/indicator/12/133/2/jumlah-penduduk-menurut-kabupaten-kota-di-d-i-yogyakarta.html> (diakses pada Senin, 19 April 2021 pukul 10:09 WIB).
- Burrough, P.A., 1986. Principles of Geographical Information Systems for land Resources Assesment. Oxford: Clarendonprees.
- Darwis, H., 2018. Dasar-Dasar Mekanika Tanah. Yogyakarta: Pena Indis, hal. 224-290.
- Das, B. et al., 2016. Neo-Thinking on Ganges-Brahmaputra Basin Geomorphology. Switzerland: Springer. 10.1007/978-3-319-26443-1
- Dataku. 2020. Jumlah hotel. Dataku. Tersedia online pada laman atau website <http://bappeda.jogjaprovo.go.id/dataku/data-dasar/index/212-jumlah-hotel> (diakses pada Senin, 19 April 2021 pukul 10:29 WIB).
- Easton, Z.M., and Bock, E., 2015. Hydrology Basics and the Hydrologic Cycle. Virginia: Virginia Cooperative Extension, hal. 2.
- Kironoto, B.A., Yulistiyo, B., dan Olli, M.R., 2020. Erosi dan Konservasi Lahan. Yogyakarta: UGM Press, hal.42.
- Prastitho, B., Pratiknyo, P., Rodhi, A., Prasetyadi, C., Massora, M.R., and Munandar, Y.K., 2018. Hubungan Struktur Geologi dan Sistem Air Tanah. Yogyakarta: LPPM UPN “Yogyakarta” Press, hal. 29.
- Purna, T. 2009. Pemanfaatan Metode InSAR untuk Pemantauan Deformasi Gunung Api dan Penurunan Tanah. Bandung: Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung.
- Rahardjo, Wartono., Sukandarrumidi., dan Rosidi, H.M.D. 1995. Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, Skala 1:100.000. Bandung: Puslitbang Geologi.
- Supuwiningsih, N.N., dan Rusli, M., 2020. Sistem Informasi Geografis: Konsep Dasar dan Implementasi. Yogyakarta: Penerbit Andi, hal.6.
- Sahu, P., and Sikdar, P. K., 2011. Threat of land subsidence in and around Kolkata City and East Kolkata Wetlands, West Bengal, India. Indian Academy of Sciences.
- Sari, A.R., 2014. Metode Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar

- (DINSAR) Untuk Analisis Deformasi di Daerah Rawan Bencana Gempa Bumi (Studi Kasus: Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat). Undergraduate Thesis Geomatic Engineering Department, Faculty of Civil Engineering and Planning, Sepuluh Nopember Institute of Technology, Surabaya, hal. 28.
- Soepraptohardjo, M., 1982. Jenis-Jenis Tanah Di Indonesia. Yogyakarta: UGM – Bakosurtanal.
- Sustanugraha, D., 2013. Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) Untuk Penentuan Lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah di Wilayah Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman, dan Kabupaten Bantul (Kartamantul). S1 thesis, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Yogyakarta.
- van Bemmelen, R.W., 1949. The Geology of Indonesia. Martinus Nyhoff, Netherland: The Haque.
- Zein, F.M., Shidiq, I.P.A., and Rokhmatuloh. 2020. Land subsidence prone areas identification in Yogyakarta City using sentinel-1 imageries. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, hal. 448.

LAMPIRAN DATA DAN PETA

Tabel 1. Data Citra Sentinel-1 Untuk Kepentingan Analisis Penurunan Muka Tanah

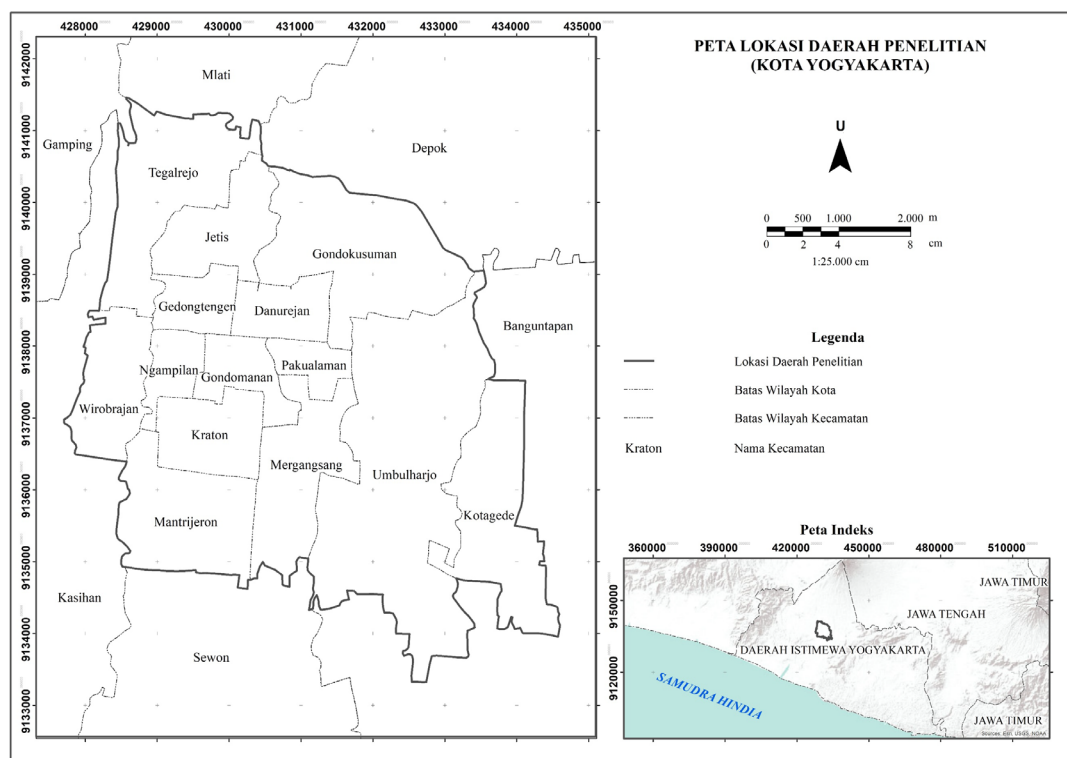
File Name	Type	Acquisition	Track	Orbit
20150106T105742_20150106T105812_004049_004E2F_C690_Orb	SLC	06Jan2015	127	4049
20150223T105741_20150223T105811_004749_005E2A_AF97_Orb	SLC	23Feb2015	127	4749
20150319T105742_20150319T105811_005099_00669F_DDA1_Orb	SLC	19Mar2015	127	5099
20150412T105742_20150412T105812_005449_006F2B_5CAF_Orb	SLC	12Apr2015	127	5449
20150506T105744_20150506T105813_005799_00774B_9F67_Orb	SLC	06May2015	127	5799
20150623T105747_20150623T105816_006499_008A01_102C_Orb	SLC	23Jun2015	127	6499
20150717T105747_20150717T105817_006849_0093BF_C06C_Orb	SLC	17Jul2015	127	6849
20150903T105749_20150903T105819_007549_00A708_C992_Orb	SLC	03Sep2015	127	7549
20150927T105750_20150927T105820_007899_00B06D_647E_Orb	SLC	27Sep2015	127	7899
20151021T105750_20151021T105820_008249_00B9EA_102E_Orb	SLC	21Oct2015	127	8249
20151114T105745_20151114T105814_008599_00C344_550F_Orb	SLC	14Nov2015	127	8599
20151208T105744_20151208T105814_008949_00CD25_CFAC_Orb	SLC	08Dec2015	127	8949
20160101T105743_20160101T105813_009299_00D6F2_BA46_Orb	SLC	01Jan2016	127	9299
20160218T105742_20160218T105812_009999_00EB43_5062_Orb	SLC	18Feb2016	127	9999
20160406T105743_20160406T105813_010699_00FF4A_73F5_Orb	SLC	06Apr2016	127	10699
20160430T105744_20160430T105814_011049_010A11_CEDF_Orb	SLC	30Apr2016	127	11049
20160524T105745_20160524T105815_011399_011557_E938_Orb	SLC	24May2016	127	11399
20160711T105748_20160711T105818_012099_012BB1_91DD_Orb	SLC	11Jul2016	127	12099
20160804T105749_20160804T105819_012449_013728_822B_Orb	SLC	04Aug2016	127	12449
20160828T105750_20160828T105820_012799_0142D7_8DA5_Orb	SLC	28Aug2016	127	12799
20160921T105751_20160921T105821_013149_014E4F_A614_Orb	SLC	21Sep2016	127	13149
20161015T105751_20161015T105821_013499_015975_675C_Orb	SLC	15Oct2016	127	13499
20161108T105751_20161108T105821_013849_01645E_7C6E_Orb	SLC	08Nov2016	127	13849
20161226T105750_20161226T105820_014549_017A27_6722_Orb	SLC	26Dec2016	127	14549

Tabel 2. Data Citra Sentinel-1 Untuk Kepentingan Analisis Perubahan Jenis Tutupan Lahan

File Name	Type	Acquisition	Track	Orbit
S1A_IW_GRDH_1SDV_20150303T221657_20150303T221733_004873_006128_10E0	GRD	03Mar2015	76	4873
S1A_IW_GRDH_1SDV_20161210T221709_20161210T221744_014323_01731A_360F	GRD	10Dec2016	76	14323

Tabel 10. Keterkaitan Distribusi Permeabilitas Tanah dan Perubahan Jenis Tutupan Lahan Terhadap Penurunan Muka Tanah

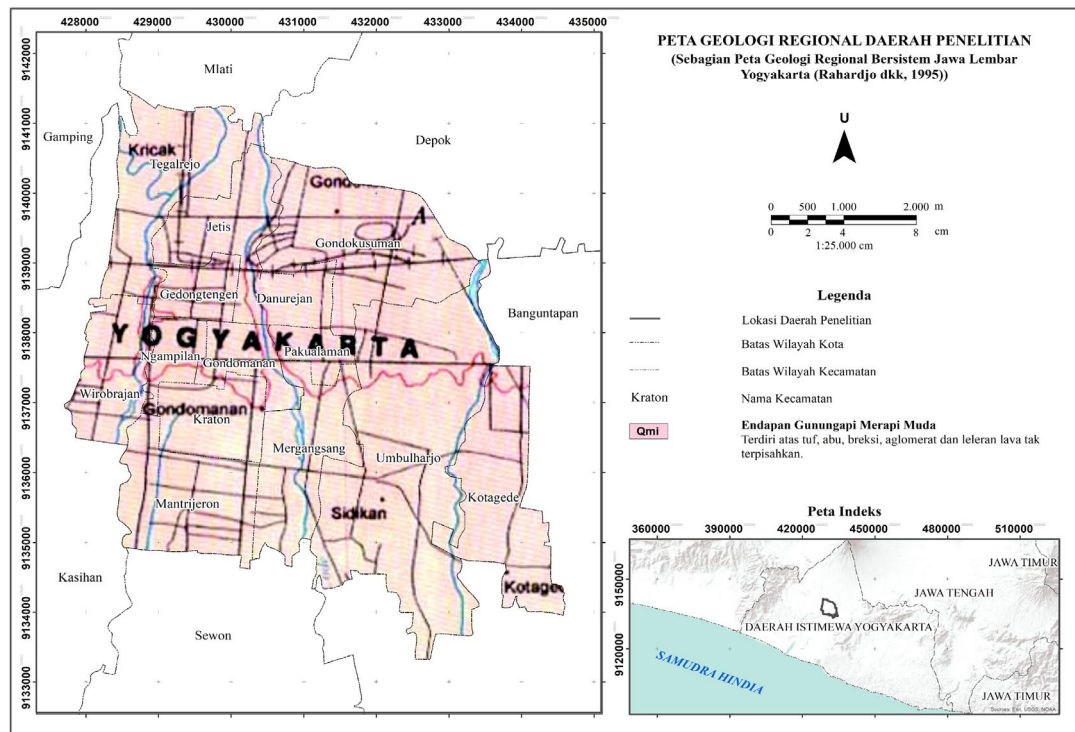
Simbol	Permeabilitas Tanah	Luas (Km ²)	Simbol	Perubahan Jenis Tutupan Lahan	Luas (Km ²)	Simbol	Penurunan Muka Tanah	Luas (Km ²)
	Rendah	18.264		Forest	5.633		Sedang	3.946
							Rendah	1.106
							Sangat Rendah	0.581
				Agriculture	0.459		Sedang	0.104
							Rendah	0.178
							Sangat Rendah	0.177
				Urban	12.17		Sedang	10.601
							Rendah	1.328
							Sangat Rendah	0.243
	Sedang – Tinggi	15.259		Forest	4.569		Sedang	3.139
							Rendah	0.957
							Sangat Rendah	0.473
				Agriculture	0.374		Sedang	0.15
							Rendah	0.112
							Sangat Rendah	0.112
				Urban	10.32		Sedang	9.058
							Rendah	1.056
							Sangat Rendah	0.202



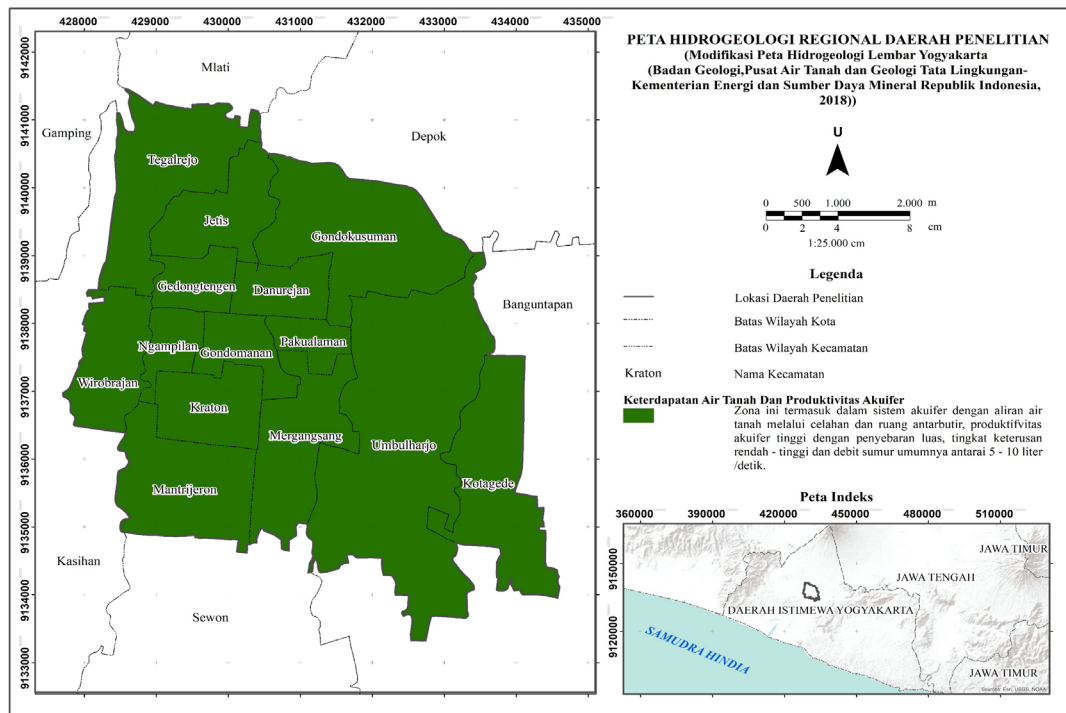
Gambar 1. Peta Lokasi Daerah Penelitian (Kota Yogyakarta) Skala 1:25.000



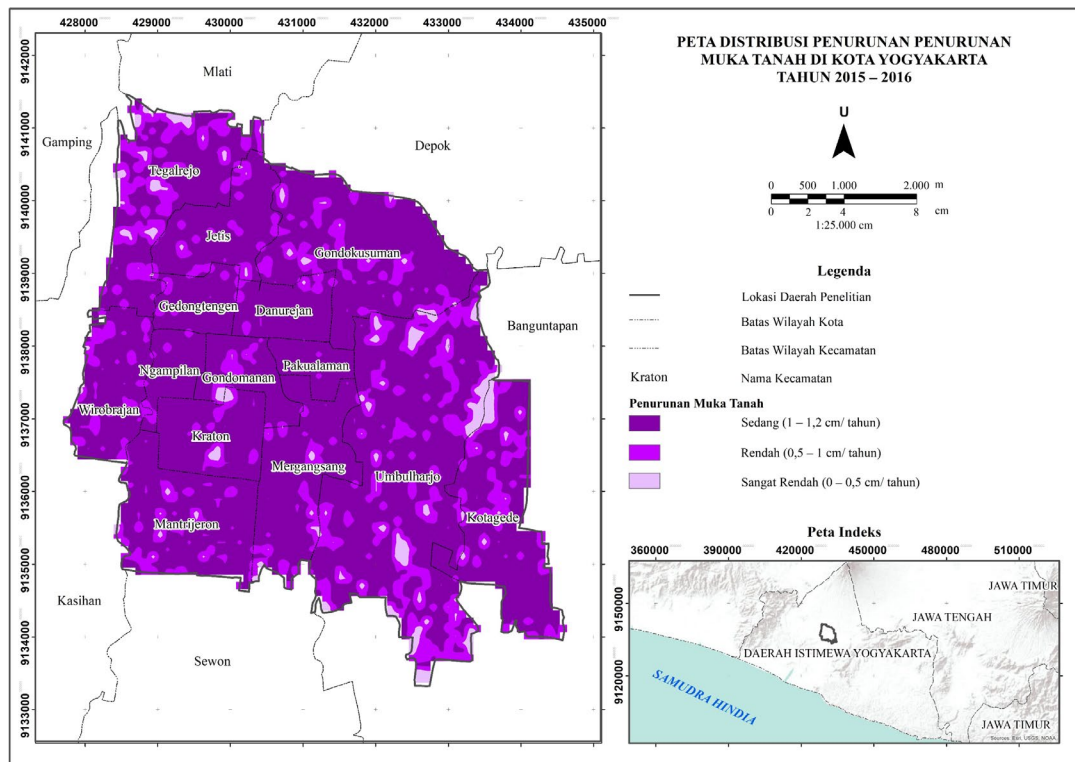
Gambar 2. Fisiografi Daerah Penelitian Sebagian Fisiografi Jawa Bagian Timur (van Bemmelen, 1949; Bambang dan Seyanta, 2010)



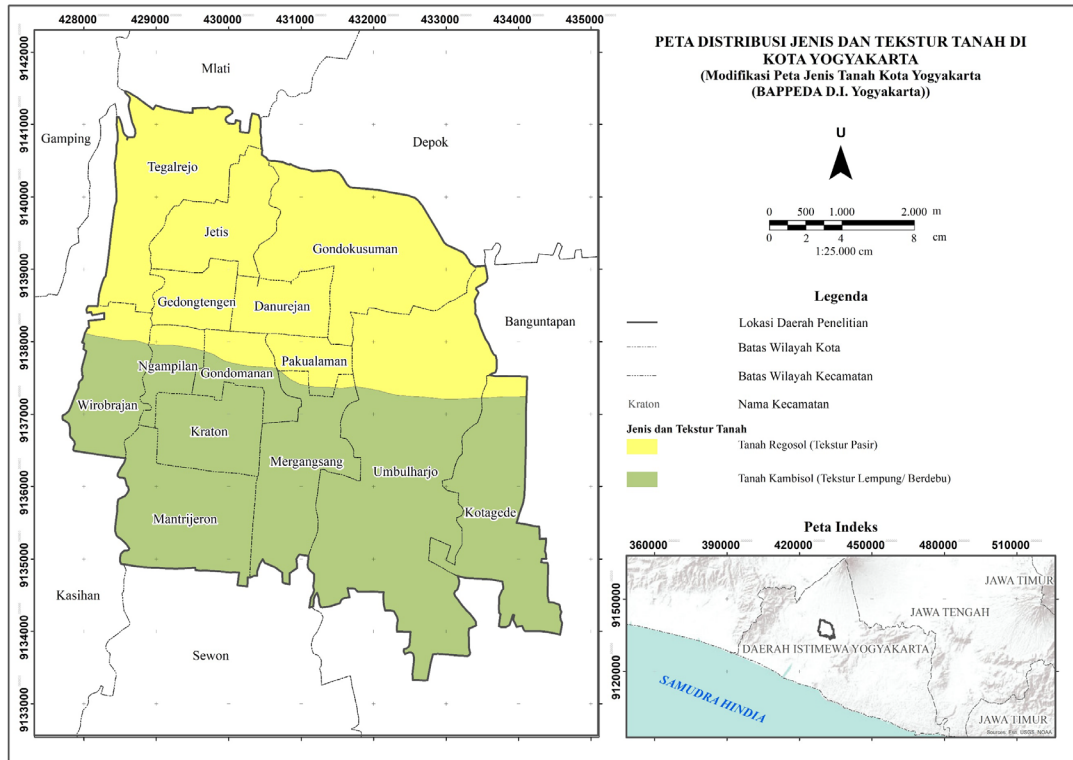
Gambar 3. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian Sebagian Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa (Rahardjo, dkk., 1995)



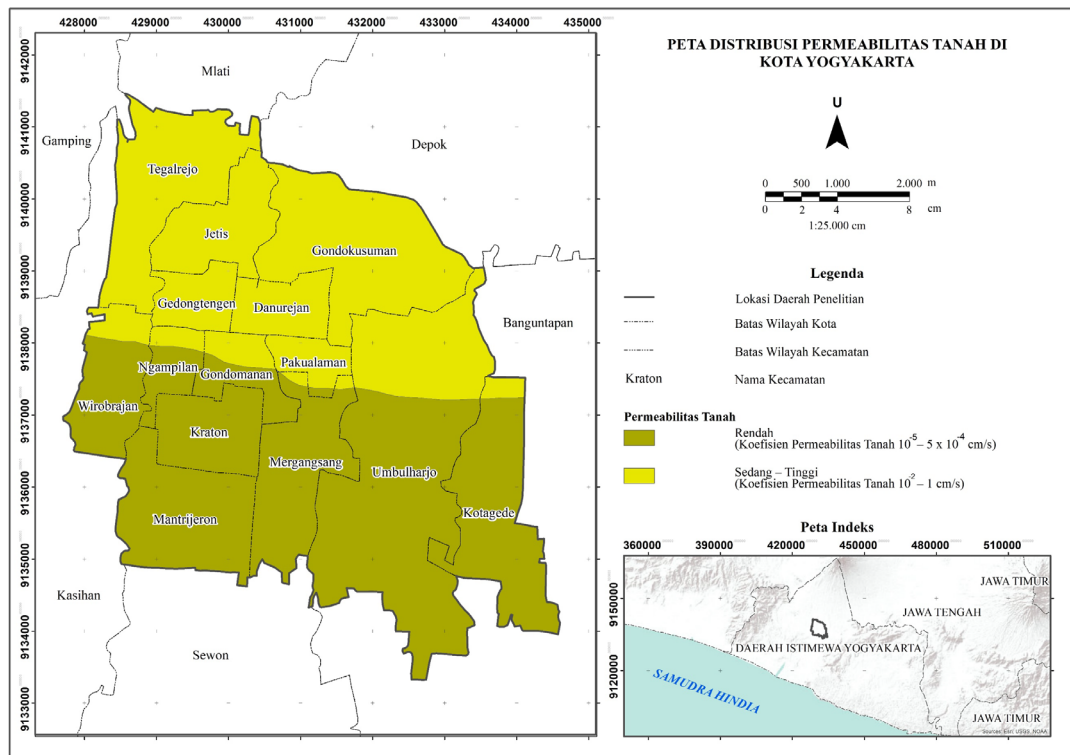
Gambar 4. Peta Hidrogeologi Regional Daerah Penelitian Modifikasi Peta Hidrogeologi Lembar Yogyakarta (Badan Geologi, Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan-Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2018))



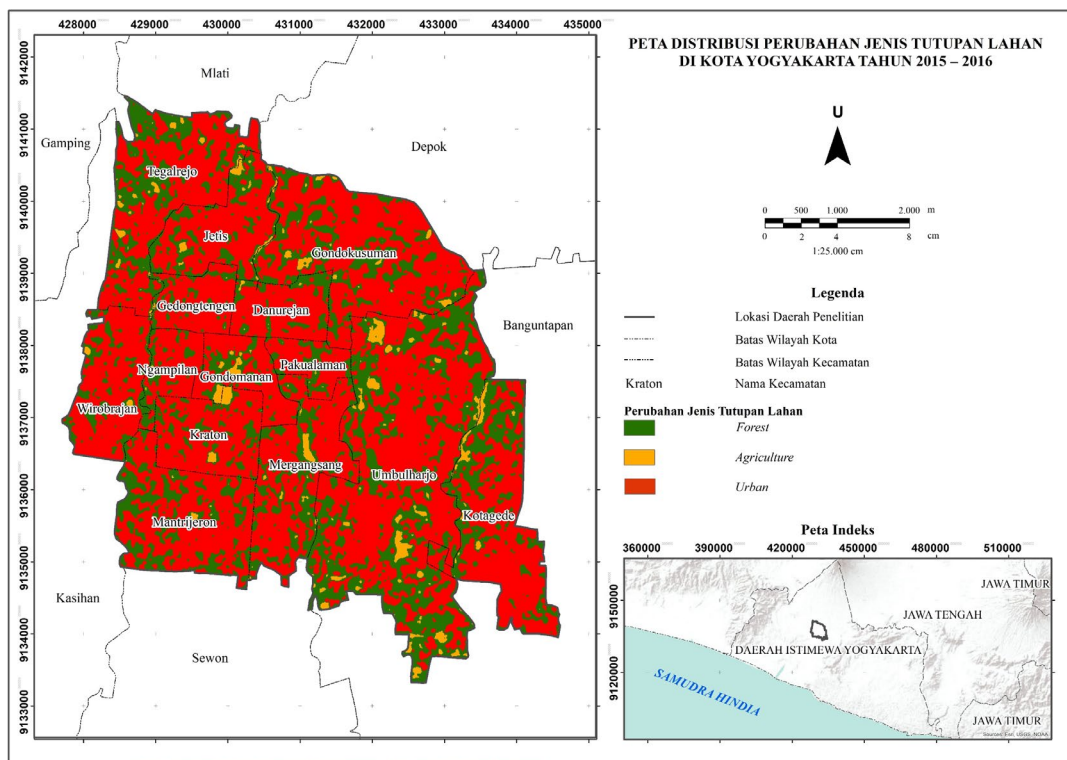
Gambar 5. Peta Distribusi Penurunan Muka Tanah di Kota Yogyakarta Tahun 2015 – 2016 Skala 1:25.000



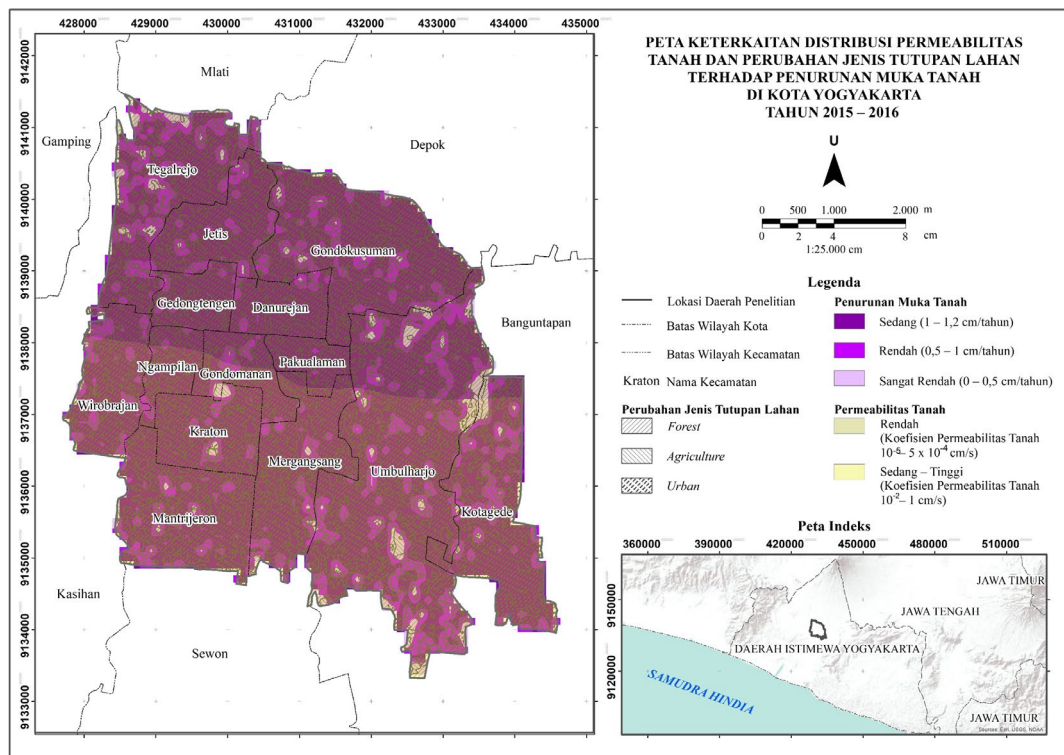
Gambar 6. Peta Distribusi Jenis dan Tekstur Tanah di Kota Yogyakarta (Modifikasi Peta Jenis Tanah Kota Yogyakarta (BAPPEDA D. I. Yogyakarta)) Skala 1:25.000



Gambar 7. Peta Distribusi Permeabilitas Tanah di Kota Yogyakarta Skala 1:25.000



Gambar 8. Peta Distribusi Perubahan Jenis Tutupan Lahan di Kota Yogyakarta Skala 1:25.000



Gambar 9. Peta Keterkaitan Distribusi Permeabilitas Tanah dan Perubahan Jenis Tutupan Lahan Terhadap Penurunan Muka Tanah di Kota Yogyakarta Skala 1:25.000