

PENGARUH AIR LAUT TERHADAP KARAKTERISTIK SEDIMEN DI DAERAH TAMBAKHARJO, SEMARANG BARAT

EFFECT OF SEAWATER ON SEDIMENT CHARACTERISTICS IN IN TAMBAKHARJO AREA, WEST SEMARANG

Faiq Nirmala¹, Dian Agus Widiarso², Dicky Muslim¹, dan Bombom Rachmat Suganda¹

¹Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, E-mail: faiqnirmala@gmail.com

²Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Diterima : 26-12-2019, Disetujui : 04-05-2020

ABSTRAK

Daerah pesisir utara Kota Semarang merupakan salah satu daerah yang terkena dampak intrusi air laut. Intrusi air laut dapat disebabkan oleh pengambilan air tanah secara berlebihan, dan naiknya muka air laut. Terjadinya intrusi air laut dapat berpengaruh pada kondisi karakteristik sedimen hingga lingkungan. Interaksi antara air laut dan sedimen dapat mempercepat proses kompresibilitas pada sedimen dan dapat mengakibatkan penurunan tanah. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya daerah Semarang yang mengalami intrusi air laut juga mengalami penurunan tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adanya pengaruh intrusi air laut terhadap karakteristik fisik dan kimia sedimen pada pesisir utara Semarang. Metodologi yang digunakan meliputi pengambilan sampel sedimen pada 4 titik dengan pemboran teknik dan pengambilan sampel air laut di daerah Tambakharjo, Semarang Barat. Sampel sedimen yang telah diambil diuji menggunakan uji XRD, sedangkan sampel air laut diuji menggunakan uji kimia air. Hasil dari pengujian XRD dari sampel sedimen dan uji kimia air laut digunakan untuk melakukan pemodelan interaksi antara air laut dan sedimen. Pemodelan pada penelitian ini adalah pemodelan ekuilibrium menggunakan perangkat lunak Phreeqc 3.4. Hasil pemodelan menunjukkan adanya penurunan volume pada sedimen. Penurunan tersebut disebabkan oleh kecenderungan mineral monmorilonit melepaskan SiO_2 saat berada pada air laut. Interaksi sedimen dengan air laut juga menunjukkan perubahan monmorilonit menjadi illit pada kondisi yang sama.

Kata kunci: Intrusi air laut, monmorilonit, illit, Phreeqc 3.4.

ABSTRACT

North coastal of Semarang city is one of the regions that is affected by seawater intrusion. Seawater intrusion caused by excessive groundwater extraction, both shallow and deep groundwater. Besides being caused by excessive groundwater, seawater intrusion can also occur due to sea-level rise. The appearance of seawater intrusion can affect environmental conditions, such as sediment characteristics. Seawater and sediment interaction can accelerate sediment compressibility and can cause land subsidence. Previous studies in the Semarang area show that seawater intrusion co-occurrence with land subsidence. This study aims to determine the effect of seawater intrusion on physical and chemical characteristics of sediment. The methodology used in this research are included the sediment sampling at 4 points using geotechnical drilling and seawater sampling in Tambakharjo, West Semarang. Sediment samples are analyzed by using the XRD method and seawater samples are analyzed for their chemical compositions. The results of analysis have been used to model the interactions between seawater and sediments. Modeling carried out is an equilibrium model using Phreeqc 3.4 software. Modeling shows a decrease volume in the sediment. The decrease causes by the tendency of montmorillonite to release SiO_2 while in seawater. The interaction of sediments with seawater also shows the change of montmorillonite to become illite under the same conditions.

Keywords: Seawater intrusion, montmorillonite, illite, Phreeqc 3.4

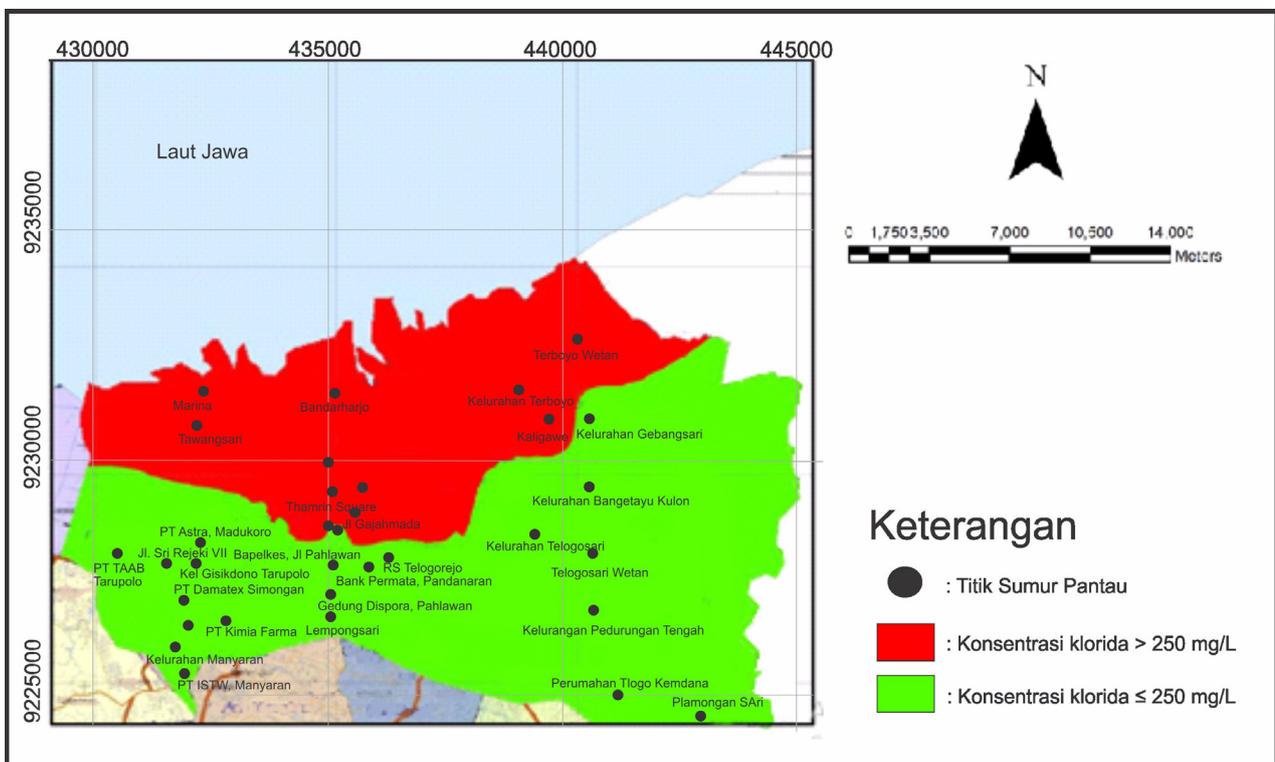
PENDAHULUAN

Semarang merupakan salah satu kota dengan pertumbuhan penduduk yang cukup pesat. Pertumbuhan penduduk yang cukup pesat menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan air bersih. Hingga saat ini masyarakat masih menggunakan air tanah, baik air tanah dangkal maupun dalam untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Pengambilan air tanah yang tidak sesuai dengan kaidah tata guna air tanah dapat mengakibatkan dampak negatif terhadap lingkungan tersebut. Hal tersebut diketahui berdasarkan jumlah sumur bor pada daerah Semarang yang mengalami peningkatan 45,01% setiap tahunnya (Putranto dan Rde, 2011). Pengambilan air tanah yang tidak terkendali dapat mengakibatkan terjadinya intrusi air laut. Intrusi air laut merupakan proses masuknya air laut ke akuifer dikarenakan adanya rongga pori yang kosong, yang kemudian menyebabkan bercampurnya air laut dengan air tanah (Suhartono dkk., 2013). Selain disebabkan oleh pengambilan air tanah yang berlebihan, intrusi air laut juga dapat diakibatkan oleh adanya kenaikan muka air laut (Rahmawati dkk., 2013; USGS, 2017).

Intrusi air laut merupakan masalah yang sering terjadi pada daerah pesisir utara Jawa, salah satunya di Kota Semarang. Pesisir utara Semarang merupakan salah satu daerah yang terkena dampak

intrusi air laut. Kondisi air tanah yang terkontaminasi dengan air laut dapat diidentifikasi berdasarkan besarnya nilai konsentrasi klorida (Cl). Beberapa daerah di kota Semarang mengalami kontaminasi air laut, mempunyai nilai konsentrasi Cl yang melebihi 250 mg/L (Suhartono dkk., 2015). Sebaran konsentrasi Cl pada kota Semarang dapat dilihat pada Gambar 1.

Intrusi air laut menyebabkan terjadinya kontak antara air laut dan sedimen yang ada pada pesisir pantai. Adanya interaksi air laut dengan material sedimen dapat berpengaruh pada perubahan karakteristik dari material sedimen tersebut, khususnya perubahan pada mineral lempung, yakni monmorilonit (Prithiviraj dkk., 2017). Daerah pesisir utara Semarang ditempati oleh endapan aluvium pantai yang tersusun atas lempung, lanau, dan pasir (Thanden dkk., 1996). Adanya material lempung pada daerah pesisir memungkinkan terjadinya interaksi dengan air laut. Tingginya salinitas pada air laut dapat berpengaruh pada berubahnya sifat fisik pada sedimen salah satunya ialah angka pori pada sedimen tersebut (Sarah dkk., 2018). Proses tersebut mengakibatkan konsolidasi material sedimen menjadi lebih cepat yang berakibat pada penurunan tanah (Sarah dkk., 2018). Berdasarkan studi literatur didapatkan bahwa daerah yang

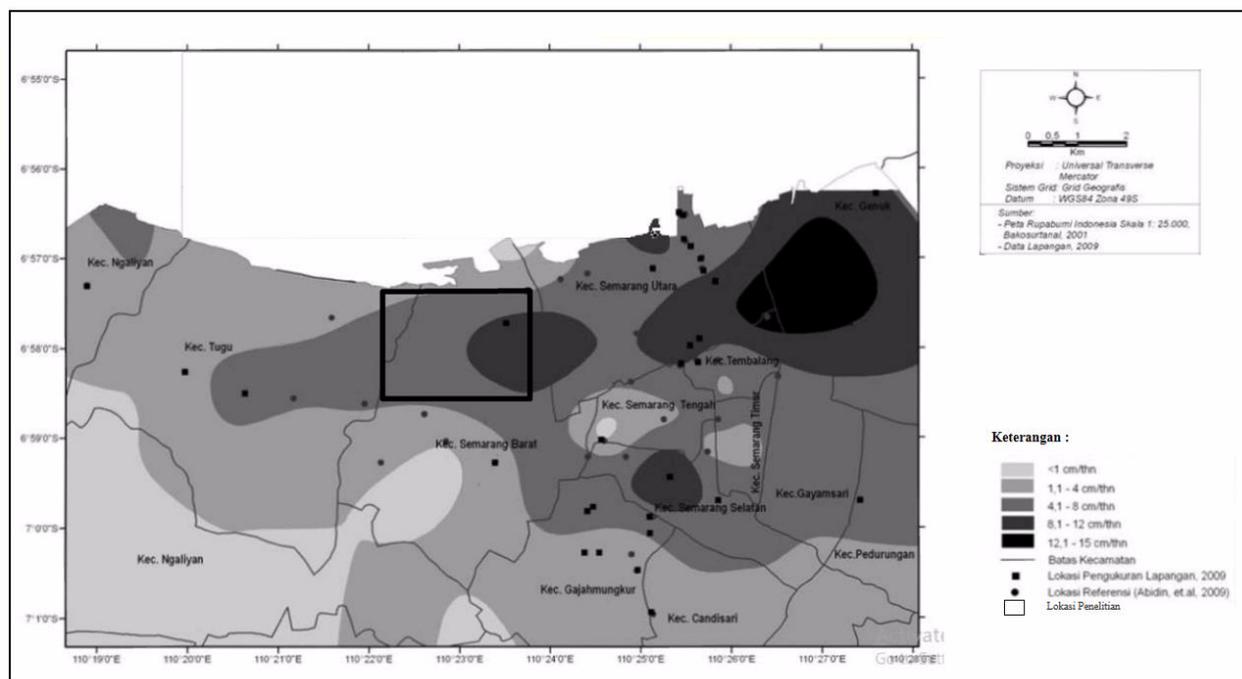


Gambar 1. Peta sebaran konsentrasi klorida Kota Semarang (Suhartono dkk., 2015)

mengalami intrusi air laut juga mengalami penurunan tanah.

Pengamatan dengan menggunakan data elevasi *bench mark*, *spot height*, serta data citra *Ikonos* pada Kota Semarang, daerah Tambakharjo mengalami laju penurunan sebesar 4,1-8 cm per tahun (Ismanto dkk., 2012). Peta laju sebaran penurunan tanah dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh intrusi air laut terhadap sifat sedimen pada daerah pesisir utara Semarang.

susunan lapisan tanah bawah permukaan hingga kedalaman 50 m terdiri atas lempung, lanau-lempung, dan pasir lanau. Penyebaran lempung cenderung menebal ke arah utara, sedangkan pada daerah selatan cenderung menebal lapisan lanau-lempung-pasir (Sarah dkk., 2013). Ketidakteraturan lapisan lempung, lanau, dan pasir yang saling menjemari dengan konglomerat Formasi Damar menunjukkan adanya proses sedimentasi yang berulang selama pengendapannya (Soebowo dkk., 2014). Keberadaan lempung mengindikasikan adanya potensi mengembang dan menyusut pada sedimen



Gambar 2. Peta Laju Penurunan Tanah di Kota Semarang (Ismanto dkk., 2012)

Geologi Daerah Penelitian

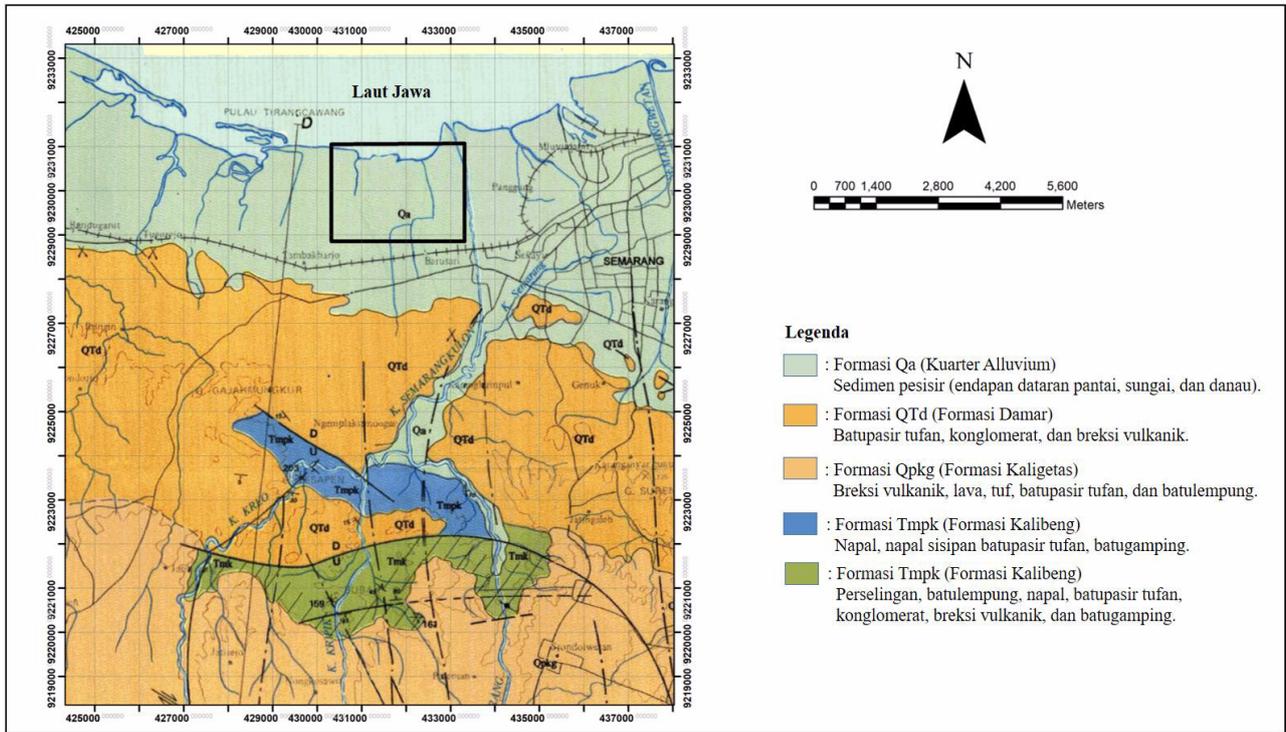
Daerah pesisir utara Semarang terbentuk akibat proses sedimentasi Resen yang dipengaruhi oleh perubahan muka air laut yang terjadi dari Akhir Plistosen hingga saat ini (Sarah, 2019). Pada abad ke 8 garis pantai pesisir utara Jawa Tengah bagian timur masih menjorok ke arah Purwodadi, sedangkan bagian barat berada pada kaki Gunung Ungaran (Soekmono dalam Sarah, 2019).

Daerah penelitian seperti pada Gambar 3 merupakan kawasan pesisir yang terdiri atas endapan dataran pantai, danau, dan sungai, yang didominasi oleh Formasi Qa (Kuartar Aluvium), dalam hal ini litologi penyusun daerah tersebut ialah endapan lempung, lanau dan pasir dan campuran (Thanden dkk., 1996; Budiono dan Panggabean, 2008). Di Semarang bagian barat

dikarenakan lempung terdiri atas mineral lempung yang memiliki sifat mengembang dan menyusut (Nelson dan Miller, 1992).

Mineral Lempung

Lempung tersusun atas mineral lempung dan mineral sangat halus yang lainnya dengan berukuran $\leq 0,002$ mm, berbentuk lempengan-lempengan pipih (Chen, 1975; Das, 2009). Dalam bidang keteknikan terdapat beberapa mineral yang dianggap penting, diantaranya ialah kaolinit, illit, dan monmorilonit. Kaolinit merupakan mineral lempung dengan struktur kisi 1:1 yang tersusun atas satu kepingan gipsit tetrahedral dan satu kepingan silika oktahedral (Das, 2009). Illit memiliki struktur kisi 2:1 yakni tersusun atas dua kepingan gipsit tetrahedral dan satu kepingan silika oktahedral yang terikat satu sama lain



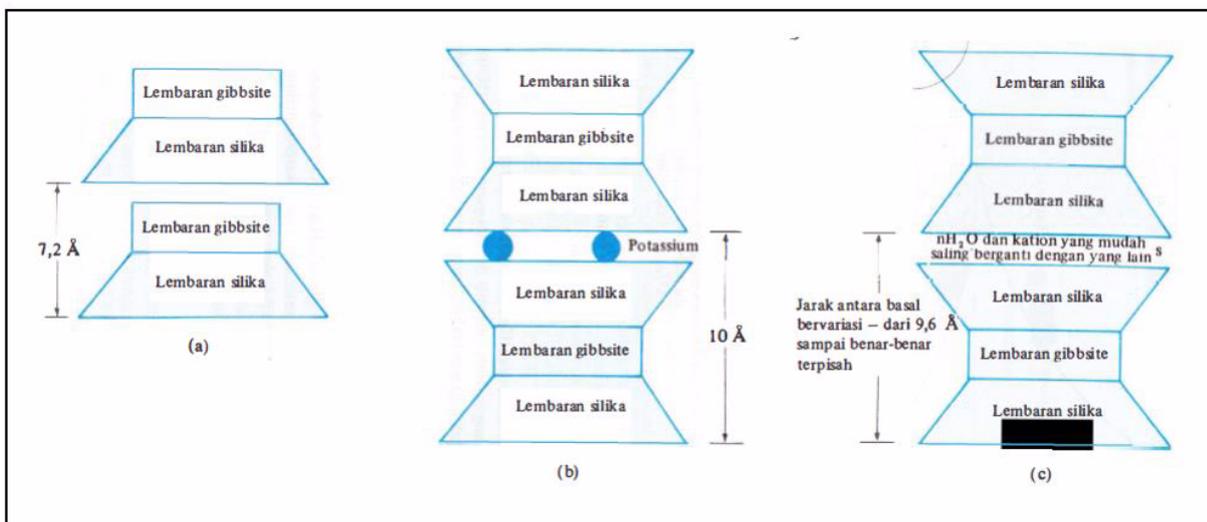
Gambar 3. Peta Geologi Daerah Semarang (Thanden dkk., 1996)

dengan ikatan antar ion-ion kalium/potassium yang terdapat pada setiap kepingan (Das, 2009).

Monmorilonit memiliki struktur yang mirip dengan illit, namun pada monmorilonit terdapat substitusi isomorfik dari magnesium dan besi pada lembar aluminium oktahedral serta tidak memiliki ion kalium pada mineral ini karena air mengisi antar lapisan tersebut (Das, 2009). Monmorilonit memiliki kecenderungan untuk melepas senyawa SiO_2 ketika berada dalam air laut

(Carroll dan Starkey, 2013). Selain itu pada kondisi yang sama ion Kalium juga dapat masuk ke dalam monmorilonit dan dapat merubah monmorilonit menjadi illit (Aslani dkk., 2014). Gambar 4 menunjukkan struktur dari kaolinit, illit, dan monmorilonit.

Daerah pesisir utara Semarang sangat didominasi oleh lempung dan daerah pesisir Semarang bagian timur memiliki lempung dengan tingkat ekspansif (mengembang) yang tinggi,



Gambar 4. Struktur kaolinit (a), illit (b), dan monmorilonit (c) (Das dkk., 1999)

diperkirakan didominasi oleh monmorilonit, sedangkan pada bagian barat cenderung memiliki tingkat ekspansifitas lebih rendah (Yuliyanti dkk., 2012). Lempung juga tersebar pada dasar laut perairan Semarang yang didominasi oleh kaolinit, ilit, serta *mixed layer* antara ilit, dan monmorilonit (Budiono dan Panggabean, 2008).

INTRUSI AIR LAUT DI PESISIR SEMARANG

Intrusi air laut pada pesisir Semarang telah terjadi dalam kurun waktu yang cukup lama. Hal tersebut dapat diketahui berdasarkan peningkatan salinitas dari tahun 1995 hingga tahun 2008. Pada tahun 2008 sekitar 55% air tanah pada pesisir Semarang merupakan air asin (Rahmawati dan Marfai, 2014). Nilai resistivitas pada daerah pesisir Semarang yang ditunjukkan pada Gambar 5 menunjukkan nilai yang rendah, sehingga dapat diinterpretasikan mengandung air asin (Widada dkk., 2018). Penyebab intrusi air laut dapat diakibatkan oleh beberapa hal, diantaranya ialah pengambilan air tanah yang berlebihan dan adanya kenaikan muka air laut.

Pengambilan Air Tanah pada daerah pesisir Semarang

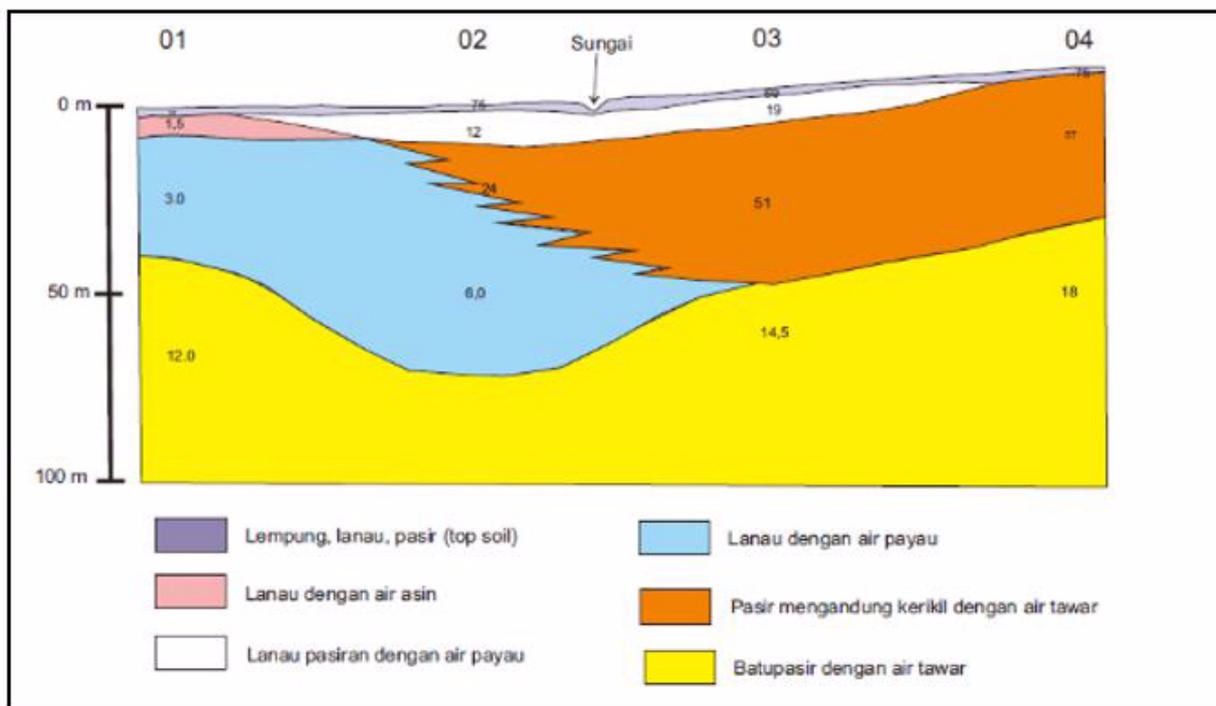
Sumur bor di Semarang pertama kali dibuat pada tahun 1841. Jumlah sumur bor meningkat sangat pesat pada tahun 1900, jumlah total sumur

bor 16 sumur, kemudian meningkat menjadi 260 di tahun 1990-an dan pada tahun 2000 menjadi 1.194 sumur. Jumlah sumur bor mengalami peningkatan rata-rata sebesar 45,01% per tahun (Putranto and Rde, 2011).

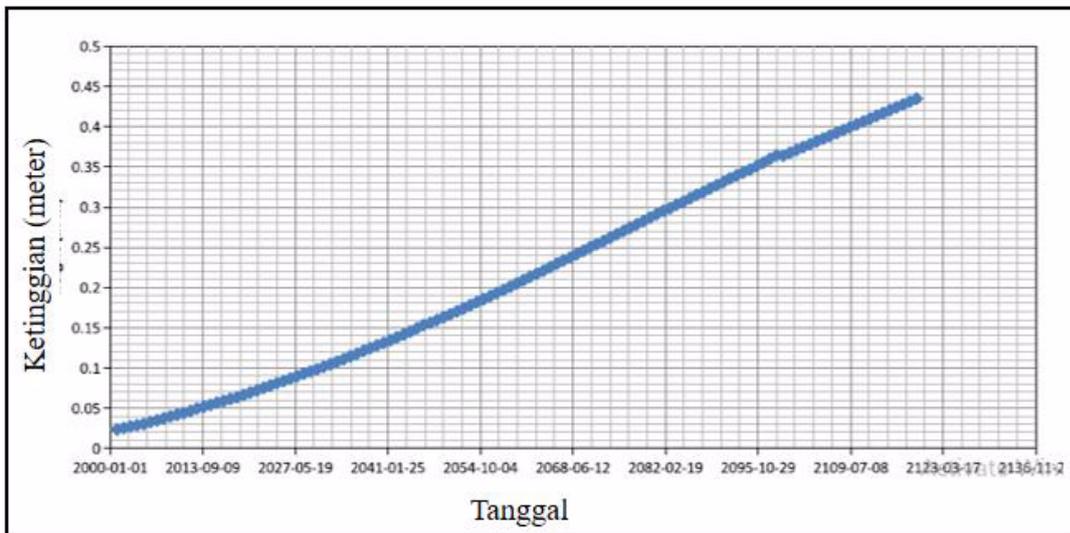
Kenaikan Muka Laut

Kenaikan muka air laut akibat pencairan gletser dan es yang ada di kutub, menyebabkan volume air yang ada di laut meningkat secara drastis. Fenomena ini sangat berpengaruh pada kota-kota yang berada di pesisir, salah-satu diantaranya kota Semarang, hal ini diindikasikan oleh adanya anomali muka air laut yang menunjukkan tren kenaikan sejak 2009 hingga 2011 sebesar 12,83 mm/tahun (Cahyadi dkk., 2016).

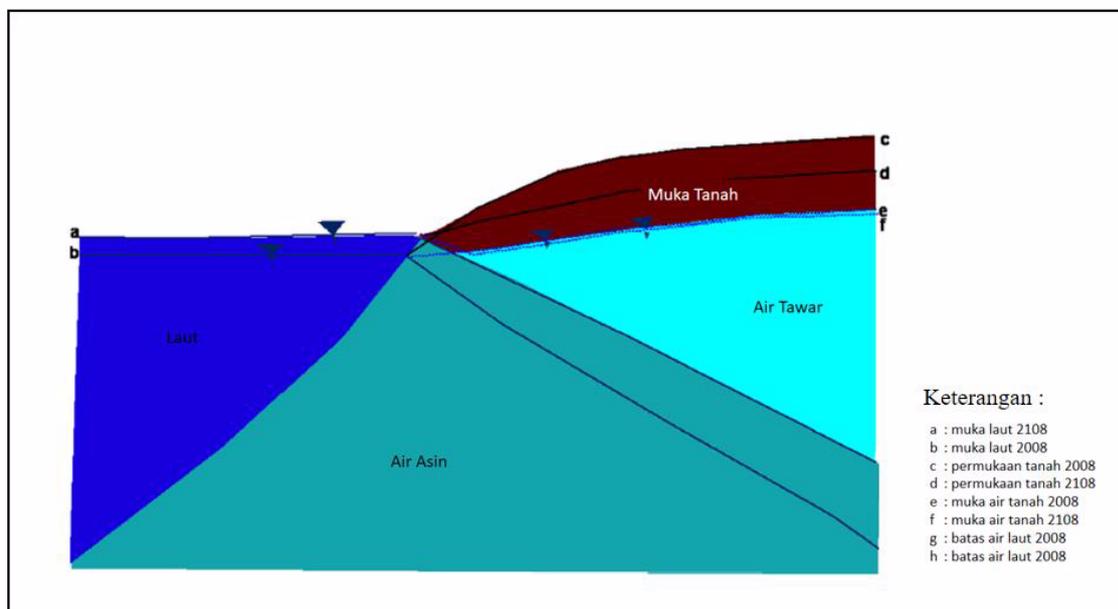
Berdasarkan pemodelan yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya, kenaikan air laut berlangsung hingga tahun 2120. Grafik kenaikan muka air laut tersebut ditunjukkan pada Gambar 6. Pada tahun 2108 kenaikan muka air laut pada daerah pesisir utara Semarang dapat mencapai 0,435-1,275 meter di atas muka laut sekarang (Rahmawati dkk., 2013). Naiknya muka air laut dapat menyebabkan air laut masuk ke dalam air tawar, atau dapat dikatakan sebagai penyebab intrusi air laut seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 5. Penampang litologi berdasarkan interpretasi data resistiviti (Widada dkk., 2018)



Gambar 6. Grafik kenaikan muka air laut (Rahmawati dkk., 2013)

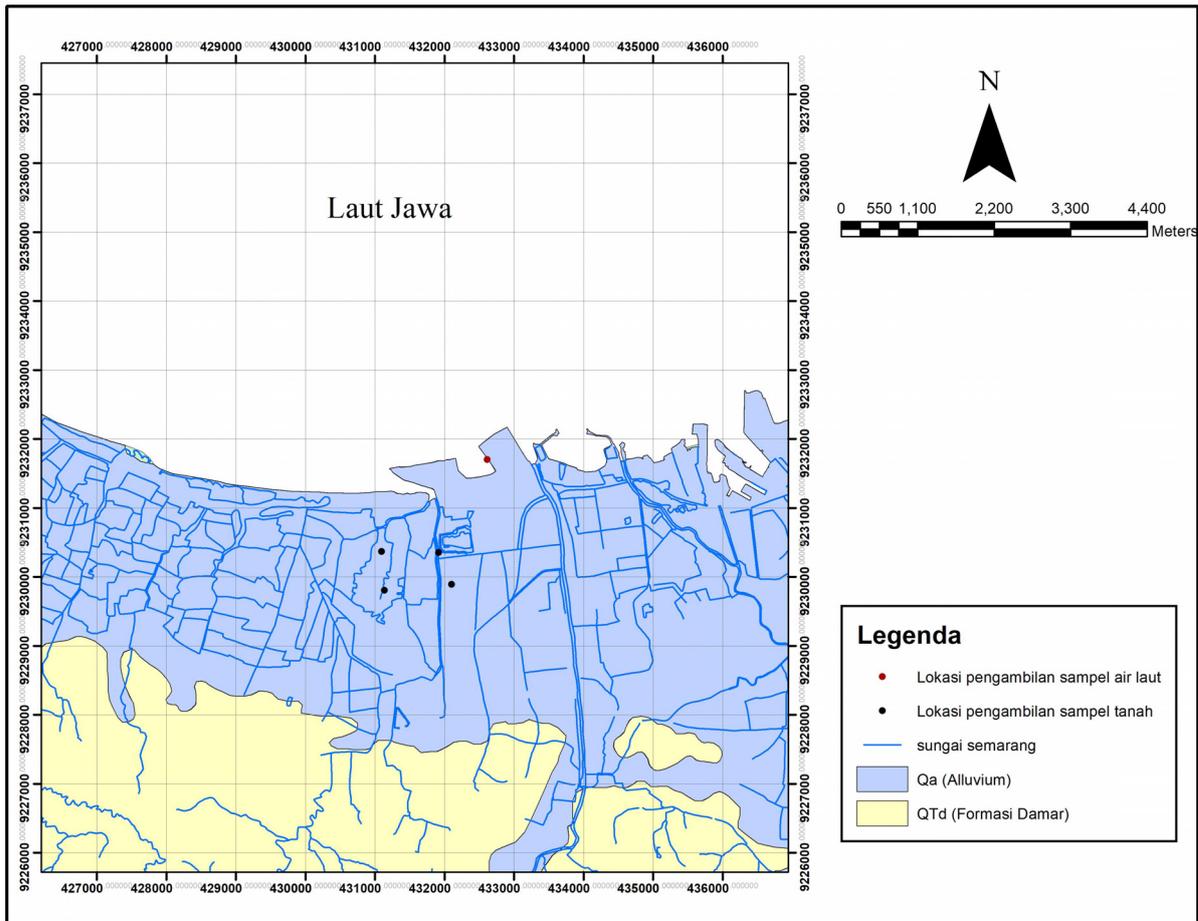


Gambar 7. Sketsa pengaruh kenaikan muka air laut terhadap intrusi air laut (Rahmawati dkk., 2013)

METODE

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pengambilan sampel sedimen pada 4 titik menggunakan pemboran teknik dan melakukan pengambilan sampel air laut di daerah Tambakharjo, Semarang Barat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Sampel sedimen yang telah diambil, kemudian diuji menggunakan uji XRD untuk mengetahui mineralogi penyusun yang ada pada keempat sampel tersebut, sedangkan sampel air laut diuji menggunakan uji kimia air untuk mengetahui parameter kimia dari air laut tersebut. Berdasarkan hasil pengujian tersebut

dilakukan pemodelan interaksi antara air laut dengan sedimen pada daerah penelitian. Pemodelan dilakukan untuk mengetahui pengaruh air laut terhadap karakteristik fisik dan kimia sedimen. Pemodelan yang dilakukan pada penelitian ini ialah pemodelan ekuilibrium dengan menggunakan perangkat lunak Phreeqc 3.4. Phreeqc, yaitu sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan simulasi reaksi kimia. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh Parkhurst, Plummer, dan Thorntenson dari USGS (*United States Geological Survey*) di tahun 1980.



Gambar 8. Peta Lokasi Penelitian pada Daerah Tambakharjo, Semarang Barat (Thanden dkk., 1996)

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

HASIL PENELITIAN

Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pengujian XRD dilakukan untuk mengidentifikasi sifat fisik struktur dalam mineral dan analisis dilakukan secara kualitatif dengan membandingkan nilai pada kurva hasil analisis dengan nilai-nilai pada beberapa kurva mineral standar. Hasil akhir dari pengujian ini berupa mineralogi dari sampel sedimen. Pengujian dilakukan pada empat sampel yang diambil dari daerah Tambakharjo, Semarang Barat.

Komposisi mineral hasil pengujian XRD menunjukkan adanya persentase rata-rata mineral kalsit 0-16%, kuarsa 41,54-61%, kaolinit 17,71-40,56%, ilit 0-27,86%, monmorilonit 0-4,86%. Grafik hasil XRD dapat dilihat pada Gambar 9.

Pemodelan Menggunakan Perangkat Lunak Phreeqc 3.4

Pemodelan dilakukan untuk mengetahui mineral yang terbentuk atau yang larut akibat adanya kontak air laut dengan material sedimen.

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Phreeqc 3.4. Parameter sedimen yang digunakan ialah persentase mineral penyusun sedimen, sedangkan parameter air laut yang digunakan ialah parameter kimia air laut. Dalam pemodelan ini, perbandingan sedimen dan air laut yang digunakan, yaitu satu liter sedimen dengan lima liter air laut.

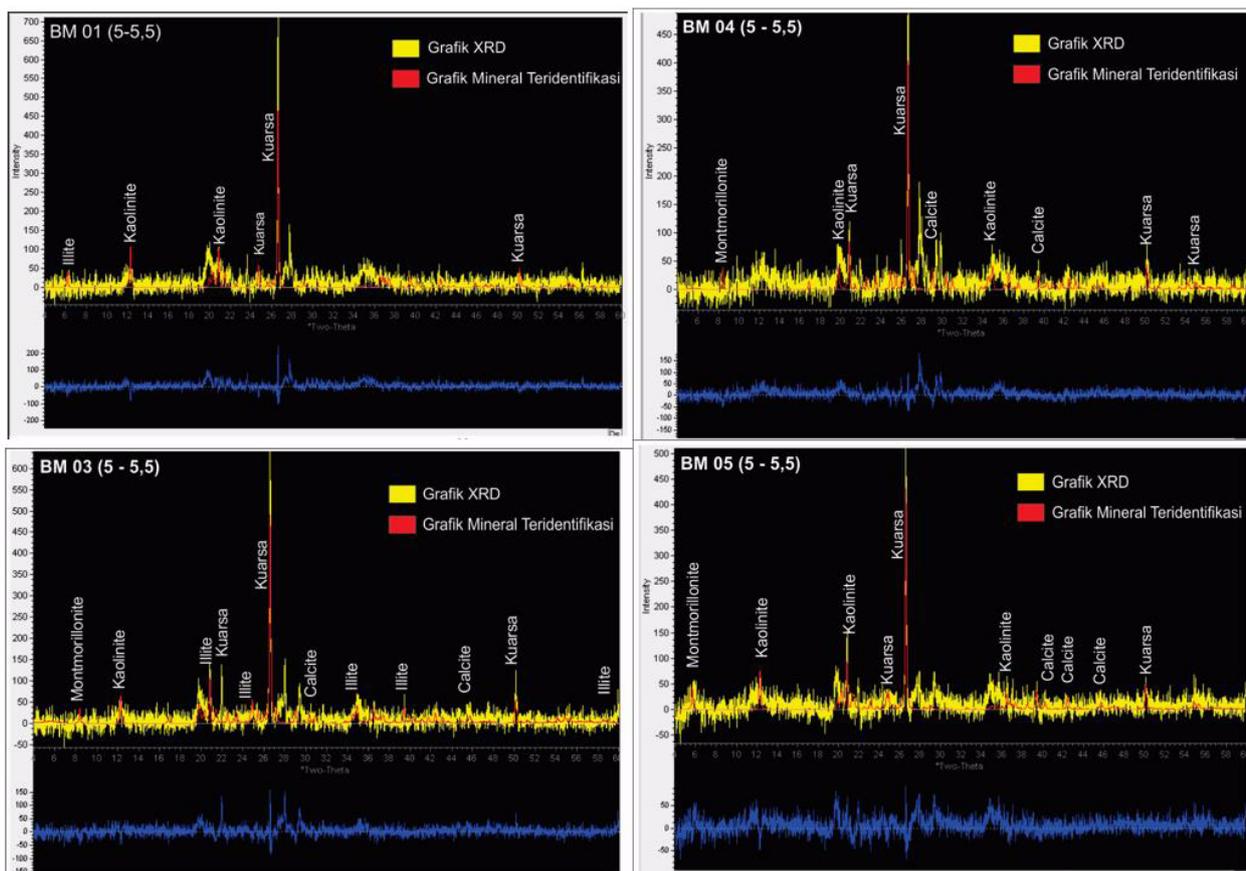
Parameter Sedimen

Parameter sedimen yang dimasukkan pada pemodelan ialah konversi dari persentase mineral hasil XRD yang kemudian dikonversi dalam bentuk mol seperti pada Persamaan 1.

$$M = W \cdot V \cdot \rho \cdot \text{GFW} \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

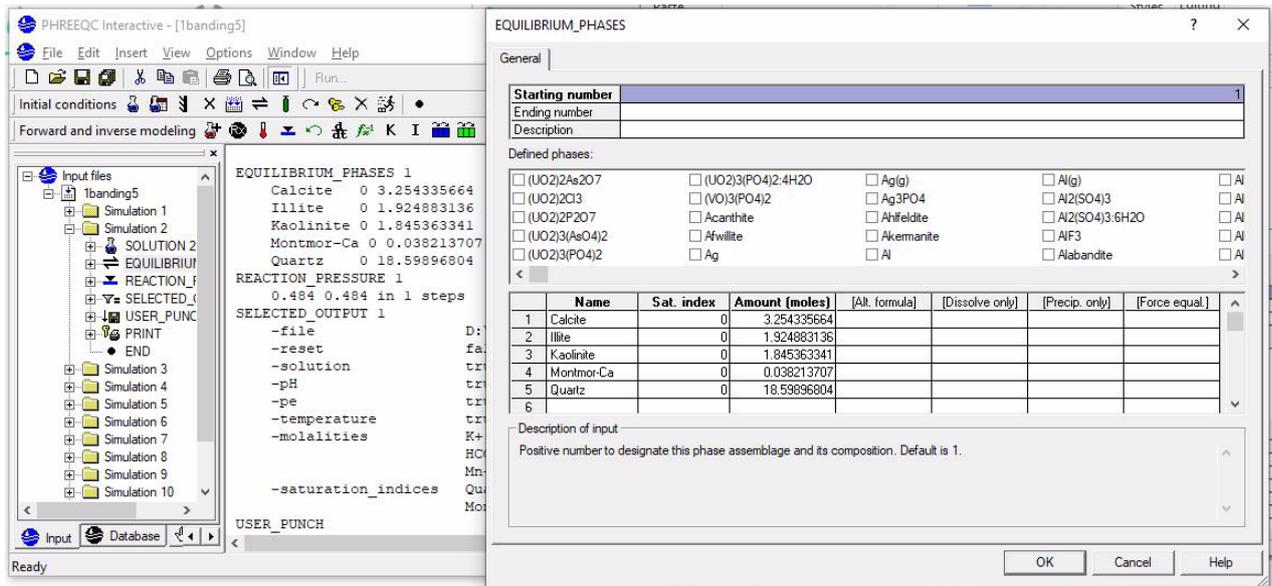
- M = jumlah total mol (mol)
- ρ = densitas sedimen (g/cm³)
- W = persentase mineral (%)
- GFW = massa molar (g/mol)
- V = volume (cm³)



Gambar 9. Grafik Hasil XRD pada empat sampel

Tabel 1. Hasil konversi persentase mineral ke dalam bentuk mol

Konversi Persentase Mineral ke Mol					
BM-01					
Persentase (%)	Kalsit	Kuarsa	Kaolinit	Ilit	Monmorilonit
Mol	0	23,97160453	4,116330958	0,300801356	0
BM-03					
Persentase (%)	Kalsit	Kuarsa	Kaolinit	Ilit	Monmorilonit
Mol	3,254335664	18,59896804	1,845363341	1,924883136	0,038213707
BM-04					
Persentase (%)	Kalsit	Kuarsa	Kaolinit	Ilit	Monmorilonit
Mol	4,171828172	26,49966711	2,214092036	0	0,052288415
BM-05					
Persentase (%)	Kalsit	Kuarsa	Kaolinit	Ilit	Monmorilonit
Mol	3,176903097	22,20808921	2,96051286	0	0,224823793



Gambar 10. Tampilan data molaritas mineral yang dimasukkan pada perangkat lunak Phreeqc 3.4

Hasil konversi persentase mineral ke dalam bentuk molar ditunjukkan pada Tabel 1. Kemudian pada Gambar 10 disajikan data mineral yang dimasukkan pada perangkat lunak Phreeqc 3.4.

Sampel BM-03 menunjukkan adanya pengurangan total volume sedimen setelah mengalami interaksi dengan air laut sebesar 1,42 cm³ dengan volume akhir pada masing-masing

Tabel 2. Data Kimia Air Laut

Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Fe ³⁺ mg/L	Mn ²⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	Li ⁺ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L
315,00	749,50	0,72	0,01	248,50	7293,50	0,10	153,90	13393,90	246,50

Parameter Air Laut

Parameter air laut yang digunakan pada pemodelan ialah data kimia air laut yang dapat dilihat pada Tabel 2. Kemudian pada Gambar 11 merupakan tampilan data kimia air pada perangkat lunak Phreeqc 3.4.

Hasil Pemodelan

Berdasarkan pemodelan yang dilakukan menggunakan perangkat lunak Phreeqc 3.4 diketahui adanya perubahan pada beberapa sampel air dan sedimen. Hasil pemodelan pada sedimen menunjukkan perubahan volume total sedimen yang didapat dari jumlah volume masing masing mineral, sedangkan perubahan air laut ditunjukkan pada perubahan jumlah senyawa kimia dalam ppm (*part per million*).

Hasil Pemodelan pada Sampel Sedimen

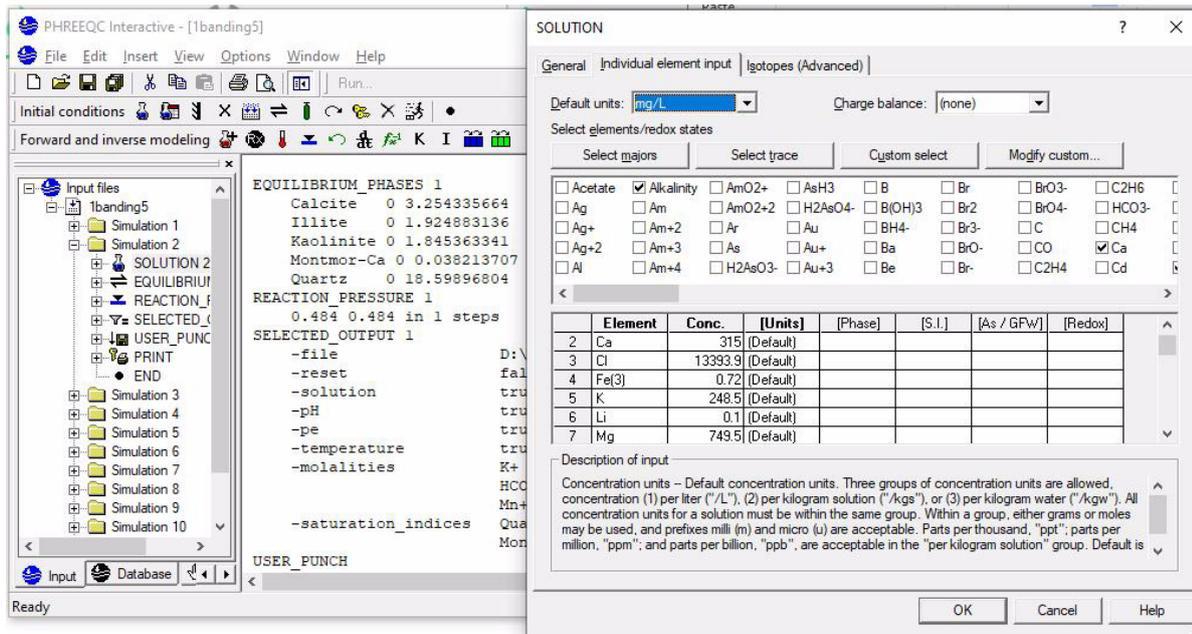
Pada sampel BM-01 menunjukkan perubahan volume yang tidak seperti halnya pada perubahan, yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pemodelan pada BM-01

Jenis Mineral	BM-01	
	Volume Awal (cm ³)	Volume Akhir (cm ³)
Kuarsa	549,70	549,70
Kaolinit	405,60	405,60
Ilit	44,70	44,70
Total	1000,00	1000,00

Tabel 4. Hasil pemodelan pada BM-03

Jenis Mineral	BM-01	
	Volume Awal (cm ³)	Volume Akhir (cm ³)
Kuarsa	549,70	549,70
Kaolinit	405,60	405,60
Ilit	44,70	44,70
Total	1000,00	1000,00



Gambar 11. Tampilan data kimia air pada perangkat lunak Phreeqc 3.4

mineral ialah kalsit 121,12 cm³; kuarsa 416,09 cm³; kaolinit 176,78 cm³; illit 281,37 cm³; dan monmorilonit 3,22 cm³. Hasil pemodelan yang menunjukkan volume awal dan akhir mineral pada sampel BM-03, ditunjukkan pada Tabel 4.

Sampel BM-04 menunjukkan berkurangnya total volume sedimen setelah mengalami interaksi dengan air laut sebesar 1,43 cm³; dengan volume

Tabel 5. Hasil pemodelan pada BM-04

Jenis Mineral	BM-04	
	Volume Awal (cm ³)	Volume Akhir (cm ³)
Kalsit	160,00	160,04
Kuarsa	610,00	610,70
Kaolinit	219,00	218,69
Illit	0,00	2,86
Monmorilonit	11,00	6,28
Total	1000,00	998,57

akhir pada masing-masing mineral ialah kalsit 160,04 cm³; kuarsa 610,7 cm³; kaolinit 218,69 cm³; dan monmorilonit 6,28 cm³. Pada sampel ini terbentuk mineral illit sebesar 2,86 cm³. Hasil pemodelan yang menunjukkan volume awal dan akhir mineral pada sampel BM-04 ditunjukkan pada Tabel 5

Sampel BM-05 menunjukkan pengurangan total volume sedimen setelah mengalami interaksi dengan air laut sebesar 1,47 cm³ dengan volume akhir pada masing-masing mineral ialah kalsit

Tabel 6. Hasil pemodelan pada BM-05

Jenis Mineral	BM-05	
	Volume Awal (cm ³)	Volume Akhir (cm ³)
Kalsit	125,20	125,24
Kuarsa	525,30	526,05
Kaolinit	300,90	300,54
Illit	0,00	2,94
Monmorilonit	48,60	43,75
Total	1000,00	998,53

125,24 cm³; kuarsa 526,05 cm³; kaolinit 300,54 cm³; dan monmorilonit 43,75 cm³. Pada sampel ini terbentuk mineral illit sebesar 2,94 cm³. Hasil pemodelan yang menunjukkan volume awal dan akhir mineral pada sampel BM-05 ditunjukkan pada Tabel 6.

Hasil Pemodelan pada Air Laut

Pemodelan pada air laut menunjukkan adanya perubahan jumlah senyawa dalam ppm setelah mengalami interaksi dengan sedimen. Dari pemodelan didapatkan senyawa yang mengalami penambahan ialah Ca²⁺, Cl⁻, Fe³⁺, Mg²⁺, Na⁺, SO₄²⁻, dan SiO₂⁻. sedangkan HCO₃⁻ dan K⁺ mengalami penurunan. Terjadi anomali pada ion K⁺ pada air laut yang mengalami interaksi dengan sampel BM-01. Kalium pada air laut yang mengalami interaksi pada sampel sedimen tersebut justru mengalami kenaikan. Pada Tabel 3 merupakan hasil kimia air setelah pemodelan.

Tabel 7. Hasil kimia laut setelah pemodelan interaksi dengan sedimen

KODE SAMPEL	Tipe Air	HCO ₃ ⁻ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Cl ⁻ mg/L	Fe ³⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Li ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Mn ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	SiO ₂ ⁻ mg/L
BM-01	ppm awal	153,90	315,00	13393,90	0,72	248,50	0,10	749,50	0,01	7293,50	246,50	0,00
	ppm akhir	0,00	322,23	13699,04	0,74	254,14	0,10	758,06	0,01	7462,48	252,25	2,70
BM-03	ppm awal	153,90	315,00	13393,90	0,72	248,50	0,10	749,50	0,01	7293,50	246,50	0,00
	ppm akhir	0,00	344,91	13699,04	0,74	164,37	0,10	770,56	0,01	7462,48	252,25	2,70
BM-04	ppm awal	153,90	315,00	13393,90	0,72	248,50	0,10	749,50	0,01	7293,50	246,50	0,00
	ppm akhir	0,00	344,91	13699,04	0,74	164,37	0,10	770,56	0,01	7462,48	252,25	2,70
BM-05	ppm awal	153,90	315,00	13393,90	0,72	248,50	0,10	749,50	0,01	7293,50	246,50	0,00
	ppm akhir	0,00	344,91	13699,04	0,74	164,37	0,10	770,56	0,01	7462,48	252,25	2,70

PEMBAHASAN

Berdasarkan studi literatur penyebab intrusi air laut di daerah Semarang diantaranya ialah pengambilan air tanah secara besar-besaran dan terjadinya kenaikan muka air laut. Masuknya air laut ke dalam akuifer mengakibatkan air laut mengalami kontak dengan batuan ataupun sedimen yang berada di sekitarnya. Interaksi antara air laut dan sedimen yang dapat berakibat pada terjadinya perubahan karakteristik dari sedimen tersebut.

Pemodelan ekuilibrium yang telah dilakukan pada interaksi antara air laut dan sedimen menggunakan perangkat lunak Phreeqc 3.4 menunjukkan adanya pengurangan volume sedimen pada beberapa sampel. Hasil pemodelan pada Tabel 3 hingga Tabel 6 menunjukkan berkurangnya volume sedimen pada sampel BM-03, BM-04, dan BM-05, sedangkan pada sampel BM-01 tidak mengalami penurunan volume ketika berinteraksi dengan air laut. Hal tersebut diakibatkan adanya mineral monmorilonit pada sampel BM-03, BM-04, dan BM-05, sedangkan pada sampel BM-01 tidak memiliki kandungan monmorilonit. Monmorilonit cenderung lebih mudah melepas SiO₂ ketika berada pada air laut (Carroll dan Starkey, 2013). Penambahan SiO₂ pada air laut yang berinteraksi dengan sampel sedimen BM-03, BM-04, dan BM-05 seperti ditunjukkan pada Tabel 7 dapat diinterpretasikan berasal dari monmorilonit.

Pada sampel BM-03, BM-04, dan BM-05 selain menunjukkan adanya penurunan volume monmorilonit juga menunjukkan penambahan mineral ilit seperti ditunjukkan pada Tabel 3

hingga Tabel 6. Proses tersebut diakibatkan adanya penambahan atau masuknya ion Kalium ke dalam mineral monmorilonit yang kemudian dapat membentuk mineral ilit (Aslani dkk., 2014). Berkurangnya Kalium pada air laut yang berinteraksi dengan sampel BM-03, BM-04, dan BM-06 diperkirakan karena ion tersebut masuk ke dalam monmorilonit dan menjadi penyebab monmorilonit berubah menjadi ilit.

KESIMPULAN

Intrusi air laut yang ada di Semarang diakibatkan oleh adanya pengambilan air tanah secara besar-besaran dan kenaikan muka air laut. Intrusi air laut menyebabkan adanya kontak air laut dengan sedimen yang berada di sekitarnya. Berdasarkan pemodelan interaksi air laut dengan sedimen menunjukkan adanya perubahan pada sampel BM-03, BM-04, dan BM-05. Pada ketiga sampel tersebut menunjukkan penurunan volume setelah mengalami kontak dengan air laut. Proses tersebut dipengaruhi oleh berkurangnya mineral monmorilonit yang terdapat pada ketiga sampel tersebut. Berkurangnya mineral tersebut dipengaruhi oleh sifat monmorilonit yang lebih mudah melepas senyawa SiO₂ saat berada di air laut. Selain itu interaksi sedimen dengan dengan air laut juga menyebabkan mineral ini mengalami perubahan menjadi ilit. Adanya ion Kalium pada air laut yang masuk pada monmorilonit menyebabkan mineral tersebut berubah menjadi ilit. Hasil pemodelan mengindikasikan bahwa adanya air laut dapat menyebabkan perubahan karakteristik fisik dan kimia pada sedimen, khususnya pada sedimen yang memiliki kandungan mineral monmorilonit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih diucapkan kepada Bapak Dian Agus Widiarso, yang mengizinkan pemakaian data yang merupakan bagian dari disertasinya, untuk penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada teman-teman laboratorium Geologi Teknik Universitas Padjadjaran beserta teman-teman dari Teknik Geologi Institut Teknologi Bandung yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- Aslani, S., M. Farrokhrouz, A. Dehkar, H. Haghi, and A. Bashari, 2014. Study of Montmorillonite to Illite Conversion in Serajeh Gas Storage Field, in *46th International October Conference on Mining and Metallurgy, Serbia: University of Belgrade*, doi:10.13140/2.1.4918.7521.
- Budiono, K., dan H. Panggabean, 2008. Karakteristik Mineral Lempung Pada Sedimen Resen Permukaan Dasar Laut di Perairan Kota Semarang: *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, v. 18, p. 231–251.
- Cahyadi, M. N., L. M. Jaelani, dan H. D. Aryasandah, 2016. Studi Kenaikan Muka Air Laut Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-1 (Studi Kasus?: Perairan Semarang): *Journal of Geodesy and Geomatics*, v. 11, no. 2.
- Carroll, D., and H. C. Starkey, 2013. Effect of Seawater on Clay Minerals: *USGS*, p. 80–101, doi:10.1016/B978-0-08-009235-5.50007-3.
- Chen, F. H., 1975. *Foundations on Expansive Soil: Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company*.
- Das, B. M., N. Endah, dan Mochtar, 1999. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*: Jakarta, Erlangga.
- Das, B. M., 2009. *Principial of Geotechnical Engineering*: Stamford, Cengage Learning Engineering.
- Ismanto, A., A. Wirasatriya, M. Helmi, A. Hartoko, dan P. Prayogi, 2012, *Model Sebaran Penurunan Tanah di Wilayah Pesisir Semarang*: v. 14.
- Nelson, J. D., and D. J. Miller, 1992. *Expansive Soil Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering*: John Wiley & Sons, Inc.
- Prithiviraj, D., S. A. Kumar, N. Pranap, M. Aravindaraj, R. Sakthivel, and V. Murugaiyan, 2017, Effect of Sea Water Intrusion on Geotechnical Behavior of Soil-a Review: *International Journal of Scientific & Engineering Research*, v. 8, no. 8, p. 30–35.
- Putranto, T., and T. R. Rde, 2011, Groundwater Problems in Semarang Demak Urban Area: *Mitteilungen zur Ingenieurgeologie und Hydrogeologie*.
- Rahmawati, N., J.-F. Vuillaume, and I. L. S. Purnama, 2013, Salt intrusion in Coastal and Lowland areas of Semarang City: *Journal of Hydrology*, v. 494, p. 146–159, doi:10.1016/j.jhydrol.2013.04.031.
- Rahmawati, N., and M. A. Marfai, 2014, Salinity Pattern in Semarang Coastal City: An Overview: *Indonesian Journal on Geoscience*, v. 8, doi:10.17014/ijog.8.2.107-118.
- Sarah, D., E. Subowo, A. Mulyono, dan N. A. Satriyo, 2013. Model Geologi Teknik Daerah Amblesan Tanah Kota Semarang Bagian Barat: *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, p. 11–18.
- Sarah, D., L. Hutasoit, R. Delinom, I. Sadisun, and T. Wirabuana, 2018. A Physical Study of the Effect of Groundwater Salinity on the Compressibility of the Semarang - Demak Aquitard, Java Island: *Geosciences*, v. 8, p. 130, doi:10.3390/geosciences8040130.
- Sarah, D., 2019. *Kompaksi Alamiah Endapan Aluvial Semarang Demak*: Bandung, Institut Teknologi Bandung.
- Soebowo, E., D. Sarah, D. Murdohardono, dan T. Wirabuana, 2014. *Geologi Bawah Permukaan Wilayah Amblesan Tanah di Kota Semarang*: p. 57–63.
- Suhartono, E., Purwanto, dan Suripin, 2013. Kondisi Intrusi Air Laut Terhadap Air Tanah Pada Akuifer di Kota Semarang: *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, p. 397–401.
- Suhartono, E., P. Purwanto, and S. Suripin, 2015. Seawater Intrusion Modeling on Groundwater Confined Aquifer in Semarang: *Basic Researches in The Tropical and Coastal Region Eco Developments*, v. 23, p. 110–115, doi:10.1016/j.proenv.2015.01.017.
- Thanden, R. E., H. Sumadirja, P. W. Richards, K. Sutisna, dan T. C. Amin, 1996. *Peta Geologi*

- lembar Magelang dan Semarang, Jawa*, Skala 1?: 100.000: Bandung, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- USGS, 2017. *Seawater Intrusion - SGMA | USGS CA Water Science Center*: <<https://ca.water.usgs.gov/sustainable-groundwater-management/seawater-intrusion-california.html>> (accessed December 25, 2019).
- Widada, S., B. Rochaddi, C. Suryono, dan I. Irwani, 2018. Intrusi Air Laut di Pesisir Tugu Kota Semarang Berdasarkan Resistiviti dan Hidrokimia: *Jurnal Kelautan Tropis*, v. 21, p. 75, doi:10.14710/jkt.v21i2.3610.
- Yuliyanti, A., D. Sarah, dan E. Soebowo, 2012. Pengaruh Lempung Ekspansif terhadap Potensi Amblesan Tanah di Daerah Semarang: *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, v. 22, p. 91–103, doi:10.14203/risetgeotam2012.v22.61.

