

PENURUNAN MUKA AIR TANAH SEBAGAI DAMPAK DARI PEMBANGUNAN UNDERPASS DI KOTA SURAKARTA: STUDI NUMERIS

Dian Ramadhan Yuwono¹, Bambang Setiawan² dan Galuh Chrismaningwang³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta, Kentingan, Jl. Ir. Sutami
No.36, Jebres, Kec. Jebres, Kota Surakarta, Jawa Tengah 57126

Email: 1dianramadhan30@student.uns.ac.id, 2bambangsetiawan@staff.uns.ac.id, 3galuh@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan salah satu *underpass* di Kota Surakarta berpotensi mempengaruhi ketinggian muka air tanah di sekitarnya. Penurunan muka air tanah dapat terjadi akibat dari penggalian tanah hingga kedalaman tertentu saat proses konstruksi *underpass* dilakukan. Muka air tanah yang turun dikhawatirkan dapat berpengaruh terhadap ketersediaan air tanah di pemukiman sekitar pembangunan *underpass*, terlebih lagi saat musim kemarau tiba. Penelitian dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh penurunan muka air tanah terjadi sebagai upaya preventif dalam menjaga air tanah. Penelitian ini dilakukan secara numeris menggunakan perangkat lunak Geostudio pada fitur SEEP/W. Fitur SEEP/W mampu menganalisis permasalahan geoteknik utamanya untuk menganalisis debit rembesan. Informasi data tanah didapat dari hasil penyelidikan tanah pada salah satu pembangunan *underpass* di Kota Surakarta. Data tanah yang telah dianalisis akan didefinisikan ke dalam geometri permodelan numeris untuk mendapatkan hasil. Analisis numeris penurunan muka air tanah divariasikan menurut analisis waktu dengan lama maksimal masa konstruksi adalah 1 tahun. Berdasarkan hasil analisis numeris, penurunan muka air tanah terjadi dan membentuk *cone of depression* hingga radius pengaruh terbesar adalah 317,16 meter. Pada data tanah BH-P.10, nilai radius pengaruh penurunan muka air tanah akibat konstruksi *underpass* berkisar antara 176,8 hingga 317,16 meter. Data tanah BH-P.11 yang didefinisikan ke dalam analisis numeris menghasilkan nilai radius pengaruh berdasarkan analisis waktu antara 168,28 hingga 291,39 meter.

Kata kunci: *underpass*, air tanah, radius pengaruh

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan primer bagi manusia. Keberadaan air sangat diperlukan untuk kelangsungan metabolisme tubuh. Manusia mendapatkan air dari tiga sumber, yaitu air permukaan, air hujan, dan air tanah. Air yang tersedia di permukaan dapat diambil dari sungai, waduk, dan danau. Untuk mendapatkan air yang terkandung di dalam tanah, manusia harus membuat sumur untuk menjangkaunya. Manusia lebih memilih menggunakan air yang bersumber dari tanah untuk kebutuhan air bersih dibandingkan dengan air permukaan

Air tanah merupakan air yang terkandung pada akuifer di bawah permukaan tanah dan sumber mata air yang muncul dari dalam tanah. Kemudahan manusia untuk mengambil air yang terkandung di dalam tanah dipengaruhi oleh ketinggian muka air tanah. Jika muka air tanah di suatu tempat tinggi, maka penggalian sumur untuk mendapatkan air tidak perlu dalam. Aliran tanah dapat mengalir ke permukaan secara alami melalui rembesan atau pancaran (Kodoatie, 2012). Namun kedalaman muka air tanah di berbagai daerah tidak selalu sama dan dapat mengalami penurunan level. Penurunan muka air tanah dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti proses geologi yang menyebabkan penurunan alami, pengambilan bahan cair dari dalam perut bumi, beban konstruksi, adanya pengambilan bahan padat dari dalam bumi, sedimentasi daerah cekungan, dan terdapat rongga di bawah permukaan tanah (Kurniawan, 2013 dalam Khoirunisa dkk., 2015).

Pembangunan salah satu *underpass* di Kota Surakarta berpotensi mempengaruhi ketinggian muka air tanah di sekitarnya. *Underpass* merupakan suatu bentuk infrastruktur jalan yang terletak di bawah permukaan tanah dan melintasi jalan lain atau persilangan (Pratama dkk., 2017). Pembangunan *underpass* membutuhkan konstruksi yang tepat dan terukur agar dapat berfungsi dengan baik. Keberadaan *underpass* sangat penting dalam pengembangan infrastruktur Kota Surakarta karena dapat membantu mengurangi kemacetan lalu lintas dan meningkatkan efisiensi transportasi secara keseluruhan.

Corresponding Author

E-mail Address : dianramadhan30@student.uns.ac.id

Penurunan air tanah dapat terjadi akibat dari penggalian tanah untuk pembangunan *underpass* hingga kedalaman tertentu. Muka air tanah yang turun dikhawatirkan dapat berpengaruh terhadap ketersediaan air tanah di pemukiman sekitar pembangunan *underpass*. Terlebih lagi jika musim kemarau tiba, masyarakat sekitar akan kekurangan air bersih karena kekeringan yang terjadi tidak hanya pada permukaan saja, tetapi juga air tanah yang ada ikut mengering.

Debit rembesan yang terjadi pada galian tanah *underpass* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain adalah data parameter tanah dan koefisien permeabilitas tanah. Data parameter tanah merupakan informasi yang dikumpulkan dan dianalisis untuk memahami sifat-sifat fisik dan mekanik tanah di suatu lokasi. Ini sangat penting dalam perencanaan dan desain struktur sipil seperti pembangunan *underpass*. Nilai koefisien permeabilitas (k) pada jenis tanah tertentu memiliki nilai yang berbeda-beda. Menurut Das (1995), nilai koefisien rembesan menurut jenis tanah disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai koefisien permeabilitas pada umumnya (Das, 1995)

Jenis Tanah	k	
	cm/detik	ft/menit
Kerikil bersih	1,0-100	2,0-200
Pasir kasar	1,0-0,01	2,0-20,02
Pasir halus	0,01-0,001	0,02-0,002
Lanau	0,001-0,00001	0,002-0,00002
Lempung	kurang dari 0,000001	kurang dari 0,000002

Riyadi (2023), dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Dampak Pemompaan Terhadap Kondisi Muka Air Tanah dengan *Finite Element Method*”, menyatakan bahwa adanya pembentukan kerucut penurunan air tanah (*cone of depression*) dengan radius pengaruh tertentu akibat pemompaan air tanah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengambilan air tanah secara terus menerus pada jangka waktu tertentu akan berpengaruh terhadap tinggi muka air tanah di lokasi tinjauan. Galian tanah hingga kedalaman tertentu untuk pembangunan *underpass* juga berpotensi mempengaruhi kondisi muka air tanah di sekitar lokasi konstruksi. Prinsipnya sama dengan proses *dewatering*, air akan diambil dari lubang galian ke permukaan sebagai upaya untuk mempermudah dalam proses pengecoran beton untuk *underpass*.

Yang, dkk. (2022) dalam penelitiannya yang berjudul “*A Simplified Method for Leakage Estimation of Clay Core Dams With Different Groundwater Levels*”, menyatakan bahwa perangkat lunak Geostudio pada fitur SEEP/W mampu menganalisis debit rembesan dan dapat mendefinisikan pengaruh perbedaan muka air tanah pada analisis bendungan. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian ini dimana perangkat lunak Geostudio digunakan untuk mengetahui radius pengaruh penurunan muka air tanah akibat adanya rembesan yang terjadi pada masa pembangunan *underpass*.

Pentingnya konservasi air tanah tidak dapat diabaikan karena sumber daya ini merupakan elemen vital bagi keberlanjutan ekosistem dan kehidupan manusia. Upaya konservasi yang efektif diperlukan untuk mempertahankan kualitas serta ketersediaan air tanah, yang berperan penting dalam mendukung kelangsungan hidup manusia. Penelitian ini dilakukan sebagai upaya untuk mengetahui potensi penurunan kualitas air tanah di sekitar pembangunan *underpass*. Penurunan kualitas yang dimaksud adalah turunnya muka air tanah hingga kedalaman tertentu sehingga ketersediaan air tanah akan berkurang. Masyarakat akan kesulitan mencari sumber air bersih jika kedalaman muka air tanah turun hingga beberapa meter.

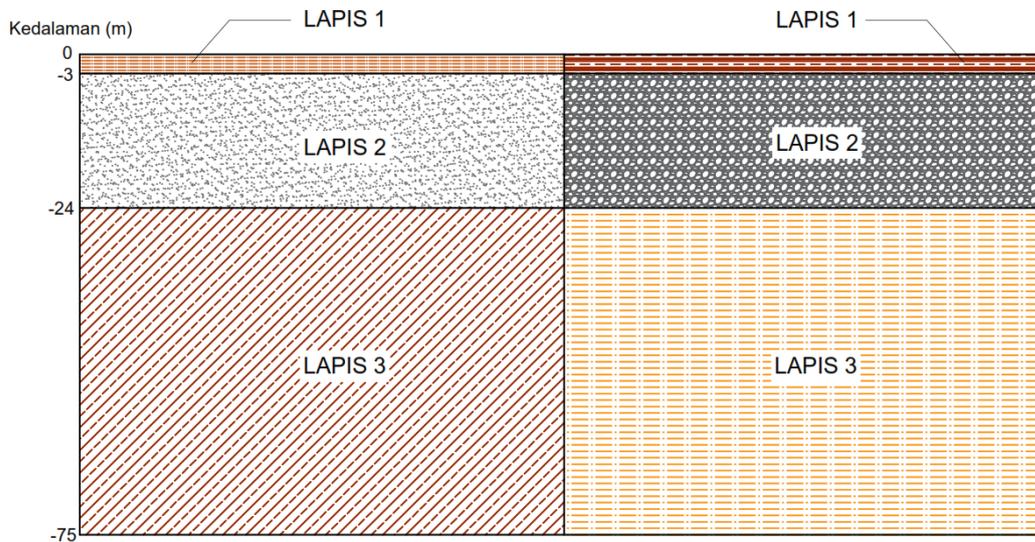
METODE

Penelitian dilakukan untuk menganalisis pengaruh pembangunan *underpass* terhadap muka air tanah di sekitarnya dan melakukan perencanaan sumur resapan sebagai upaya untuk menjaga air tanah. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Geostudio pada fitur SEEP/W 2D. Data tanah dan data teknis *underpass* akan didefinisikan ke dalam permodelan dengan tujuan untuk memperoleh hasil yang diharapkan.

Analisis Data Tanah

Data parameter tanah yang digunakan untuk analisis diambil dari laporan penyelidikan tanah salah satu pembangunan *underpass* di Kota Surakarta. Terdapat 2 titik *borehole* pengambilan sampel tanah yang digunakan

pada penelitian ini. Titik data tanah yang diambil adalah 3 sampel dari masing-masing titik BH-P.10 dan BH-P.11 dengan kedalaman yang berbeda. Interpretasi tanah yang digunakan dalam permodelan Geostudio disajikan pada Gambar 1. Data parameter tanah BH-P.10 digambarkan pada sisi sebelah kiri dan BH-P.11 digambarkan pada sisi sebelah kanan interpretasi tanah.



Gambar 1. Interpretasi lapisan tanah

Analisis Koefisien Permeabilitas Tanah

Koefisien permeabilitas (k) dapat diperhitungkan menggunakan rumus empiris. Koefisien permeabilitas pada tanah kohesif dapat diperhitungkan menurut Carrier dan Backman (1984) menggunakan Persamaan (2.8) adalah sebagai berikut,

$$k = \frac{0,0174}{1 + e} \left\{ \frac{e - 0,027 (PL - 0,24PI)}{PI} \right\}^{4,29} \quad (1)$$

dengan k = koefisien permeabilitas (cm/dt), e = angka pori, PL = batas plastis tanah (%), PI = indeks plastisitas (%).

Chapuis (2004) dalam Ameratunga dkk., (2016) merumuskan untuk perhitungan koefisien permeabilitas pada tanah berpasir atau granular menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$k = 2,4622 \left[D_{10}^2 \left(\frac{e^3}{1+e} \right) \right]^{0,7825} \quad (2)$$

dengan k = koefisien permeabilitas (cm/dt), e = angka pori, D_{10} = *grainsize* efektif.

Persamaan di atas digunakan untuk memperhitungkan koefisien permeabilitas pada tanah berpasir dengan faktor yang berpengaruh adalah data *grainsize* efektif dan angka pori.

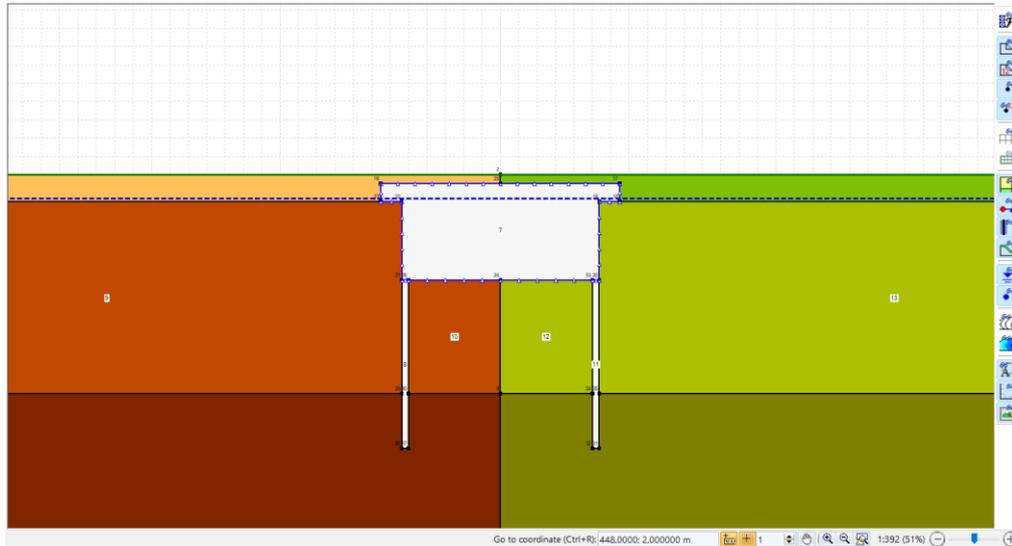
Analisis Numeris Penurunan Muka Air Tanah

Analisis numeris pengaruh pembangunan *underpass* terhadap penurunan muka air tanah dilakukan menggunakan perangkat lunak Geostudio fitur SEEP/W 2D. Analisis ini dilakukan dengan metode *transient* agar dapat mengetahui penurunan muka air tanah berdasarkan waktu tertentu. Berdasarkan data yang diperoleh, proses pembangunan *underpass* akan selesai kurang dari satu tahun. Waktu analisis maksimum yang digunakan adalah selama 366 hari atau satu tahun dan dibagi menjadi 8 tahap. Tahapan analisis waktu bertambah secara linier dengan masing-masing hasil dianalisis pada hari ke-45, 91, 137, 183, 228, 275, 320, dan 366 hari.

Perangkat lunak Geostudio akan menganalisis turunnya muka air tanah dengan memodelkan *piezometric surface* atau tinggi muka air tanah eksisting. Berdasarkan laporan penyelidikan tanah baik di titik BH-P.10 dan BH-P.11,

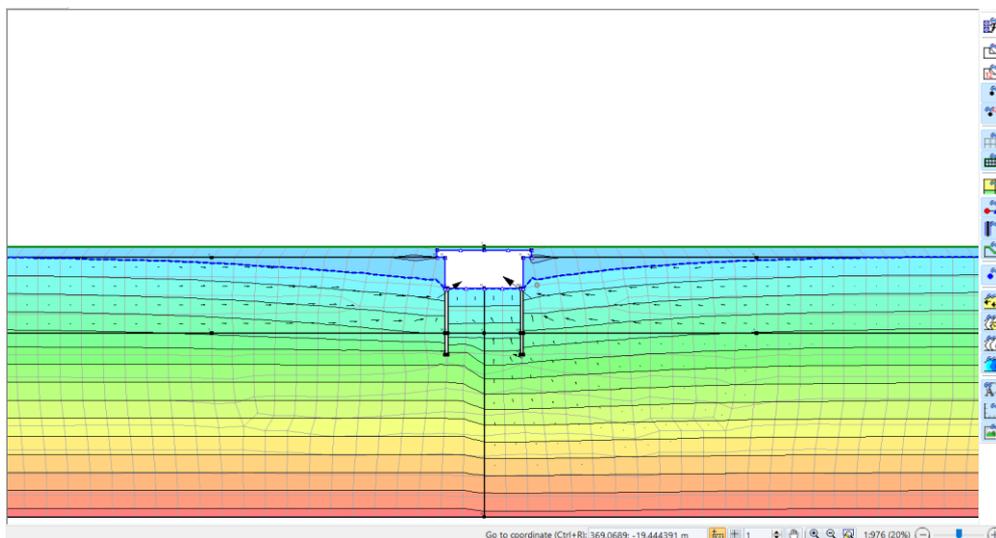
tinggi muka air tanah yang didefinisikan ke dalam permodelan adalah 2,6 meter di bawah permukaan tanah. Permodelan penampang *underpass* mengacu pada gambar teknik yang ada. Model tanah yang didefinisikan pada Geostudio digambarkan hingga sejauh radius 500 meter dari posisi penampang *underpass*. Kedalaman tanah dimodelkan sampai dengan 75 meter di bawah permukaan tanah dan interpretasi tanah dimodelkan menjadi tiga lapis.

Kondisi batas yang digunakan untuk mendefinisikan rembesan yang terjadi ke dalam lubang galian *underpass* adalah *drainage*. Kondisi batas *drainage* digambarkan pada geometri *underpass* sesuai dengan dimensi dari laporan gambar teknik yang ada. Hasil yang diperoleh merupakan respon langsung dari kondisi batas yang didefinisikan ke dalam permodelan, sehingga penggambaran kondisi batas harus dilakukan dengan seksama.



Gambar 2. Definisi permodelan penurunan muka air tanah pada Geostudio

Running permodelan akan dilakukan setelah seluruh data dan kondisi batas telah terdefinisi. Gambar 2 merupakan geometri permodelan yang siap untuk dilakukan *running*. Hasil analisis numeris penurunan muka air tanah akibat pembangunan *underpass* pada hari ke-366 disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil drawdown muka air tanah pada hari ke-366

Gambar 3 merupakan hasil *running* perangkat lunak Geostudio pada hari ke-366. Hasil menunjukkan bahwa adanya penurunan muka air tanah akibat pembangunan *underpass* pada masa konstruksi hari ke-366. Penurunan muka air tanah terjadi hingga radius sejauh ratusan meter dari titik penampang *underpass*. Hasil lengkap pada hari ke-45, 91, 137, 183, 228, 275, 320, dan 366 hari akan disajikan pada bagian hasil dan pembahasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Koefisien Permeabilitas Tanah

Koefisien permeabilitas tanah atau *hydraulic conductivity* diperhitungkan menggunakan data parameter tanah yang didapat dari proyek pembangunan salah satu *underpass* di Kota Surakarta. Perhitungan nilai koefisien permeabilitas dilakukan menggunakan Persamaan (1) untuk tanah kohesif dan Persamaan (2) untuk tanah berpasir. Berdasarkan data tanah yang ada, nilai koefisien permeabilitas disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Rekapitulasi koefisien permeabilitas tanah

Titik Uji	Jenis Tanah	Kedalaman (m)	k (m/s)
BH-P.10	Silty Sand	2,5-3	$4,493 \times 10^{-6}$
BH-P.10	Gravelly sand	8,5-9	$8,755 \times 10^{-5}$
BH-P.10	Clayey Silt	23,5-24	$9,966 \times 10^{-8}$
BH-P.11	Silty Clay	2,5-3	$5,793 \times 10^{-9}$
BH-P.11	Sand	8,5-9	$8,334 \times 10^{-5}$
BH-P.11	Silty Sand	25-25,5	$1,602 \times 10^{-5}$

Tabel 2 menunjukkan bahwa setiap lapisan tanah memiliki kemampuan yang berbeda dalam mengalirkan air. Koefisien permeabilitas yang didapat akan didefinisikan ke dalam geometri permodelan Geostudio untuk mengetahui hasil radius pengaruh akibat pembangunan *underpass*.

Analisis Numeris Penurunan Muka Air Tanah

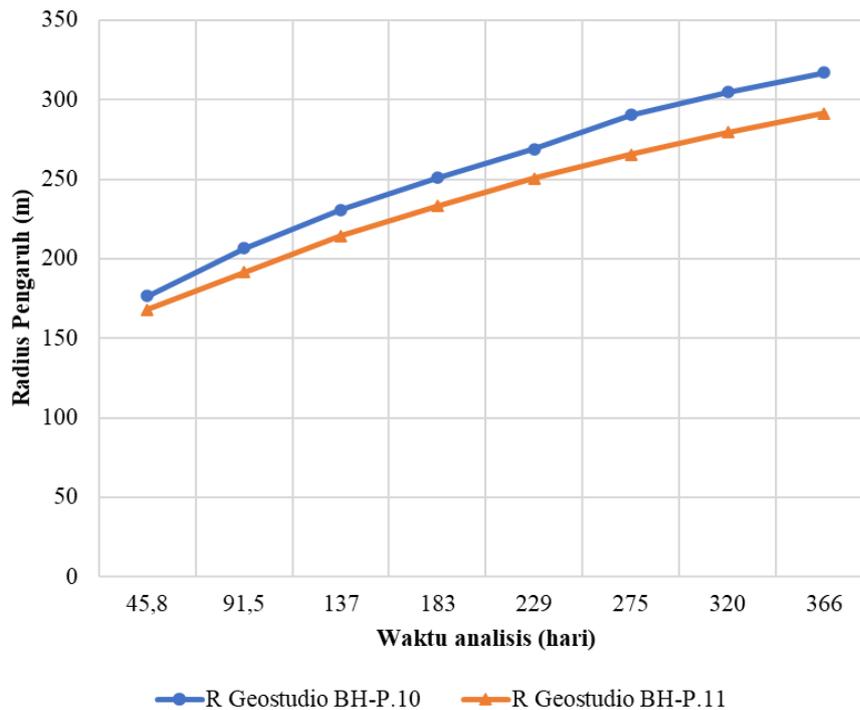
Penurunan muka air tanah terjadi ditandai dengan adanya penurunan *piezometric surface* atau muka air tanah eksisting yang turun hingga kedalaman dan radius tertentu. Hasil radius pengaruh (R) muka air tanah menggunakan Geostudio menurut waktu analisis disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi koefisien permeabilitas tanah

Waktu analisis (hari)	R Geostudio (m)	
	BH-P.10	BH-P.11
45,8	176,80	168,28
91,5	206,68	191,70
137	230,74	214,36
183	250,79	233,33
229	268,96	250,54
275	290,51	265,54
320	304,79	279,49
366	317,16	291,39

Tabel 3 menyajikan hasil analisis numeris menggunakan *software* Geostudio SEEP/W menggunakan analisis *transient*. Terlihat pada tabel tersebut nilai radius pengaruh pembangunan *underpass* di Kota Surakarta berkisar antara 168,28 hingga 317,16 meter. Besaran nilai radius pengaruh (R) dibedakan menurut waktu analisis yang dilakukan dan parameter data tanah yang dimodelkan. Semakin lama waktu penggalan yang dilakukan untuk

pembangunan *underpass*, semakin besar nilai radius pengaruh yang dihasilkan. Hasil radius pengaruh dari analisis numeris disajikan ke dalam grafik hubungan antara waktu (hari) dengan jarak radius pengaruh (m) pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan waktu (hari) dengan nilai radius pengaruh (m) hasil analisis Geostudio

Gambar 4 menunjukkan hasil analisis radius pengaruh pada geometri model data tanah BH-P.10 dan BH-P.11 memiliki nilai yang berbeda. Perbedaan nilai radius pengaruh terjadi karena perbedaan data parameter tanah dan koefisien permeabilitas tanah.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut,

- berdasarkan analisis numeris, terjadi penurunan muka air tanah akibat pembangunan salah satu *underpass* di Kota Surakarta,
- terdapat perbedaan hasil nilai radius pengaruh antara geometri tanah BH-P.10 dan BH-P.11 karena terdapat perbedaan data parameter tanah yang didefinisikan, dan
- semakin lama waktu analisis (proses kontruksi) dilakukan, semakin besar nilai radius pengaruh yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PPK salah satu proyek *underpass* di Kota Surakarta yang telah memberikan data untuk penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada dosen KBK Mekanika Tanah FT UNS dan teman sejawat yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ameratunga, J., Sivakugan, N., Das, B.M. (2016). *Developments in Geotechnical Engineering Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*. Springer, New Delhi.
- Das, B.M., Mochtar, I., Noor, I. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2002). *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Khoirunisa, R., Yuwono, B.D., Wijaya, A.P. (2015). "Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2015 Menggunakan Perangkat Lunak Gamit 10.5". *Jurnal Geodesi Undip*, Vol. 3(3), 341–350.
- Kodoatie, J.K. (2012). *Tata Ruang Air Tanah*. Andi, Yogyakarta.

- Muntaha, Y., Prayogo, T.B., & Yuliani, E. (2022). "Permodelan Sumur Resapan Inovatif untuk Konservasi Air Tanah Permeabilitas Rendah Daerah Kota Malang". *Jurnal Teknik Pengairan*, Vol. 13(1), 36–47.
- Riyadi, F.A. (2023). "Analisis Dampak Pemompaan Terhadap Kondisi Muka Air Tanah Dengan Finite Element Method". *Jurnal Teknologi Pertambangan*, Vol. 9(1), 71-81.
- Yang, C., Shen, Z., Xu, L., Shen, H. (2022). "A Simplified Method for Leakage Estimation of Clay Core Dams with Different Groundwater Levels". *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, Vol. 14(1961), 1-23.