



TESIS - MO 142528

**MODEL PROFIL AIR TANAH DI SEKITAR
GENANGAN LUMPUR PORONG DAN WILAYAH
PESISIR SIDOARJO**

YUSMAN

4114 205 012

DOSEN PEMBIMBING:

Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK DAN MANAJEMEN PANTAI
PROGRAM PASCASARJANA TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - MO 142528

GROUNDWATER PROFILE MODEL AROUND MUD RESERVOAR AND SIDOARJO COASTAL AREA

YUSMAN

4114 205 012

SUPERVISOR:

Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D

**MASTER PROGRAM
COASTAL AND ENGINEERING MANAGEMENT
MARINE TECHNOLOGY MASTER PROGRAM
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

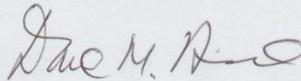
Yusman
NRP. 4114 205 012

Tanggal Ujian : 22 Juli 2016
Periode Wisuda : September 2016

Disetujui oleh :



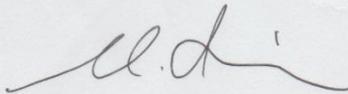
1. Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D (Pembimbing)
NIP. 19610805 198910 1 001



2. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D (Penguji)
NIP. 19610702 198803 1 003



3. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D (Penguji)
NIP. 19680810 199512 1 001



4. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc (Penguji)
NIP. 19770225 200212 1 002



Direktur Program Pascasarjana


Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D
PROGRAM NIP. 19601202 198701 1 001
PASCASARJANA

Model Profil Air Tanah di Sekitar Genangan Lumpur Porong dan Wilayah Pesisir Sidoarjo

Nama mahasiswa : Yusman
NRP : 4114 205 012
Pembimbing : Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Volume cadangan lumpur Sidoarjo diperkirakan mencapai $3.25 \times 10^{11} \text{ m}^3$. Dengan volume semburan mencapai $10^5 \text{ m}^3/\text{hari}$, maka diperlukan waktu 8907 tahun hingga semburan berhenti. Semburan lumpur yang keluar dapat mempengaruhi kondisi water table di sekitar genangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi topografi dan water table di sekitar genangan lumpur dan wilayah pesisir Sidoarjo kemudian membuat model profil water table dan topografi. Tujuan lain dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kemiringan topografi terhadap jarak infiltrasi lumpur (jarak pengaruh genangan terhadap perubahan kondisi water table).

Pengambilan sampel di lapangan dilakukan dengan cara mengukur kedalaman sumur gali yang berada di sekitar genangan lumpur. Untuk mengetahui perubahan water table yang terjadi maka digunakan data perbandingan kondisi air tanah wilayah Sidoarjo dalam bentuk profil air tanah sebelum terjadi lumpur Sidoarjo tahun 2006. Untuk mendapatkan kecenderungan perubahan water table akibat genangan lumpur digunakan trendline polynomial pada Microsoft Excel. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara acak. Peralatan yang digunakan untuk menentukan posisi sampel dan elevasi topografi adalah *Global Position System* (GPS) Garmin etrex 30, sedangkan peralatan yang digunakan untuk mengukur kedalaman sumur adalah alat ukur meteran sepanjang 5 meter.

Profil topografi semakin meningkat dari arah utara ke arah selatan genangan lumpur, dari arah tenggara ke arah barat laut genangan lumpur, dan dari arah timur laut ke arah barat daya genangan lumpur. Genangan lumpur mempengaruhi profil water table sejauh 1,5 km ke barat daya, 1,3 km ke selatan, 1,6 km ke tenggara, 1,7 km ke timur laut, 1,7 km ke utara dan 1,5 km ke barat laut. Kemiringan topografi berpengaruh terhadap jarak infiltrasi lumpur. Pengaruh genangan lumpur lebih besar terhadap wilayah yang perbedaan topografinya lebih tinggi

Kata kunci: genangan lumpur sidoarjo, infiltrasi, kemiringan topografi, topografi, water table

Groundwater Profile Model around Mud Reservoir and Sidoarjo Coastal Area

By : Yusman
Student Identity Number : 4114 205 012
Supervisor : Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

Reserve volume of Sidoarjo mud is estimated at $3.25 \times 10^{11} \text{ m}^3$. With bursts volume reach $105 \text{ m}^3/\text{day}$, it will take 8907 years to stop bursts. Mudflow out can affect the condition of the water table around a reservoir. This study aims to determine the topography and the water table around a mud reservoir and coastal area Sidoarjo then modeled the water table and topography profile. Another purpose this research is to determine the slope of topography against mud infiltration distance (effect reservoir distance against water table condition change).

Field sampling was done by measuring the depth of wells located around the mud reservoir. To determine changes in water table that occur is the case then use the comparative data groundwater conditions sidoarjo region in the form of ground water profile before the Sidoarjo mud in 2006. To get the water table as a result of changing trends mud used polynomial trendline on Microsoft Excel. Sampling was conducted in a random way. Equipment used to determine the position of the sample and the elevation topography is a Global Position System (GPS) Garmin etrex 30, while the equipment used to measure the depth of the well is a measuring tool meter along the 5 meter.

Profile of topography around mud reservoir increasing from north to south, from southeast to northwest and from northeast to southwest. Mud reservoir affects the water table profiles the distance of 1.5 km to the southwest, 1.3 km to the south, 1.6 km to the southeast, 1.7 km to the northeast, 1.7 km north and 1.5 km to the west sea. Slope of the topography influence to the infiltration mud distance. The influence of a mud reservoir greater the difference topography of the region higher

Keywords: infiltration, sidoarjo mud reservoir, slope of topography, topography, water table

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN TESIS	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Batasan Masalah	3
BAB II DASAR TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Dasar Teori	5
2.2 Kajian Pustaka	5
2.2.1 Lumpur Porong Sidoarjo.....	5
2.2.2 Aquifer Air Tanah Dangkal.....	7
2.2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kondisi Water Table	10
2.2.4 Pengaruh Kemiringan Topografi terhadap Infiltrasi	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Alur Penelitian	17
3.2 Prosedur Penelitian	18
3.2.1 Studi Literatur	18
3.2.2 Pengumpulan Data	18
3.2.3. Pembuatan Model Profil Air Tanah	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1 Gambaran Daerah Penelitian	21

4.2	Profil Topografi dan Water Table di Sekitar genangan Lumpur dan Wilayah Pesisir Sidoarjo.....	23
4.2.1	Arah Utara-Selatan.....	23
4.2.2	Arah Barat Laut-Tenggara	26
4.2.3	Arah Barat daya-Timur Laut.....	29
4.3	Pengaruh genangan Lumpur terhadap Perubahan Profil Water Table di Wilayah Pesisir Sidoarjo	33
4.3.1	Arah Utara-Selatan.....	33
4.3.2	Arah Barat Laut-Tenggara	35
4.3.3	Arah Barat daya-Timur Laut.....	38
4.4	Perubahan Profil Topografi Water table di Sekitar Genangan Lumpur dan Wilayah Pesisir Sidoarjo	42
4.5	Pengaruh Kemiringan Topografi terhadap Jarak Infiltrasi Lumpur.....	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN.....		57
BIOGRAFI.....		59

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Sumur Gali untuk Arah Utara dan Selatan.....	24
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Sumur Gali untuk Arah Barat Laut dan Tenggara	27
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Sumur Gali untuk Arah Barat Daya dan Timur laut	30
Tabel 4.4 Tabel Kedalaman Sumur dan Elevasi Water Table di Utara dan Selatan dari Genangan Lumpur	33
Tabel 4.5 Tabel Kedalaman Sumur dan Elevasi Water Table di Arah Barat Laut dan Tenggara dari Genangan Lumpur.....	36
Tabel 4.6 Tabel Kedalaman Sumur dan Elevasi Water Table di Arah Barat Daya dan Timur Laut dari Genangan Lumpur.....	39

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Lokasi lumpur sidoarjo.....	6
Gambar 2.2 Keadaan ideal kondisi air tanah pada pulau kecil.....	7
Gambar 2.3. Hubungan antara <i>mean sea level</i> , <i>ground surface</i> , <i>water table</i> , <i>fresh groundwater</i> dan <i>saline groundwater</i>	8
Gambar 2.4 Grafik perubahan interface line akibat perubahan tinggi water table	9
Gambar 2.5 Garis interface dalam analisa prinsip dinamis	10
Gambar 2.6 Garis aliran horizontal D-F Theory untuk <i>open</i> <i>ditch-drainage</i>	11
Gambar 2.7 Steady flow air tanah dalam 2 sumur yang berbeda	12
Gambar 2.8 Hubungan antara persentasi slope dengan <i>precipitation</i>	13
Gambar 3.1 Alur penelitian	16
Gambar 3.2 Peta lokasi pengambilan sampel.....	17
Gambar 4.1 Profil Topografi dan Air Tanah di Wilayah Sidoarjo	22
Gambar 4.2 Peta Lokasi Penelitian.....	23
Gambar 4.3 Peta Lokasi Pengambilan Sampel untuk Arah Utara dan Selatan	24
Gambar 4.4 Profil Topografi dan Profil Water Table Arah Utara dan Selatan dari Genangan Lumpur.....	25
Gambar 4.5 Peta Lokasi Pengambilan Sampel untuk Arah Barat Laut dan Tenggara	27
Gambar 4.6 Profil Topografi dan Profil Water Table Arah Barat Laut dan Tenggara dari Genangan Lumpur	28
Gambar 4.7 Peta Lokasi Pengambilan Sampel untuk Arah Barat daya dan Timur Laut.....	30

Gambar 4.8 Profil Topografi dan Profil Water Table Arah Barat Daya dan Timur Laut dari Genangan Lumpur	30
Gambar 4.9 Grafik Perubahan Profil Water Table untuk Arah Utara dan Selatan.....	34
Gambar 4.10 Overlay Grafik Perubahan Profil Water Table untuk Arah Utara dan Selatan dengan Google Map	35
Gambar 4.11 Grafik Perubahan Profil Water Table untuk Arah Barat Laut dan Tenggara	36
Gambar 4.12 Overlay Grafik Perubahan Profil Water Table untuk Arah Barat Laut dan Tenggara dengan Google Map.....	38
Gambar 4.13 Grafik Perubahan Profil Water Table untuk Arah Barat Daya dan Timur Laut.....	39
Gambar 4.14 Overlay Grafik Perubahan Profil Water Table untuk Arah Barat Daya dan Timur Laut dengan Google Map	40
Gambar 4.15 Peta Profil Topografi di Sekitar Genangan Lumpur Sidoarjo	42
Gambar 4.16 Peta Profil Water Table di Sekitar Genangan Lumpur Sidoarjo	43
Gambar 4.17 Peta overlay 3 Dimensi profil topografi dengan profil water table di Sekitar Genangan Lumpur Sidoarjo.....	44
Gambar 4.18 Profil Topografi dan Water Table Arah Utara dan Selatan dari Genangan Lumpur berdasarkan 36 titik lokasi penelitian	45
Gambar 4.19 Profil Topografi dan Water Table Arah Barat dan Timur dari Genangan Lumpur berdasarkan 36 titik lokasi penelitian	46
Gambar 4.20 Profil Topografi dan Water Table Arah Barat laut dan Tenggara dari Genangan Lumpur berdasarkan 36 titik lokasi penelitian	47
Gambar 4.21 Profil Topografi dan Water Table Barat daya dan Timur Laut dari Genangan Lumpur berdasarkan 36 titik lokasi penelitian	48
Gambar 4.22 Peta Elevasi Topografi di Kabupaten Sidoarjo dan sekitarnya.....	49

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semburan lumpur yang terjadi di Kabupaten Sidoarjo telah berlangsung selama 9 tahun. Kejadian ini merupakan bencana yang pertama kalinya di jaman Indonesia modern di wilayah strategis dilihat dari intensitas penggunaan lahan, kepadatan penduduk serta banyaknya fasilitas umum dan infrastruktur yang terkena dampak. Selain merusak infrastruktur di wilayah tersebut, semburan lumpur juga mengakibatkan terjadinya kerusakan lingkungan mulai dari kerusakan lahan, perubahan struktur geologi bawah tanah dan perubahan kualitas air dari sumber sumber air yang berasal dari sumur bor (Yudo, 2009).

Semburan lumpur yang keluar bercampur dengan air tersebut memiliki berat jenis 1,726 gr/cc dengan jumlah volume cadangan lumpur diperkirakan mencapai $3,25 \times 10^{11} \text{ m}^3$. Jika volume semburan yang dikeluarkan dapat mencapai $10^5 \text{ m}^3/\text{hari}$ maka waktu yang diperlukan hingga semburan berhenti mencapai 8.907 tahun (Mustain, 2006).

Satrio dkk (2012) pernah meneliti tentang asal usul air yang bercampur lumpur yang keluar dari semburan lumpur Sidoarjo dengan menggunakan isotop alam. Dari hasil penelitiannya ditemukan bahwa hasil analisis isotop ^{14}C tahun 2007 diperoleh umur lumpur yang bercampur dengan air di atas 40.000 tahun, yang menunjukkan bahwa air tersebut diduga telah terjebak selama ribuan hingga jutaan tahun dan tergolong fosil air. Untuk tahun 2008 hingga 2012 diperoleh umur air bervariasi dari modern hingga sekitar 20.000 tahun, yang mengindikasikan bahwa adanya kontribusi dari air tanah atau air laut terhadap air yang keluar dari pusat semburan.

Genangan lumpur dapat mempengaruhi perubahan *water table* yang ada di sekitar pusat semburan, hal tersebut pernah diteliti oleh Mustain (2013), yang menyatakan bahwa genangan lumpur, curah hujan dan pasang surut dapat mempengaruhi perubahan kedalaman permukaan air tanah (*water table*) di sekitar wilayah genangan dan wilayah pantai Sidoarjo. Dari hasil penelitian tersebut juga

didapatkan bahwa lumpur dapat mempengaruhi air tanah di sekitar genangan hingga jarak 1,5 km dan 2 km dari batas terluar timbunan lumpur. Namun pada penelitian tersebut hanya memperhatikan arah timur dan barat dari lokasi genangan lumpur, sehingga menarik untuk melanjutkan dan melakukan penelitian dari segala arah dan kemudian membuat model profil *water table* di sekitar wilayah genangan lumpur dan wilayah pesisir Sidoarjo serta memperhatikan pengaruh kemiringan topografi terhadap infiltrasi lumpur yang bercampur air (jarak pengaruh genangan terhadap perubahan *water table*).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana profil *water table* di sekitar genangan lumpur dan wilayah pesisir Sidoarjo ?
2. Bagaimana pengaruh genangan lumpur Sidoarjo terhadap perubahan *water table* di sekitar genangan lumpur dan wilayah pesisir Sidoarjo ?
3. Bagaimana pengaruh kemiringan topografi terhadap jarak infiltrasi lumpur ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui:

1. Profil topografi di sekitar genangan lumpur dan wilayah pesisir Sidoarjo
2. Profil *water table* di sekitar genangan lumpur dan wilayah pesisir Sidoarjo
3. Bagaimana pengaruh genangan (reservoir) lumpur Sidoarjo terhadap perubahan *water table* di wilayah pesisir Sidoarjo
4. Bagaimana pengaruh kemiringan topografi terhadap jarak infiltrasi lumpur

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat mengetahui

1. Profil topografi di sekitar genangan lumpur dan wilayah pesisir Sidoarjo
2. Profil *water table* di sekitar genangan lumpur dan wilayah pesisir Sidoarjo
3. Bagaimana pengaruh genangan lumpur Sidoarjo terhadap perubahan *water table* di wilayah pesisir Sidoarjo
4. Bagaimana pengaruh kemiringan topografi terhadap jarak infiltrasi lumpur

1.5 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini tidak meluas maka diberi batasan batasan masalah sebagai berikut:

1. Survei dilakukan di sekitar genangan lumpur dan wilayah pantai Sidoarjo
2. Survei dilakukan pada bulan November sampai Desember 2015
3. Survei dilakukan di lokasi 6 arah mata angin dari pusat semburan yaitu tenggara, selatan, barat laut, barat daya, utara dan timur laut.
4. Tingkat akurasi GPS adalah 3-10 meter

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

DASAR TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

Tanah memiliki pori-pori sebagai celah untuk proses perembasan air kedalam tanah persatuan waktu atau yang dikenal dengan istilah infiltrasi. Kapasitas infiltrasi rata-rata berkorelasi dengan sifat-sifat fisik tanah. Korelasinya bersifat positif terhadap porositas tanah dan kandungan bahan organik, beberapa kapasitas infiltrasi bersifat khas untuk berbagai tekstur tanah. Penelitian tentang pengaruh kemiringan terhadap kecepatan infiltrasi pernah dilakukan oleh Elfianati, D dan Delvian (2010), dari hasil penelitian yang dilakukan diperoleh bahwa infiltrasi tersebut dipengaruhi oleh kemiringan tanah atau kondisi topografi. Semakin tinggi derajat kemiringan tanah maka semakin besar pengaruh infiltrasi terhadap kondisi air tanah dan begitupun sebaliknya.

Penelitian tentang pengaruh genangan lumpur terhadap perubahan *water table* akibat adanya infiltrasi air bercampur lumpur yang masuk kedalam tanah pernah dilakukan oleh Mustain (2013). Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa genangan lumpur dapat mempengaruhi kondisi *water table* yang ada dengan jarak 2 km ke arah timur dan 1,5 km ke arah barat, sehingga dapat mempengaruhi kualitas air tanah di sekitar wilayah genangan lumpur. Penelitian serupa juga pernah dilakukan oleh Seebonruang (2012) yang meneliti tentang pengaruh reservoir terhadap perubahan *water table* di sekitar reservoir dan dari hasil penelitian tersebut diperoleh bahwa kedalaman sumur atau elevasi *water table* sangat bergantung terhadap tinggi air pada reservoir

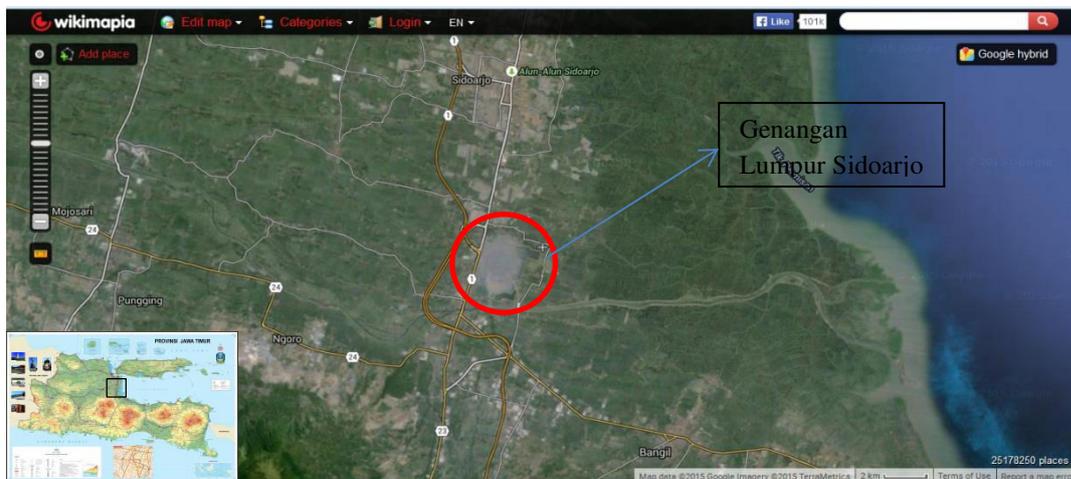
2.2 Kajian Pustaka

2.2.1 Lumpur Porong Sidoarjo

Lumpur porong Sidoarjo terjadi pada tanggal 29 Mei 2006 dan telah terjadi lebih dari 9 tahun. Karakteristik lumpur porong Sidoarjo terdiri dari 70% air panas dan 30% lumpur (Arai, 2012) dengan berat jenis 1,726 gr/cc, jumlah volume cadangan lumpur diperkirakan mencapai $3,25 \times 10^{11} \text{ m}^3$. Dengan volume

semburan yang dikeluarkan dapat mencapai $10^5 \text{ m}^3/\text{hari}$, maka waktu yang diperlukan hingga semburan berhenti mencapai 8.907 tahun (Mustain, 2006). Dimensi pusat semburan sebesar $3.704.144,36 \text{ m}^2$, material yang keluar akan terendap sebesar 42,2% sehingga material yang tersuspensi mencapai 57,8% (Mustain, 2010).

Lokasi terjadinya semburan lumpur berada di Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo yang berjarak 30 km dari kota Surabaya dan merupakan jalur utama penghubung ibukota Propinsi dengan beberapa Kabupaten yang ada di Jawa Timur. Semburan lumpur terjadi setelah 2 hari terjadi gempa bumi yang berkekuatan 6,3 *Scala Ricther* dan berjarak 250 km di barat daya kota Yogyakarta. Posisi semburan lumpur berjarak 200 m dengan sumur eksplorasi minyak yang memiliki kedalaman 2.833 m yang dikenal dengan sumur Banjar Panji 1 (Fukushima, 2009). Berikut adalah gambar lokasi terjadinya lumpur Sidoarjo



Gambar 2.1 Lokasi Lumpur Sidoarjo (Wikimapia.org, 2015)

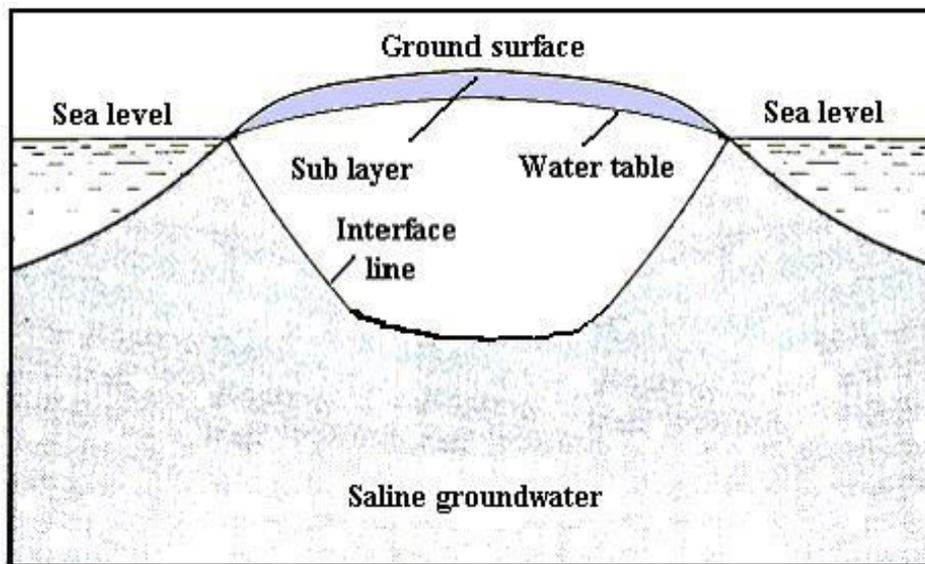
Pusat semburan berjarak kurang lebih 10 km dari pusat kota Sidoarjo. Sejak terjadi lebih dari 9 tahun lalu, semburan lumpur tersebut telah menenggelamkan 16 Desa di 3 Kecamatan di Sidoarjo yakni Porong, Jabon dan Tanggulangin dengan luas area mencapai 640 Ha (BPLS, 2015). Untuk mengurangi beban volume lumpur yang ada di dalam kolam, Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS) melakukan pembuangan lumpur

dengan metode pengerukan menggunakan kapal keruk untuk selanjutnya dibuang ke Kali Porong (berada di selatan tanggul penahan lumpur). Selanjutnya material lumpur diharapkan dapat hanyut secara alami ke laut (selat Madura) melalui muara Kali Porong (BPLS, 2015).

Berdasarkan laporan Badan Geologi tahun 2010 dalam BPLS (2011), komposisi kimia padatan lumpur terdiri dari oksida-oksida logam terutama silika (SiO_2) yang mencapai 50,61-53,25% berat; alumina (Al_2O_3) 17,04-17,22%; Fe_2O_3 = 6,08-6,68%; CaO = 1,99-3,12%; MgO = 1,79-2,65%; Na_2O = 1,78-2,65%; K_2O = 1,61-1,69%; TiO_2 = 0,61-0,74%. Contoh lumpur berasal dari pusat semburan, yang pada Maret 2009 didapat rasio antara cairan dan padatan adalah 30% : 70%, dengan suhu mencapai 95,7%.

2.2.2 Aquifer Air Tanah Dangkal

Aquifer air tanah dangkal di pulau kecil yang berada atau diapik oleh laut pada kondisi normal memberi bentuk cembung yang terapung di atas laut (Ward and Robinson 1990, Mustain, 2000a).



Gambar 2.2 Keadaan Ideal Kondisi Air Tanah pada Pulau Kecil (Mustain 2000b)

Secara teori, kontrol fisik garis interface antara air asin dengan air tawar diberikan oleh prinsip Ghyben-Herzberg (LaFleur, 1984) yang dikenal dengan

metode statis. Secara sederhana prinsip tersebut berbunyi bahwa kedalaman garis interface dari MSL (Mean Sea Level) adalah 40 kali dari ketinggian muka air tanah terhadap MSL, dengan formula matematis sebagai berikut

$$\rho_s \ g \ z_s = \rho_f \ g (z_s + z_w)$$

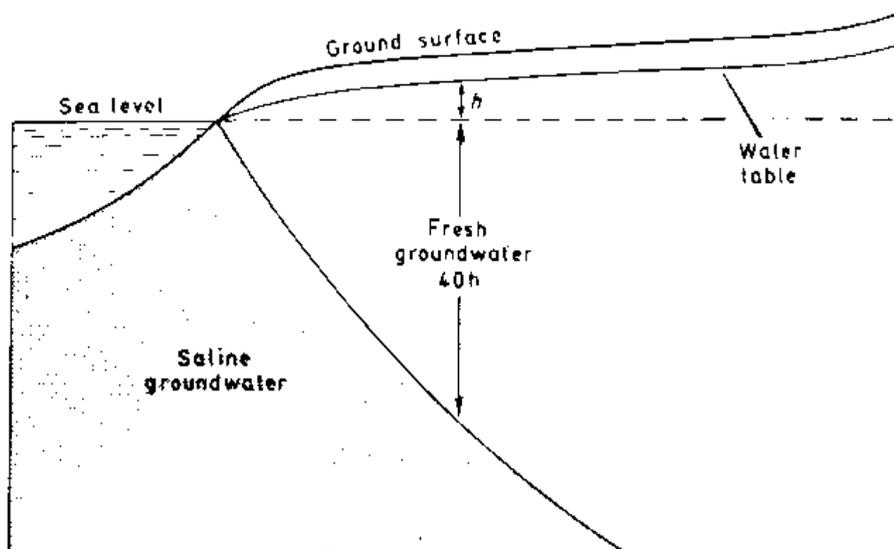
$$z_s = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} z_w$$

Dengan; g : gravity constant, z_w : freshwater head above sea level

z_s : distance of interface, ρ_f : freshwater density = 1000 kg/m³

ρ_s : sea water density = 1025 kg/m³, $z_s = 40 z_w$

Keberadaan air tanah ini apabila dilihat pada sisi pantai, kawasan pantai untuk pulau besar akan berbentuk garis permukaan air tanah atau *water table* dengan slop ke arah laut dari atas ke bawah. Sedangkan garis interface akan mempunyai slop ke arah laut dari bawah ke atas. Dan kedua garis tersebut akan bertemu di garis pantai (Mustain 2000a). Berikut adalah gambar hubungan antara *mean sea level*, *ground surface*, *water table*, *fresh groundwater* dan *saline groundwater*

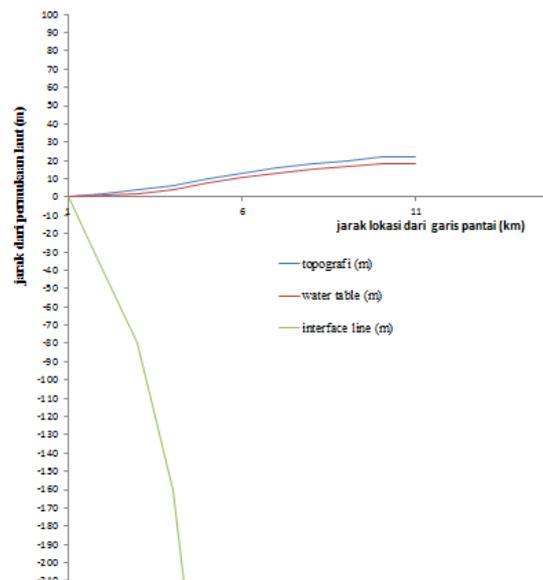


Gambar 2.3 Hubungan antara Mean Sea Level, Ground Surface, Water table, Fresh Groundwater dan Saline Groundwater (Sumber: Mustain 2000a)

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa semakin tinggi posisi *water table* dari posisi MSL maka semakin dalam *interface line* dari posisi MSL dengan perbandingan jarak 40 kali. Berikut adalah contoh grafik perubahan *interface line* akibat perubahan tinggi *water table*

Tabel 2.1 Contoh Data Hubungan Kondisi *Water table* terhadap Interface Line

No	Topografi (m)	Kedalaman Sumur (m)	Water table (m)	Interface Line (m)
1	0	0	0	0
2	2	1	1	-40
3	4	2	2	-80
4	6	2	4	-160
5	10	2	8	-320
6	13	2.5	10.5	-420
7	16	3	13	-520
8	18	3	15	-600
9	20	3.5	16.5	-660
10	22	3.5	18.5	-740
11	22	3.5	18.5	-740



Gambar 2.4. Grafik Perubahan Interface Line akibat Perubahan Tinggi *Water table*

2.2.3 Faktor Faktor yang Mempengaruhi Kondisi *Water table*

Kondisi *water table* secara umum dipengaruhi oleh air permukaan dan intensitas curah hujan. namun khusus untuk wilayah pesisir, selain kedua faktor tersebut, kondisi *water table* juga dipengaruhi oleh arus pasang surut. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Mustain (2013), yang menyatakan bahwa besarnya curah hujan dan genangan lumpur akan menaikkan garis *water table* yang pada akhirnya akan menDesak garis interface ke arah laut dan sebaliknya. Dalam penelitian tersebut juga didapatkan bahwa air laut pada saat pasang akan menggerakkan garis interface ke arah darat dan pada saat surut akan terjadi sebaliknya.

Berdasarkan analisa geologi struktur, struktur lapisan batuan sumber lumpur adalah *layered* dan memiliki kemiringan yang cukup terjal, sehingga beda ketinggiannya menyebabkan adanya lumpur terus terisi oleh air tanah akibat ilfiltrasi pada setiap musim hujan, maka semburan tidak akan berhenti. Volume semburan akan membesar pada saat musim hujan dan akan mengecil pada musim kemarau (Mustain, 2011).

Bentuk garis interface dan slope garis interface ini hanya bisa diilustrasikan bahwa aliran air adalah dari darat menuju laut yakni aliran air tawar (air tanah). Hal ini sesuai dengan Hukum Darcy yang diberikan :

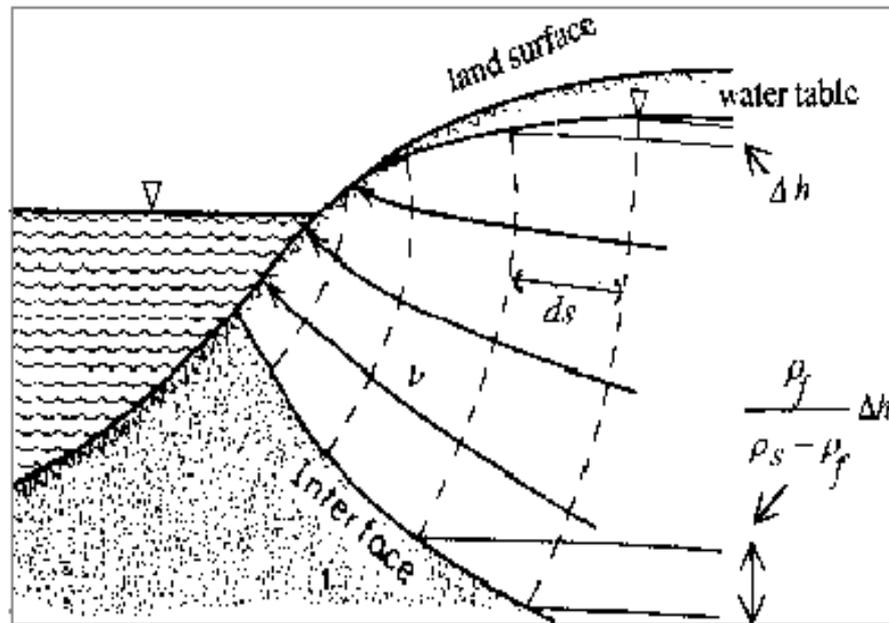
$$\text{Sin } \delta = \frac{dh}{ds} = \frac{v}{K}$$

Dengan

δ = slope muka air ,

v = *velocity of flow*,

K = Permeability



Gambar 2.5 Garis Interface dalam Analisa Prinsip Dinamis (modifikasi dari Davis and DeWiest 1966 dan Mustain 2000b)

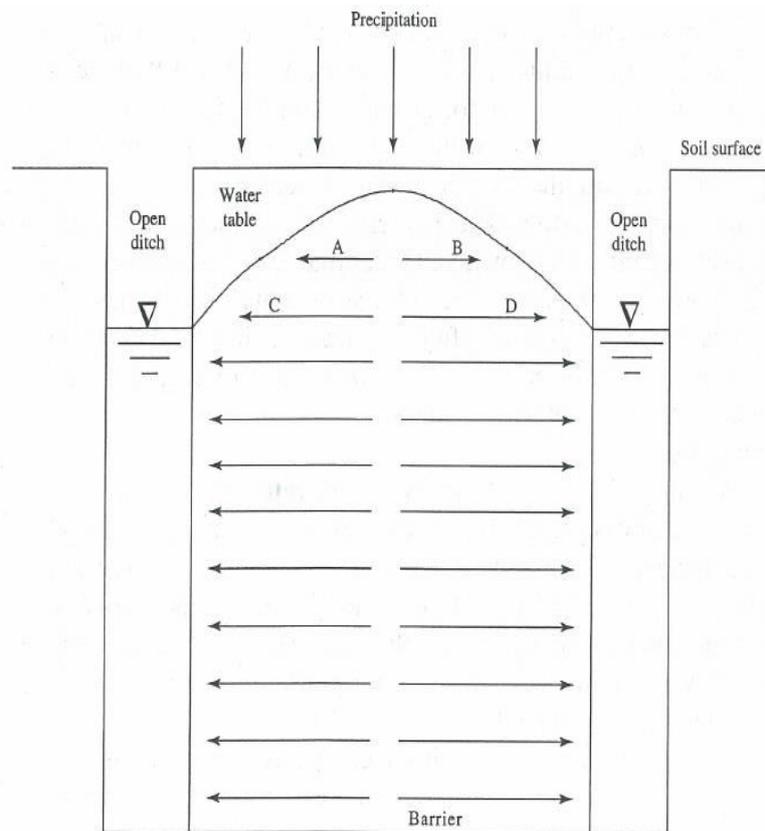
Elevasi muka air tanah akan bervariasi, misalnya karena limpahan lumpur dan curah hujan, dalam arah sepanjang slope aliran menuju laut. Konsekwensinya menurut persamaan yang diberikan pada metoda statis, garis interface akan bervariasi juga. Sehingga secara dinamis, slope garis interface tersebut adalah :

$$\sin \varepsilon = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} \frac{dh}{ds} = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} \frac{v}{K}$$

Kecepatan aliran (v) akan naik terhadap jarak menuju laut sebab slope garis interface adalah konfergen sehingga nilai slope akan semakin bertambah. Pada akhirnya bentuk ini akan mengekspresikan bentuk lensa concav (cembung) terhadap garis muka air tanah (McGuire & Iron 1997, Mustain 2000a).

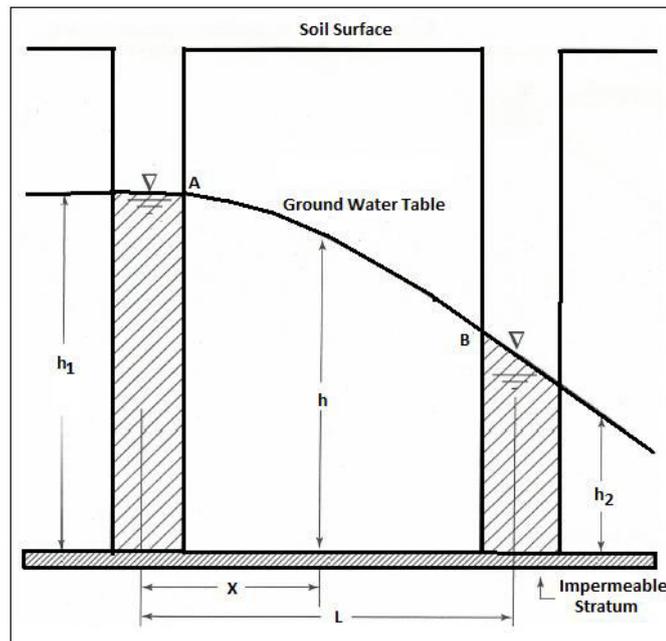
Model perubahan *water table* yang diakibatkan oleh adanya pengendapan atau genangan air dikembangkan oleh Dupuit (1863) dan Forchheimer (1930) yang dikenal dengan istilah teori D-F yang menjelaskan bahwa 1) aliran dalam sistem aliran gravitasi adalah horizontal dan seragam terhadap kedalaman aquifer, 2) kecepatan aliran terkait dengan tiap aliran adalah seimbang terhadap kemiringan *water table*, tapi tidak tergantung pada kedalaman medium yang jenuh

air (Tindall dan kunkell, 1999). Berikut adalah gambar pfofil *water table* akibat adanya presipitasi untuk dua *open ditch* dan pergerakan aliran sejajar ke arah horizontal



Gambar 2.6 Garis Aliran Horizontal D-F Theory untuk *Open Ditch-Drainage* (Tindall dan kunkell, 1999)

Perubahan *water table* dapat disebabkan oleh infiltrasi lumpur vulkano dari reservoir (Mustain, 2010), sehingga menyebabkan perbedaan kondisi *water table* di sekitar genangan seperti pada gambar berikut ini



Gambar 2.7 Steady Flow Air Tanah dalam 2 Sumur yang Berbeda (Tindall dan kunkell, 1999)

Gambar di atas menunjukkan adanya perbedaan profil *water table* untuk 2 sumur, kondisi *water table* untuk sumur yang pertama berada paling dekat dengan reservoir lumpur sedangkan gambar kedua menunjukkan level *water tabel* di sekitar reservoir. Perbedaan kondisi *water table* tersebut memberikan gambaran laju aliran Q_r dapat dihitung dengan hukum Darcy untuk keadaan *steady state*, dengan persamaan

$$Q_r = -Kh \frac{dh}{dx}$$

Dimana

Q_r = total volume aliran persatuan waktu (m^3/s)

K = konduktivitas hidrolik (m/s)

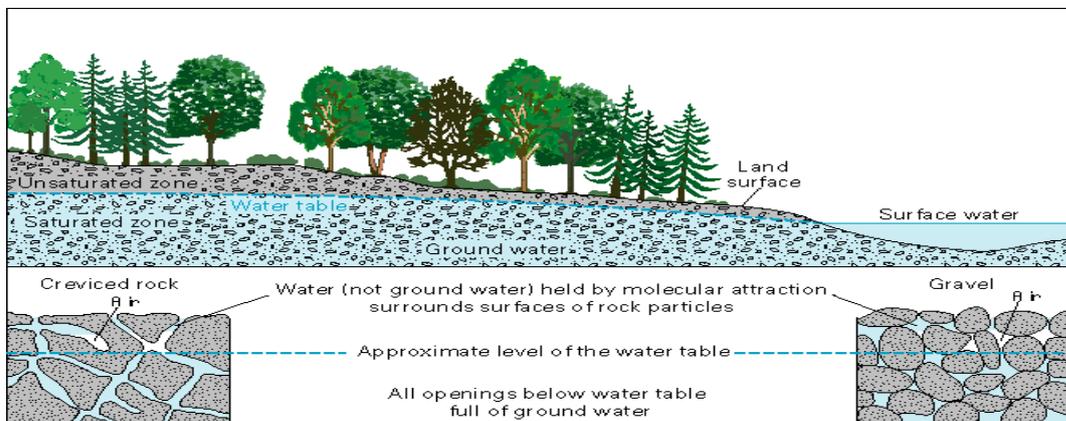
h = jarak *depression line* dari *permeable stratum* (L) (m)

$\frac{dh}{dx}$ = gradient hidrolik

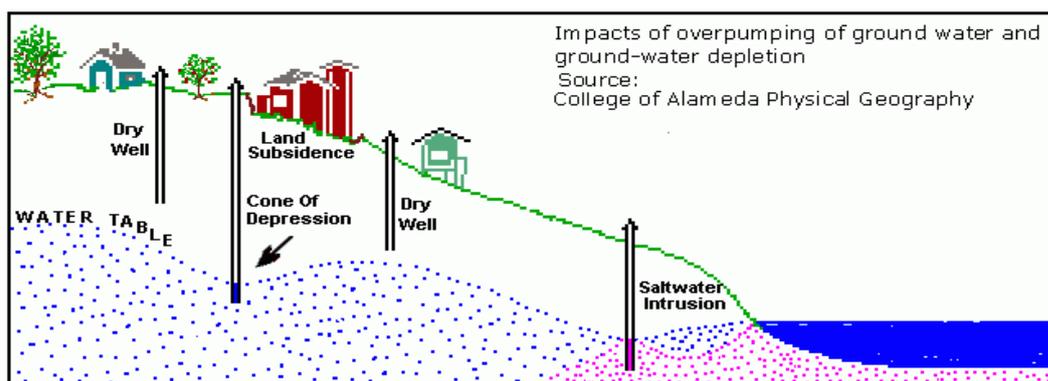
Persamaan solusinya adalah

$$h_x = \sqrt{h_1^2 - \frac{x}{L}(h_1^2 - h_2^2)}$$

Penggunaan air tanah secara berlebih juga dapat mempengaruhi profil *water table*. Perubahan yang terjadi dapat berupa *decline* terhadap profile *water table* dari posisi normal. Penggunaan air tanah secara berlebih akan mengakibatkan jumlah air tanah di unconfined aquifer semakin berkurang sedangkan di bagian lain masih dalam posisi normal sehingga akan mengakibatkan profil *water table* membelok ke arah elevasi terendah dari air tanah (Stallman, 1965). Berikut adalah gambar perubahan profile *water table* dari penggunaan air tanah secara berlebih



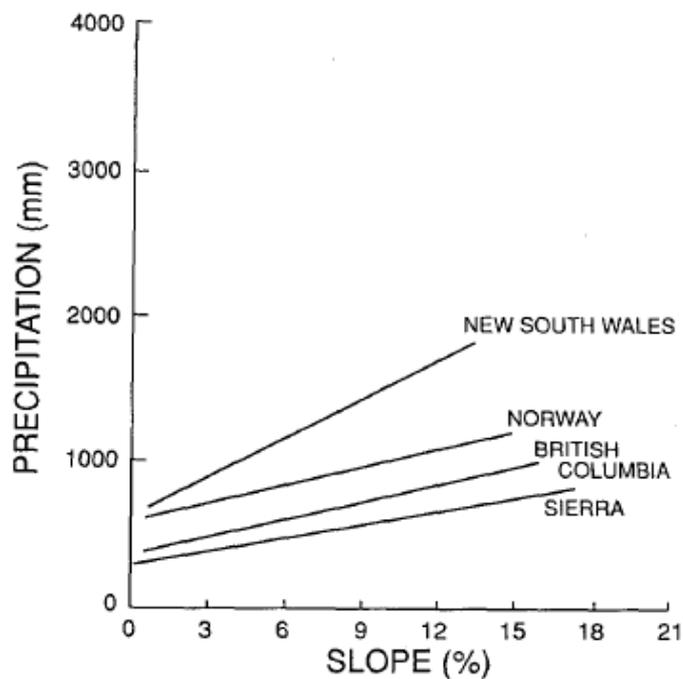
Gambar 2.8. Profile *water table* dalam keadaan normal (<http://water.usgs.gov/edu/earthgwaquifer.html>)



Gambar 2.9. Depletion *water table* (<http://water.usgs.gov/edu/gwdeplition.html>)

2.2.4 Pengaruh Kemiringan Topografi terhadap Infiltrasi

Kemiringan topografi menunjukkan besarnya sudut topografi dalam persen atau derajat. Dua titik yang berjarak horizontal 100 meter yang mempunyai selisih tinggi 10 meter membentuk topografi 10 persen. Kecuraman topografi 100 persen sama dengan kecuraman 45 derajat. Selain dari memperbesar jumlah aliran permukaan, semakin curamnya lereng juga memperbesar energi angkut air. Hal ini disebabkan gaya berat yang semakin besar sejalan dengan semakin miringnya permukaan tanah dari bidang horizontal (Arsyad, 2000). Slope topografi juga mempengaruhi *precipitation* pada tanah tersebut. Hubungan slope dengan rata rata *precipitation* tahunan berbanding lurus. Semakin besar nilai persentasi slope suatu tanah maka semakin besar pula *precipitation* yang terjadi dan sebaliknya. Berikut adalah grafik perbandingan slope dengan *precipitation*



Gambar 2.10 Hubungan antara Persentasi Slope dengan *Precipitation* (Basist, A dan Bell, G.D. 1993)

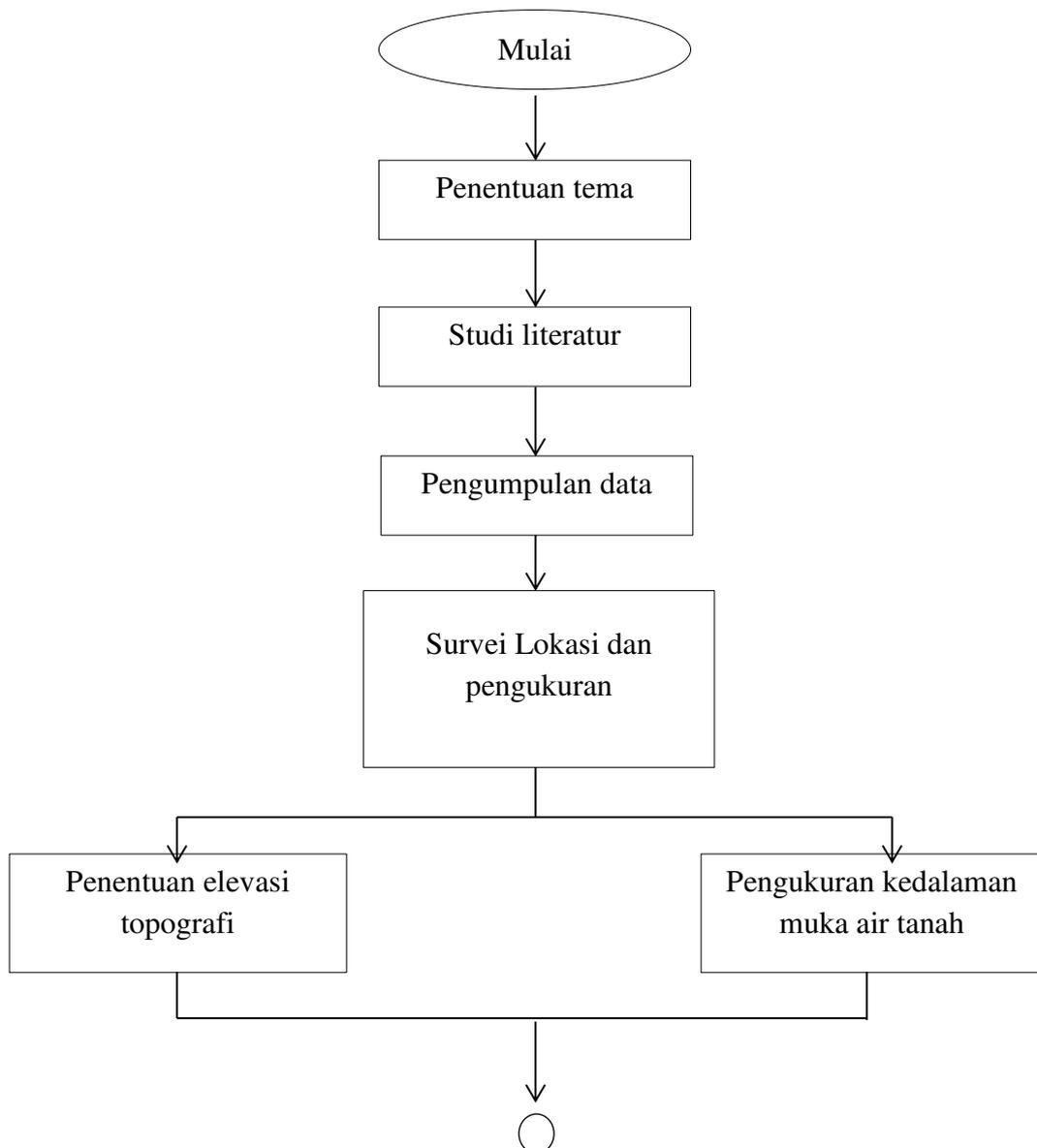
(halaman ini sengaja dikosongkan)

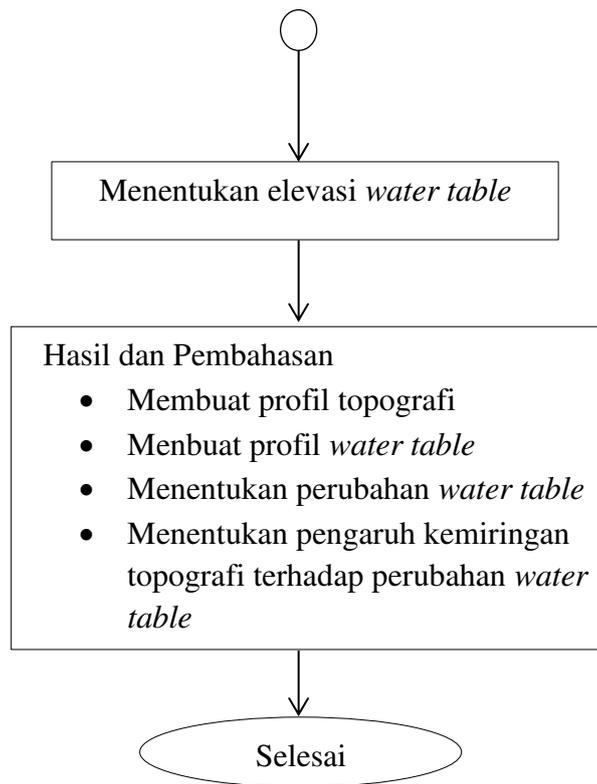
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Dalam melakukan penelitian diperlukan tahap-tahap penelitian demi memperoleh hasil yang diharapkan. Dalam tesis ini terdiri dari beberapa tahap yang dijadikan pedoman dalam melakukan penelitian dan dilakukan dengan terstruktur dengan tujuan agar hasil yang didapatkan dapat maksimal. Adapun diagram alir (*flow chart*) pada penelitian ini adalah sebagai berikut





Gambar 3.1 Alur penelitian

3.2. Prosedur Penelitian

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan dengan mencari dan mempelajari paper, jurnal, dan buku-buku yang berkaitan dengan tesis ini. Terutama melakukan tinjauan pustaka berkaitan dengan semburan lumpur Sidoarjo.

3.2.2 Pengumpulan Data

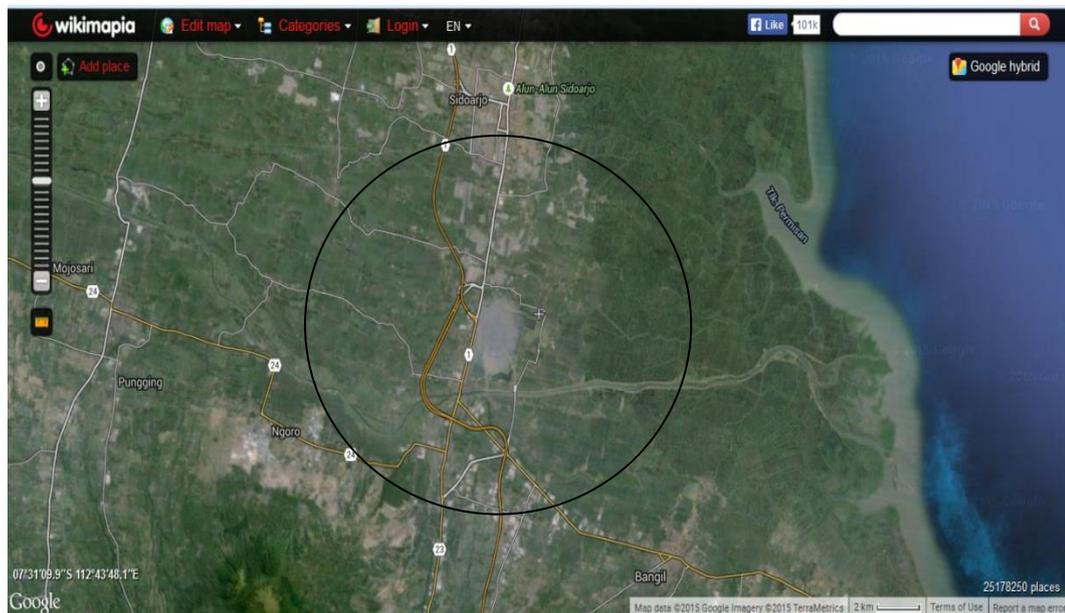
- **Pengumpulan Data Sekunder**

Data sekunder merupakan pendukung data primer dapat dilakukan dengan cara mengumpulkan hasil penelitian terlebih dahulu menyangkut kondisi daerah studi. Data yang dibutuhkan antara lain gambaran umum atau profil daerah, peta topografi berbagai ekstensi, peta rupa bumi, dan hasil kajian lainnya yang mendukung. Data skunder lainnya berupa data curah hujan yang terjadi di sekitar dan wilayah Sidoarjo. Sebagai perbandingan maka akan digunakan data kondisi

air tanah wilayah Sidoarjo dalam bentuk profil air tanah sebelum terjadi lumpur Sidoarjo tahun 2006 yang sumber datanya berasal dari Dinas Pertambangan dan Energi Propinsi Jatim 1999.

- **Pengumpulan Data Primer**

Pengumpulan data primer untuk penentuan kedalaman muka air tanah dilakukan dengan cara survei langsung di lokasi. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara acak agar bisa mencakup sebagian besar daerah penelitian dan juga menghindari adanya kesalahan. Berikut adalah peta lokasi pengambilan sampel



Gambar 3.2 Peta lokasi pengambilan sampel (Wikimapia.org, 2015)

Proses penentuan titik sampel dengan menggunakan metode *Random Sampling Area* atau *Cluster Sampling*, lokasi sampel memperhatikan keberadaan sumur gali yang dimiliki oleh penduduk di daerah sekitar genangan lumpur Sidoarjo. Awalnya dilakukan pemberian tanda atau kisi kisi pada wilayah studi. tanda yang sudah dibuat akan dijadikan acuan dalam penentuan titik pengambilan sampel. Sehingga nantinya akan didapat penyebaran titik sampel yang merata. Lokasi sampel yang akan diteliti adalah ditinjau dari enam sisi arah mata angin dengan titik pusat adalah pusat semburan lumpur Sidoarjo

Pengambilan sampel dilakukan dengan cara mengukur langsung kedalaman air sumur gali yang ada di sekitar wilayah genangan lumpur dan wilayah pantai Sidoarjo, mencatat alamat lokasi tempat survei, koordinat titik sampel dan ketinggian topografinya. Peralatan yang digunakan untuk menentukan posisi sampel dan elevasi topografi adalah *Global Position System (GPS)* Garmin etrex 30, sedangkan peralatan yang digunakan untuk mengukur kedalaman sumur adalah alat ukur meteran sepanjang 5 meter. Dalam pengambilan sampel air tanah di lapangan, perlu dilakukan pencatatan waktu pengambilan sampel, kedalaman air tanah, elevasi muka air tanah

1.2.3 Pembuatan Model Profil Air Tanah

Dari hasil pengukuran didapat kedalaman sumur atau permukaan air tanah untuk tiap sampel. Elevasi topografi yang diperoleh akan dikurangi dengan kedalaman sumur sehingga didapatkan elevasi *water table*. Data yang diperoleh tersebut tersebut akan diplotkan dengan profil topografi yang ada dalam dalam sebuah grafik. Tiap dua arah akan dibuatkan satu grafik, dan dalam penelitian ini akan didapatkan 3 grafik atau model profil air tanah untuk enam arah. Dalam grafik, sumbu x merupakan jarak dari pusat semburan ke arah tertentu yang terdiri dari 6 arah, sedangkan sumbu y merupakan elevasi *water table* dan topografi. titik titik yang diplotkan dalam grafik excel akan dihubungkan dengan menggunakan trendline polynomial. Dari hasil grafik, maka dibuat perbandingan tingkat kemiringan topografi dengan jarak infiltrasi lumpur yang bercampur air terhadap perubahan profil *water table* di sekitar genangan.

BAB 4

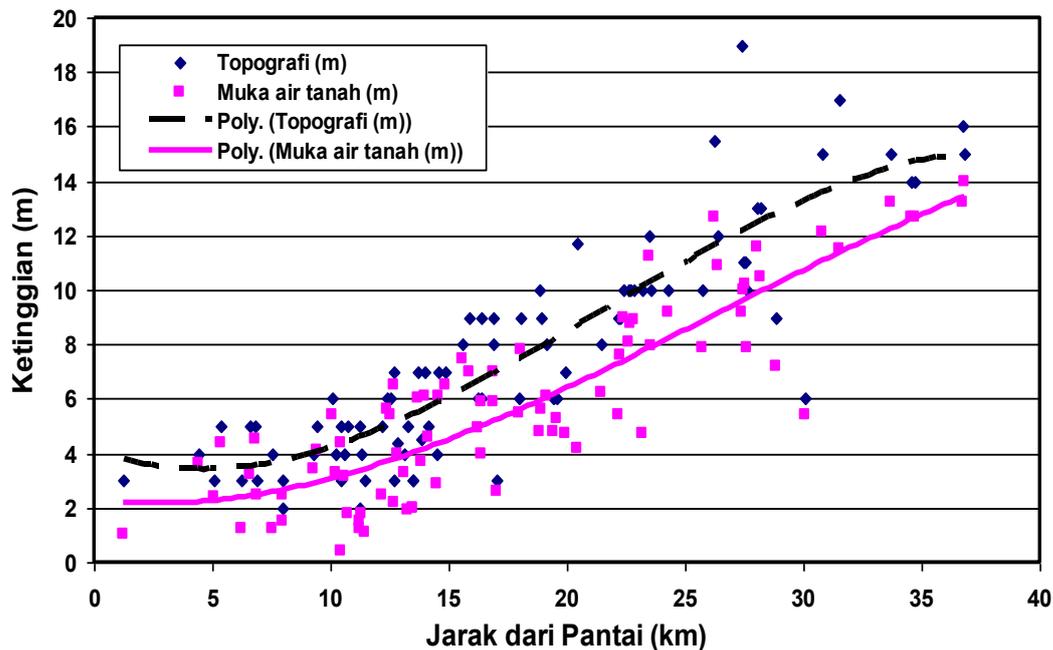
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Daerah Penelitian

Kabupaten Sidoarjo merupakan Kabupaten di Provinsi Jawa Timur yang berjarak 30 km dari Kota Surabaya dan merupakan jalur utama penghubung ibukota Propinsi dengan beberapa Kabupaten yang ada di Jawa Timur. Kabupaten Sidoarjo terdiri dari 18 Kecamatan, 325 Desa dan 28 Kelurahan. Sebelah timur dan selatan berbatasan dengan Kabupaten Pasuruan, sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Mojokerto dan sebelah utara berbatasan dengan Kota Surabaya (Sidoarjokab.go.id).

Semburan lumpur Sidoarjo terletak di Kecamatan Porong yang merupakan daerah penghubung Sidoarjo dengan kota-kota lainnya di Jawa Timur. Bagian timur Kabupaten Sidoarjo tepatnya Kecamatan Jabon merupakan Kecamatan yang berbatasan langsung dengan laut dan dikategorikan sebagai wilayah pesisir Sidoarjo yang sebagian besar penduduknya berprofesi sebagai nelayan tangkap, nelayan budidaya ikan dan rumput laut.

Bencana semburan lumpur telah mengakibatkan banyak kerugian bagi masyarakat sekitar. Banyak warga kehilangan mata pencaharian dan tempat tinggal. Pusat semburan lumpur berjarak kurang lebih 10 km dari pusat Kota Sidoarjo. Sejak terjadi lebih dari 9 tahun lalu, semburan lumpur tersebut telah menenggelamkan 16 Desa di 3 Kecamatan di Sidoarjo yakni Kecamatan Porong, Kecamatan Jabon dan Kecamatan Tanggulangin dengan luas area mencapai 640 Ha (BPLS, 2015). Genangan lumpur yang telah mengendap lebih dari 9 tahun telah mengakibatkan perubahan kualitas air sumur warga di sekitar genangan serta mempengaruhi profil *water table* di sekitar genangan (Mustain, 2013). Berikut adalah profil air tanah dan topografi di wilayah Sidoarjo sebelum terjadi lumpur



Gambar 4.1 Profil Topografi dan Air Tanah di Wilayah Sidoarjo (Dinas Pertambangan dan Energi Jatim, 1999 dalam Mustain, 2013)

Simbol Jajar genjang warna biru merupakan titik-titik elevasi topografi dalam satuan meter dengan garis hitam tebal putus-putus merupakan gabungan dari titik-titik elevasi topografi yang membentuk garis. Sedangkan simbol kotak warna pink merupakan titik-titik ketinggian *water table* dalam satuan meter dengan garis pink lurus tebal merupakan gabungan dari titik-titik ketinggian *water table* yang membentuk garis.

Titik nol dari gambar di atas menandakan titik dasar dalam pengukuran jarak titik elevasi topografi maupun elevasi *water table* dari garis pantai. Elevasi topografi dan *water table* terendah berada pada daerah yang mendekati titik nol atau pada daerah pesisir. Lokasi pengambilan sampel yaitu $7^{\circ} 28'25'' - 7^{\circ} 34'31''$ lintang selatan dan $112^{\circ} 40'57'' - 112^{\circ} 44' 58''$ bujur timur. Daerah penelitian meliputi 4 Kecamatan yaitu arah utara meliputi Kecamatan Tanggulangin dan Kecamatan Candi, timur laut dan barat laut meliputi Kecamatan Tanggulangin, arah barat daya meliputi Kecamatan Porong, arah selatan meliputi Kecamatan Gempol dan tenggara meliputi Kecamatan Jabon. Jarak terjauh lokasi penelitian

dari pusat semburan mencapai 7 km untuk masing masing arah. Berikut adalah peta lokasi lokasi pengambilan sampel di sekitar genangan lumpur



Gambar 4.2 Peta Lokasi Penelitian

4.2 Profil Topografi dan *Water table* di Sekitar Genangan Lumpur dan Wilayah Pesisir Sidoarjo

4.2.1 Arah Utara-Selatan

Pengambilan Sampel sumur gali untuk arah utara dari genangan lumpur dilakukan di Desa Kebongsari dan Desa Gempolsari di Kecamatan Tanggulangin dan Desa Bolonggabus dan Desa Bolongdowo di Kecamatan Candi. Sedangkan untuk selatan dari genangan lumpur dilakukan di Desa Mindi Kecamatan Porong, Desa Pejarakan Kecamatan Jabon dan Gempol Kabupaten Pasuruan. Pengambilan sampel untuk arah utara dan selatan sebanyak 12 titik, 6 titik untuk arah utara dan 6 titik untuk arah selatan. Berikut adalah peta pengambilan sampel untuk arah utara dan selatan dari genangan lumpur



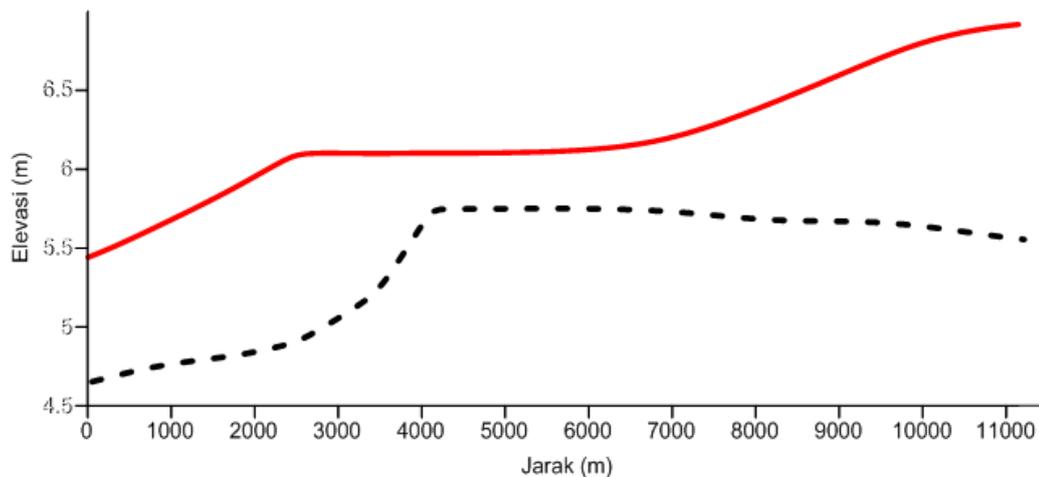
Gambar 4.3 Peta Lokasi Pengambilan Sampel untuk Arah Utara dan Selatan

Jarak untuk titik pertama pengambilan sampel dari genangan ke utara sejauh 1828 meter dan titik terjauh sejauh 6285 meter dari pusat semburan lumpur. Untuk arah selatan, titik pertama pengambilan sampel sejauh 1438 meter dan titik terjauh sejauh 5530 meter dari pusat semburan lumpur. Berikut adalah tabel pengukuran sumur gali untuk arah utara dan selatan.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Sumur Gali untuk Arah Utara dan Selatan

Titik	Longitude (x)	latitude (y)	Jarak (km)	Topografi (m)	Kedalaman sumur (m)	water table (m)
U 6	690418	9173512	-6.285	5.1	-0.65	4.45
U 5	690017	9172847	-5.399	5.48	-0.7	4.78
U 4	689706	9171680	-4.272	5.8	-1	4.8
U 3	689182	9171007	-3.376	6.1	-1.2	4.9
U 2	688902	9170055	-2.585	6.1	-0.9	5.2
U 1	689053	9169410	-1.828	6.1	-0.35	5.75
S 1	687805	9166399	1.438	6.1	-0.35	5.75
S 2	687620	9165835	1.967	6.4	-0.75	5.65
S 3	687630	9165391	2.535	6.4	-0.9	5.5
S 4	688062	9164246	3.685	6.7	-1	5.7
S 5	687801	9163450	4.346	7	-1.35	5.65
S 6	687988	9162287	5.53	7	-1.5	5.5

U merupakan singkatan dari utara dan S merupakan singkatan dari selatan. Dari hasil latitude (y) yang menandakan arah utara-selatan dan hasil longitude (x) yang menandakan arah barat-timur, terlihat bahwa untuk titik U pertama ke titik U berikutnya menunjukkan nilai y semakin tinggi dan nilai x berfluktuasi semakin rendah yang menandakan lokasi pengambilan sampel semakin ke arah utara. Namun untuk titik S nilai (y) semakin menurun dan nilai (x) juga berfluktuasi yang menandakan lokasi pengambilan sampel semakin ke arah selatan. Tanda negatif pada jarak menandakan lokasi pengambilan sampel ke arah utara. Tanda negatif pada kedalaman sumur menandakan bahwa untuk mendapatkan ketinggian *water table* itu diperoleh dari hasil ketinggian topografi dikurangi dengan kedalaman sumur. Berikut adalah profil topografi dan profil water table arah utara dan selatan dari genangan lumpur



Gambar 4.4. Profil Topografi dan Profil Water Table Arah Utara dan Selatan dari Genangan Lumpur

Garis merah tebal pada gambar di atas merupakan profil topografi dari arah utara ke arah selatan. Sedangkan garis hitam tebal putus-putus merupakan profil water table dari arah utara ke arah selatan. Titik nol pada gambar di atas merupakan titik pengambilan sampel untuk U6 dan semakin ke kanan semakin ke selatan hingga ke titik S6. Profil topografi dari genangan lumpur ke arah selatan cenderung meningkat yaitu 6,1 meter di titik pertama hingga 7 meter di titik terakhir. Hal ini dikarenakan arah selatan menuju ke arah daratan yang profil

topografinya semakin tinggi yaitu ke arah Kabupaten Pasuruan. Sedangkan di lain sisi profil topografi untuk arah utara cenderung menurun dari 6,1 meter hingga 5,1 meter, hal ini dikarenakan daerah tenggara dari genangan lumpur menuju ke daerah pesisir Sidoarjo yang terdiri dari persawahan dan tambak, serta daerah tersebut lebih dekat ke arah pesisir yang hanya berjarak sekitar 7 km ke arah garis pantai. Hal ini sesuai data yang diperoleh dari dinas dan pertambangan dan energi Jatim yang menunjukkan elevasi semakin menurun ke arah laut (Mustain, 2013)

Profil *water table* ke arah selatan dari genangan lumpur cenderung mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya elevasi topografi, kecuali untuk titik pertama sebesar 5,75 meter dan titik kedua 5,65 meter. Peristiwa ini diakibatkan oleh genangan lumpur yang mempengaruhi profil *water table* tersebut. Untuk titik berikutnya kondisinya menjadi normal dengan mengalami peningkatan hingga titik keempat sebesar 5,7 meter. Hal berbeda untuk arah utara, profil *water table* mengalami penurunan hingga titik terendah mencapai 4,45 meter yang berbanding lurus dengan penurunan elevasi topografi. Namun perbedaan ketinggian *water table* untuk titik pertama dan kedua berbeda jauh yaitu 0,55 meter namun untuk titik lainnya terhadap titik berikutnya cenderung stabil. Hal ini juga diakibatkan oleh genangan lumpur yang mempengaruhi profil *water table* tersebut.

4.2.2 Arah Barat Laut-Tenggara

Pengambilan Sampel sumur gali untuk arah barat laut dari genangan lumpur dilakukan di Desa Ketapang, Kecamatan Tanggulangin dan Desa Karangtanjung Kecamatan Candi. Sedangkan untuk arah tenggara dari genangan lumpur dilakukan di Desa Besuki Kecamatan Jabon dan Desa Pangreh Kecamatan Jabon. Pengambilan sampel untuk arah barat laut dan tenggara sebanyak 12 titik, 6 titik untuk arah barat laut dan 6 titik untuk arah tenggara. Berikut adalah peta lokasi pengambilan sampel untuk arah barat laut dan tenggara dari genangan lumpur



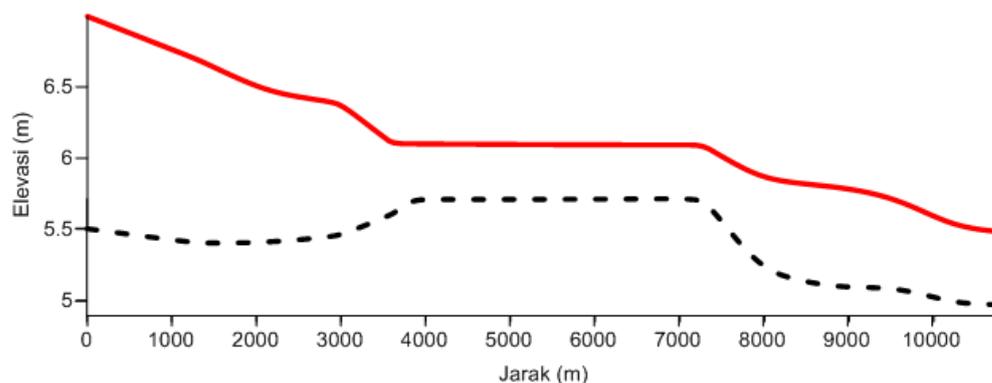
Gambar 4.5 Peta Lokasi Pengambilan Sampel untuk Arah Barat Laut dan Tenggara

Jarak untuk titik pertama pengambilan sampel dari genangan ke barat laut sejauh 1430 meter dan titik terjauh sejauh 5200 meter dari pusat semburan lumpur. Untuk arah tenggara, titik pertama pengambilan sampel sejauh 1807 meter dan titik terjauh sejauh 5511 meter dari pusat semburan lumpur. Berikut adalah tabel pengukuran sumur gali untuk arah barat laut dan tenggara

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Sumur Gali untuk Arah Barat Laut dan Tenggara

Titik	Longitude (x)	Latitude (y)	Jarak (km)	Topografi (m)	Kedalaman sumur (m)	<i>water table</i> (m)
TG 6	691591	9162979	-5.511	5.48	-0.5	4.98
TG 5	690899	9163289	-4.98	5.48	-0.53	4.95
TG 4	690471	9163659	-4.503	5.8	-0.65	5.15
TG 3	690413	9164519	-3.317	5.8	-0.73	5.07
TG 2	689926	9165320	-2.68	5.8	-0.7	5.1
TG 1	689958	9166119	-1.807	6.1	-0.37	5.73
BL 1	688265	9169105	1.43	6.1	-0.4	5.7
BL 2	688164	9169321	1.835	6.1	-0.5	5.6
BL 3	687921	9169906	2.417	6.4	-0.95	5.45
BL 4	687064	9170400	3.32	6.4	-1	5.4
BL 5	687173	9171383	4.098	6.7	-1.3	5.4
BL 6	686398	9172492	5.2	7	-1.5	5.5

BL merupakan singkatan dari barat laut dan TG merupakan singkatan dari tenggara. Dari hasil latitude (y) yang menandakan arah utara-selatan dan hasil longitude (x) yang menandakan arah barat-timur, terlihat bahwa untuk titik BL pertama ke titik BL berikutnya menunjukkan nilai y semakin tinggi dan nilai x semakin rendah yang menandakan lokasi pengambilan sampel semakin ke arah utara dan ke arah barat. Namun untuk titik TG nilai (y) semakin menurun dan nilai (x) semakin meningkat yang menandakan lokasi pengambilan sampel semakin ke arah selatan dan ke arah timur. Tanda negatif pada jarak menandakan lokasi pengambilan sampel ke arah barat laut. Berikut adalah gambar profil topografi dan profil water table arah barat laut dan tenggara genangan lumpur



Gambar 4.6 Profil Topografi dan Profil Water Table Arah Barat Laut dan Tenggara dari Genangan Lumpur

Garis merah tebal pada gambar di atas merupakan profil topografi dari arah barat laut ke arah tenggara. Sedangkan garis hitam tebal putus-putus merupakan profil water table dari arah barat laut ke arah tenggara. Titik nol pada gambar di atas merupakan titik pengambilan sampel untuk BL 6 dan semakin ke kanan semakin ke tenggara hingga ke titik TG 6. Dari profil di atas dapat dilihat bahwa topografi tertinggi berada paling ujung kiri atau arah barat laut sedangkan topografi terendah berada di ujung kanan atau arah tenggara. Profil topografi dari genangan lumpur ke arah barat laut cenderung meningkat yaitu 6,1 meter di titik pertama hingga 7 meter di titik terakhir. Hal ini dikarenakan arah barat laut menuju ke arah daratan yang profil topografinya semakin tinggi. Sedangkan di lain sisi profil topografi untuk arah tenggara cenderung menurun dari 6,1 meter

hingga 5,48 meter, hal ini dikarenakan daerah tenggara dari genangan lumpur menuju ke daerah pesisir Sidoarjo yang terdiri dari persawahan dan tambak, serta daerah tersebut berbatasan langsung dengan Kabupaten Pasuruan. Hal ini sesuai data yang diperoleh dari dinas dan pertambangan energi Jatim yang menunjukkan elevasi semakin meningkat ke arah daratan (Mustain, 2013).

Profil *water table* di atas menunjukkan bahwa daerah genangan lumpur dan sekitarnya memiliki elevasi *water table* yang tertinggi dan cenderung menurun ke arah tenggara. Profil *water table* ke arah barat laut dari genangan lumpur cenderung mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya elevasi topografi, kecuali untuk titik pertama sebesar 5,7 meter dan titik kedua 5,6 meter. Peristiwa ini diakibatkan oleh genangan lumpur yang mempengaruhi profil *water table* tersebut. Untuk titik berikutnya kondisinya menjadi normal dengan mengalami peningkatan hingga titik terakhir sebesar 5,5 meter. Hal berbeda untuk arah tenggara, profil *water table* mengalami penurunan hingga titik terendah mencapai 4,95 meter yang berbanding lurus dengan penurunan elevasi topografi. Namun perbedaan ketinggian *water table* untuk titik pertama dan kedua berbeda jauh yaitu 0,5 meter namun untuk titik lainnya terhadap titik berikutnya cenderung stabil. Hal ini juga diakibatkan oleh genangan lumpur yang mempengaruhi profil *water table* tersebut.

4.2.3 Arah Barat daya-Timur laut

Pengambilan Sampel sumur gali untuk arah barat daya dari genangan lumpur dilakukan di Kelurahan Porong, Kecamatan Porong dan Desa Kebonagung Kecamatan Porong. Sedangkan untuk arah timur laut dari genangan lumpur dilakukan di Desa Kedungbanteng dan Desa Banjarpanji Kecamatan tanggulangin. Pengambilan sampel untuk arah barat daya dan timur laut sebanyak 12 titik, 6 titik untuk arah barat daya dan 6 titik untuk arah timur laut. Berikut adalah peta lokasi pengambilan sampel untuk arah barat daya dan timur laut dari genangan lumpur



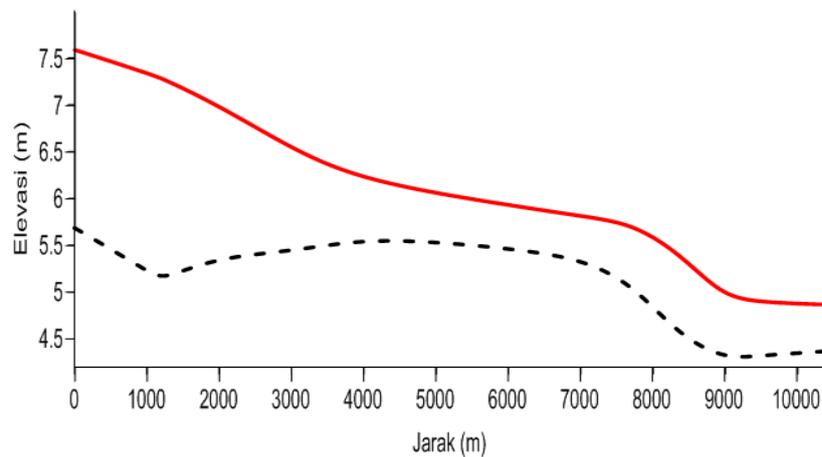
Gambar 4.7 Peta Lokasi Pengambilan Sampel untuk Arah Barat daya dan Timur Laut

Jarak untuk titik pertama pengambilan sampel dari genangan ke barat daya sejauh 1530 meter dan titik terjauh sejauh 5350 meter dari pusat semburan lumpur. Untuk arah timur laut, titik pertama pengambilan sampel sejauh 1986 meter dan titik terjauh sejauh 5220 meter dari pusat semburan lumpur. Berikut adalah tabel pengukuran sumur gali untuk arah barat daya dan timur laut.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Sumur Gali untuk Arah Barat Daya dan Timur laut

Titik	Longitude (x)	Latitude (y)	Jarak (km)	Topografi (m)	Kedalaman sumur (m)	water table (m)
BD 6	685169	9163925	-5.35	7.61	-1.9	5.71
BD 5	686244	9164566	-3.787	7.3	-2.2	5.1
BD 4	686279	9165672	-3.1	7	-1.4	5.6
BD 3	686988	9166591	-2.211	6.4	-0.9	5.5
BD 2	687234	9166836	-1.769	6.1	-0.65	5.45
BD 1	687541	9166988	-1.53	6.1	-0.35	5.75
TL 1	690553	9168697	1.986	5.79	-0.35	5.44
TL 2	691128	9168938	2.8	5.79	-0.6	5.19
TL 3	691634	9169321	3.28	5.48	-1	4.48
TL 4	692212	9169612	3.9	4.87	-0.65	4.22
TL 5	692704	9169917	4.34	4.87	-0.55	4.32
TL 6	693563	9170129	5.22	4.87	-0.5	4.37

BD merupakan singkatan dari barat daya dan TL merupakan singkatan dari timur laut. Dari hasil latitude (y) yang menandakan arah utara selatan dan hasil longitude (x) yang menandakan arah barat timur, terlihat bahwa untuk titik BD pertama ke titik BD berikutnya menunjukkan nilai y semakin rendah dan nilai x juga semakin rendah yang menandakan lokasi pengambilan sampel semakin ke arah selatan, dan semakin ke arah barat. Namun untuk titik TL nilai (y) semakin meningkat dan nilai (x) juga semakin meningkat yang menandakan lokasi pengambilan sampel semakin ke arah utara dan ke arah timur. Tanda negatif pada jarak menandakan lokasi pengambilan sampel ke arah barat daya. Berikut adalah profil topografi barat daya dan timur laut genangan lumpur



Gambar 4.8 Profil Topografi dan Profil Water Table Arah Barat Daya dan Timur Laut dari Genangan Lumpur

Garis merah tebal pada gambar di atas merupakan profil topografi dari arah barat daya ke arah timur laut. Sedangkan garis hitam tebal putus-putus merupakan profil water table. Titik nol pada gambar di atas merupakan titik pengambilan sampel untuk BD 6 dan semakin ke kanan semakin ke timur laut hingga ke titik TL 6. Dari profil di atas dapat dilihat bahwa topografi tertinggi berada paling ujung kiri atau arah barat daya sedangkan topografi terendah berada di ujung kanan atau arah timur laut. Profil topografi dari genangan lumpur ke arah barat daya cenderung meningkat yaitu 6,1 meter di titik pertama hingga 7,61 meter di titik terakhir. Hal ini dikarenakan arah barat daya menuju ke arah daratan yang profil topografinya semakin tinggi. serta daerah tersebut berbatasan langsung

dengan Kabupaten Mojokerto. Sedangkan di lain sisi profil topografi untuk arah timur laut cenderung menurun dari 5.79 meter hingga 4.87 meter, hal ini dikarenakan daerah timur laut dari genangan lumpur menuju ke daerah pesisir Sidoarjo yang terdiri dari persawahan dan tambak. Hal ini sesuai data yang diperoleh dari dinas dan pertambangan energi Jatim yang menunjukkan elevasi semakin meningkat ke arah daratan (Mustain, 2013).

Profil *water table* di atas menunjukkan bahwa elevasi tertinggi berada paling ujung kiri atau arah barat daya sedangkan elevasi terendah berada di ujung kanan atau arah timur laut. Profil *water table* ke arah barat daya dari genangan lumpur cenderung mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya elevasi topografi, kecuali untuk titik pertama sebesar 5,75 meter dan titik kedua 5,45 meter. Untuk titik berikutnya kondisinya menjadi normal dengan mengalami peningkatan titik ketiga sebesar 5,5 meter. Peristiwa ini diakibatkan oleh genangan lumpur yang mempengaruhi profil *water table* tersebut. Namun untuk titik kelima diperoleh elevasi *water table* yang rendah, hal ini diakibatkan lokasi pengambilan sampel yang berada di area sekitar pabrik yang intensitas penggunaan air tanah yang tinggi sehingga dapat mempengaruhi perubahan profil *water table*, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Stallman, 1965 yang menyatakan bahwa penggunaan air tanah yang berlebih dapat mengakibatkan *depletion* terhadap profile *water table*.

Hal berbeda untuk arah timur laut, profil *water table* mengalami penurunan hingga titik terendah mencapai 4,22 meter yang berbanding lurus dengan penurunan elevasi topografi. Namun perbedaan ketinggian *water table* untuk titik kedua dan ketiga berbeda jauh yaitu 0,71 meter namun untuk titik lainnya terhadap titik berikutnya cenderung stabil. Hal ini juga diakibatkan oleh genangan lumpur yang mempengaruhi profil *water table* tersebut. Dimana untuk titik kedua masih terkena pengaruh oleh genangan lumpur namun untuk titik ketiga sudah tidak terpengaruh oleh genangan lumpur. Namun adanya fluktuasi *water table* di titik 4,5 dan 6 dapat diakibatkan oleh intensitas penggunaan air oleh warga sekitar dan fluktuasi pasang surut muka air laut, hal ini sesuai dengan teori yang mengatakan penggunaan air tanah yang berlebih dapat mengakibatkan *depletion* terhadap profile *water table* (Stallman, 1965)

4.3 Pengaruh Genangan Lumpur Sidoarjo terhadap Perubahan *Water table* di Wilayah Pesisir Sidoarjo

4.3.1 Arah Utara-Selatan

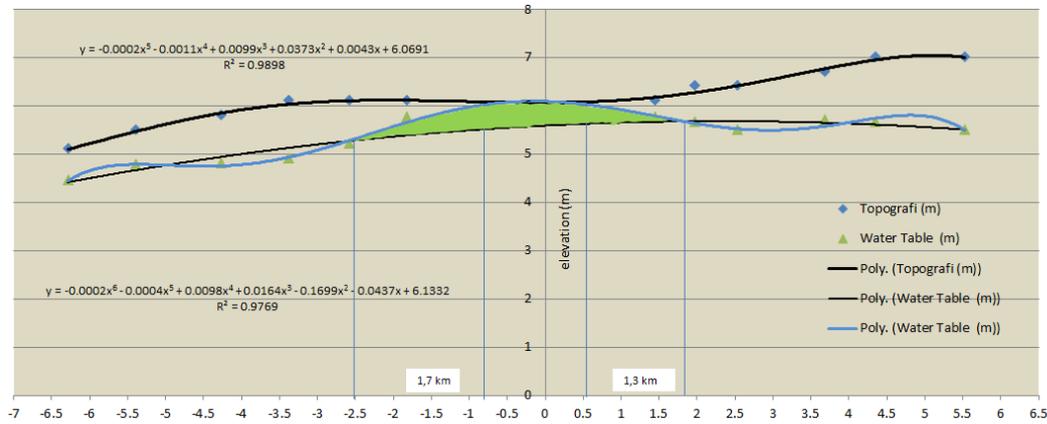
Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan terlihat bahwa adanya perbedaan kedalaman sumur di dekat genangan lumpur. Perbedaan mencolok terlihat di titik sampel yang dekat genangan dengan titik sampel berikutnya. Untuk arah utara perbedaannya mencapai 0.55 m dan arah selatan mencapai 0.4 meter. Namun untuk lokasi pengukuran yang jauh dari pusat genangan perbedaan kedalaman sumur tidak berbeda jauh terhadap lokasi berikutnya, seperti pada U5 dan U6 yang memiliki perbedaan kedalaman sumur sebesar 0.05 m. Seperti halnya dengan arah utara, perbedaan kedalaman sumur untuk titik-titik terjauh arah selatan tidak berbeda jauh, walaupun memiliki elevasi topografi yang sama titik S5 dan S6 memiliki perbedaan kedalaman sumur 0.15 m. Berikut adalah tabel kedalaman sumur dan elevasi *water table* di arah utara dan selatan dari genangan lumpur.

Tabel 4.4 Tabel Kedalaman Sumur dan Elevasi *Water table* di Utara dan Selatan dari Genangan Lumpur

Titik	Jarak (m)	Topografi (m)	Kedalaman sumur (m)	<i>Water table</i> (m)
U 6	-6.285	5.1	-0.65	4.45
U 5	-5.399	5.48	-0.7	4.78
U 4	-4.272	5.8	-1	4.8
U 3	-3.376	6.1	-1.2	4.9
U 2	-2.585	6.1	-0.9	5.2
U 1	-1.828	6.1	-0.35	5.75
S 1	1.438	6.1	-0.35	5.75
S 2	1.967	6.4	-0.75	5.65
S 3	2.535	6.4	-0.9	5.5
S 4	3.685	6.7	-1	5.7
S 5	4.346	7	-1.35	5.65
S 6	5.53	7	-1.5	5.5

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa kedalaman sumur lebih dangkal untuk daerah di sekitar genangan baik itu untuk arah utara maupun untuk

arah selatan. Namun kedalaman sumur meningkat untuk ke arah utara dan selatan. Berikut adalah grafik perubahan *water table* akibat genangan lumpur

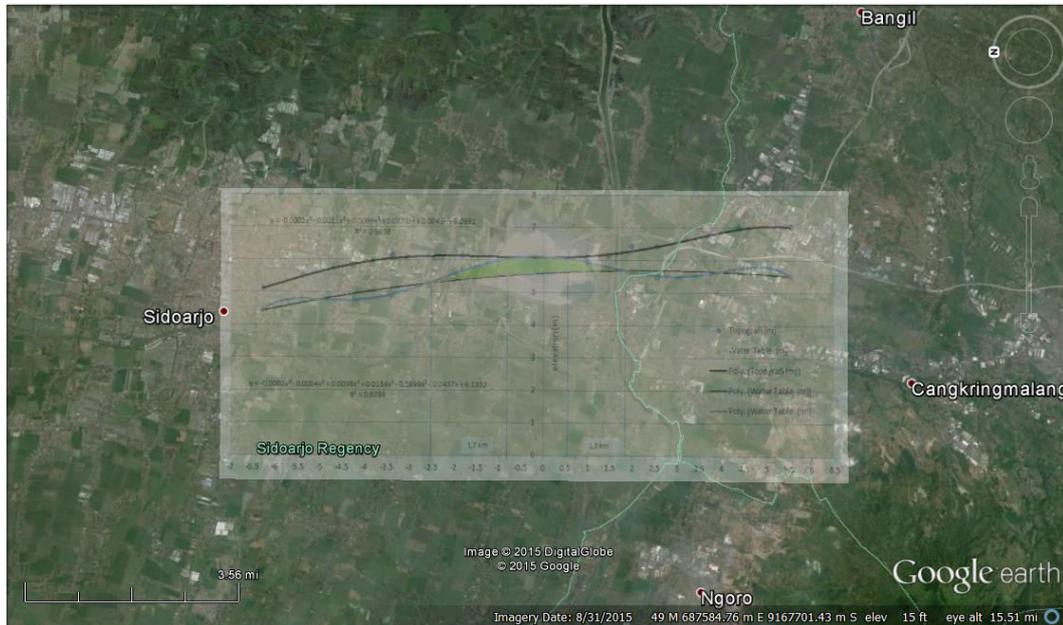


Gambar 4.9 Grafik Perubahan Profil *Water table* untuk Arah Utara dan Selatan

Simbol jajargenjang warna biru merupakan titik titik elevasi topografi. dan dengan menggunakan trendline orde 5 maka didapatkan nilai regresi Polynomial $R^2 = 0.9898$ yang menandakan hubungan antara titik dengan titik yang lainnya bernilai baik. Untuk profil *water table* ditandai dengan titik-titik segitiga yang berwarna hijau. Hasil pengukuran lapangan diplot dengan menggunakan trendline orde 2 dan untuk mendapatkan kecenderungan perubahan *water table* akibat genangan lumpur maka digunakan trendline polynomial orde 6 dengan nilai regresi Polynomial $R^2 = 0.9769$ yang ditandai dengan garis biru tebal. Titik pusat semburan berada di titik nol, dengan ke kanan (tanda positif) menandakan ke arah selatan dan ke kiri (tanda negatif) menandakan ke arah utara. Dari hasil grafik di atas diperoleh bahwa genangan lumpur mempengaruhi profil *water table* ke arah selatan sejauh 1,3 km dan ke arah tenggara sejauh 1,7 km.

Pengaruh genangan lumpur terhadap perubahan *water table* berbeda untuk masing masing arah. Pengaruh genangan lumpur lebih besar ke arah yang memiliki topografi lebih rendah. Untuk arah selatan genangan mempengaruhi *water table* sejauh 1.3 km sedangkan untuk arah utara genangan mempengaruhi *water table* sejauh 1.7 km. Perbedaan ini diakibatkan oleh adanya gaya gravitasi. Gaya gravitasi berpengaruh untuk ke masing masing arah, namun pengaruh gravitasi bersifat positif terhadap perubahan *water table* untuk topografi yang

memiliki elevasi lebih rendah dari daerah genangan, sedangkan bersifat negatif terhadap perubahan *water table* untuk topografi yang memiliki elevasi lebih tinggi dari daerah genangan.



Gambar 4.10 Overlay Grafik Perubahan Profil *Water table* untuk Arah Utara dan Selatan dengan Google Map

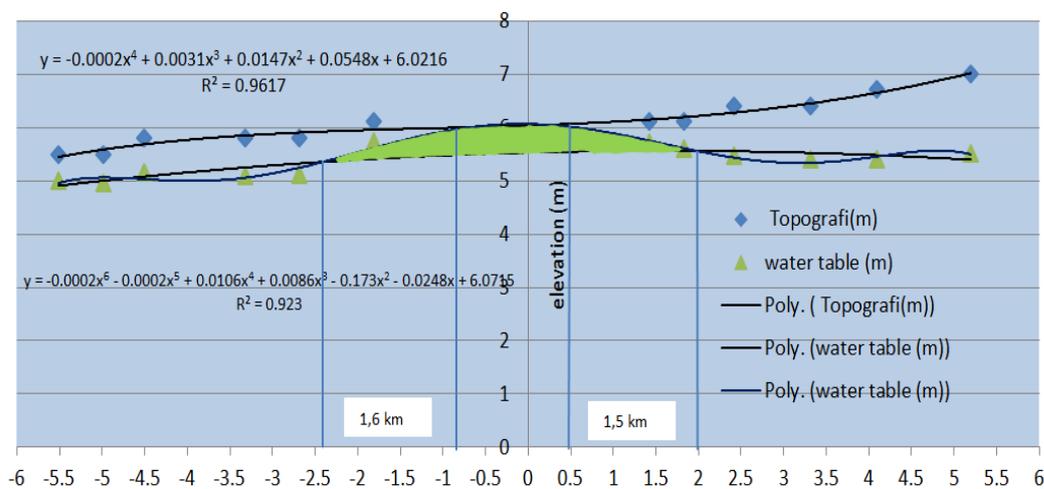
4.3.2 Arah Barat Laut-Tenggara

Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan terlihat bahwa adanya perbedaan kedalaman sumur di dekat genangan lumpur. Perbedaan mencolok terlihat di titik sampel yang dekat genangan dengan titik sampel berikutnya. Untuk arah tenggara titik TG 1 dan TG memiliki perbedaan mencapai 0.33 m dan arah barat laut titik BL 2 dan BL 3 mencapai 0.45 meter. Walaupun perbedaan kedalaman sumur antara BL 1 dengan BL 2 tidak terlalu besar namun perbedaan kedalaman sumur antara BL 2 dengan BL 3 cukup besar. Sebaliknya, untuk lokasi pengukuran yang jauh dari pusat genangan perbedaan kedalaman sumur tidak berbeda jauh terhadap lokasi berikutnya, seperti pada TG 5 dan TG 6 yang memiliki perbedaan kedalaman sumur sebesar 0.03 m. Seperti halnya dengan arah tenggara, perbedaan kedalaman sumur untuk titik titik terjauh arah barat laut tidak berbeda jauh yaitu 0.2 m. Berikut adalah tabel kedalaman sumur dan elevasi *water table* di arah barat laut dan tenggara dari genangan lumpur.

Tabel 4.5 Tabel Kedalaman Sumur dan Elevasi *Water table* di Arah Barat Laut dan Tenggara dari Genangan Lumpur

Titik	Jarak (km)	Topografi (m)	Kedalaman sumur (m)	<i>water table</i> (m)
TG 6	-5.511	5.48	-0.5	4.98
TG 5	-4.98	5.48	-0.53	4.95
TG 4	-4.503	5.8	-0.65	5.15
TG 3	-3.317	5.8	-0.73	5.07
TG 2	-2.68	5.8	-0.7	5.1
TG 1	-1.807	6.1	-0.37	5.73
BL 1	1.43	6.1	-0.4	5.7
BL 2	1.835	6.1	-0.5	5.6
BL 3	2.417	6.4	-0.95	5.45
BL 4	3.32	6.4	-1	5.4
BL 5	4.098	6.7	-1.3	5.4
BL 6	5.2	7	-1.5	5.5

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat kedalaman sumur lebih dangkal untuk daerah di sekitar genangan baik itu untuk arah barat laut maupun untuk arah tenggara. Namun kedalaman sumur meningkat untuk kearah barat laut dan kembali dangkal untuk ke arah tenggara, hal ini disebabkan karena bagian tenggara dari genangan lumpur menuju ke daerah pesisir Sidoarjo. Berikut adalah grafik perubahan *water table* akibat genangan lumpur



Gambar 4.11 Grafik Perubahan Profil *Water table* untuk Arah Barat Laut dan Tenggara

Simbol jajar genjang warna biru merupakan titik titik elevasi topografi. dan dengan menggunakan trendline orde 6 maka didapatkan nilai regresi Polynomial $R^2 = 0.9617$ yang menandakan hubungan antara titik dengan titik yang lainnya bernilai baik. Untuk profil *water table* ditandai dengan titik titik segitiga yang berwarna hijau. Hasil pengukuran lapangan diplot dengan menggunakan trendline orde 2 dan untuk mendapatkan kecenderungan perubahan *water table* akibat genangan lumpur maka digunakan trendline polynomial orde 6 dengan nilai regresi Polynomial $R^2 = 0.923$ yang ditandai dengan garis biru tebal. Titik pusat semburan berada di titik nol, dengan ke kanan (tanda positif) menandakan ke arah barat laut dan ke kiri (tanda negatif) menandakan ke arah tenggara. Dari hasil grafik di atas diperoleh bahwa genangan lumpur mempengaruhi profil *water table* ke arah barat laut sejauh 1,5 km dan ke arah tenggara sejauh 1,6 km.

Pengaruh genangan lumpur terhadap perubahan *water table* berbeda untuk kedua arah. Pengaruh genangan lumpur lebih rendah ke arah yang memiliki topografi lebih tinggi. Untuk arah barat laut genangan mempengaruhi *water table* sejauh 1.5 km, sedangkan untuk arah tenggara, genangan mempengaruhi *water table* sejauh 1.6 km. Perbedaan ini diakibatkan oleh adanya gaya gravitasi. Gaya gravitasi berpengaruh untuk ke masing masing arah, namun pengaruh gravitasi bersifat positif terhadap perubahan *water table* untuk topografi yang memiliki elevasi lebih rendah dari daerah genangan dan bersifat negatif terhadap perubahan *water table* untuk topografi yang memiliki elevasi lebih tinggi dari daerah genangan.



Gambar 4.12 Overlay Grafik Perubahan Profil *Water table* untuk Arah Barat Laut dan Tenggara dengan Google Map

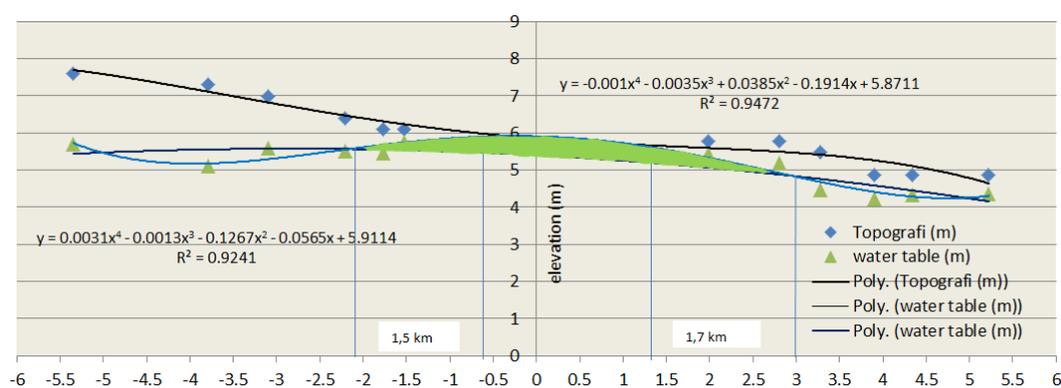
4.3.3 Arah Barat Daya-Timur Laut

Sama halnya dengan arah utara, selatan, barat laut dan tenggara, dari hasil plot pforil *water table* dengan menggunakan Software *surfer 12* terlihat juga bahwa adanya perubahan profil *water table* di sekitar genangan lumpur di bagian bagian barat daya yang menuju kabupaten mojokerto dan arah timur laut yang menuju daerah pesisir Sidoarjo. Perbedaan mencolok terlihat di titik sampel yang dekat genangan dengan titik sampel berikutnya. Untuk arah timur laut titik TL 2 dan TL 3 memiliki perbedaan mencapai 0.4 m, namun kedalaman sumur untuk arah barat daya memiliki perbedaan yang hampir sama antara titik yang satu dengan titik yang lainnya. Hal tersebut diakibatkan oleh perbedaan topografi yang signifikan antara titik yang satu dengan titik yang lainnya. Hal ini dapat dilihat dari elevasi topografi untuk titik BD 4, BD 5 dan BD 6 yang memiliki perbedaan mencapai satu kaki, sedangkan elevasi topografi untuk titik TL 4, TL 5 dan TL 6 adalah sama. Berikut adalah tabel hasil penelitian kedalaman sumur dan elevasi *water table* di arah barat daya dan timur laut dari genangan lumpur.

Tabel 4.6 Tabel Kedalaman Sumur dan Elevasi *Water table* di Arah Barat Daya dan Timur Laut dari Genangan Lumpur

Titik	Jarak (m)	Topografi (m)	Kedalaman sumur (m)	<i>water table</i> (m)
BD 6	-5.35	7.61	-1.9	5.71
BD 5	-3.787	7.3	-2.2	5.1
BD 4	-3.1	7	-1.4	5.6
BD 3	-2.211	6.4	-0.9	5.5
BD 2	-1.769	6.1	-0.65	5.45
BD 1	-1.53	6.1	-0.35	5.75
TL 1	1.986	5.79	-0.35	5.44
TL 2	2.8	5.79	-0.6	5.19
TL 3	3.28	5.48	-1	4.48
TL 4	3.9	4.87	-0.65	4.22
TL 5	4.34	4.87	-0.55	4.32
TL 6	5.22	4.87	-0.5	4.37

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa kedalaman sumur lebih dangkal untuk daerah di sekitar genangan baik itu untuk arah barat daya maupun untuk arah timur laut. Namun kedalaman sumur meningkat untuk ke arah barat daya dan kembali dangkal untuk ke arah timur laut, hal ini disebabkan karena bagian timur laut dari genangan lumpur menuju ke daerah pesisir Sidoarjo. Berikut adalah grafik perubahan *water table* akibat genangan lumpur



Gambar 4.13 Grafik Perubahan Profil *Water table* untuk Arah Barat Daya dan Timur Laut

Simbol jajar genjang warna biru merupakan titik titik elevasi topografi. dan dengan menggunakan trendline orde 4 maka didapatkan nilai regresi

Polynomial $R^2 = 0.9497$ yang menandakan hubungan antara titik dengan titik yang lainnya bernilai baik. Untuk profil *water table* ditandai dengan titik titik segitiga yang berwarna hijau. Hasil pengukuran lapangan diplot dengan menggunakan trendline orde 2 dan untuk mendapatkan kecenderungan perubahan *water table* akibat genangan lumpur maka digunakan trendline polynomial orde 4 dengan nilai regresi Polynomial $R^2 = 0.9241$ yang ditandai dengan garis biru tebal. Titik pusat semburan berada di titik nol, dengan ke kanan (tanda positif) menandakan ke arah timur laut dan ke kiri (tanda negatif) menandakan ke arah barat daya. Dari hasil grafik di atas diperoleh bahwa genangan lumpur mempengaruhi profil *water table* ke arah barat daya sejauh 1,5 km dan ke arah timur laut sejauh 1,7 km.



Gambar 4.14 Overlay Grafik Perubahan Profil *Water table* untuk Arah Barat Daya dan Timur Laut dengan Google Map

Pengaruh genangan lumpur terhadap perubahan *water table* juga terjadi untuk arah barat daya dan timur laut dari genangan lumpur. Pengaruh genangan lumpur lebih rendah ke arah yang memiliki topografi lebih tinggi. Untuk arah barat laut genangan mempengaruhi *water table* sejauh 1.5 km, sedangkan untuk arah tenggara, genangan mempengaruhi *water table* sejauh 1.7 km. Perbedaan ini diakibatkan oleh adanya gaya gravitasi. Gaya gravitasi berpengaruh untuk ke

masing masing arah, namun pengaruh gravitasi bersifat positif terhadap perubahan *water table* untuk topografi yang memiliki elevasi lebih rendah dari daerah genangan dan bersifat negatif terhadap perubahan *water table* untuk topografi yang memiliki elevasi lebih tinggi dari daerah genangan

Air merupakan zat yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari, baik untuk mandi, minum, mencuci bahkan memasak. Komposisi kimia padatan lumpur yang terdiri dari oksida-oksida logam terutama silika (SiO_2) yang mencapai 50,61-53,25% berat; alumina (Al_2O_3) 17,04-17,22%; Fe_2O_3 = 6,08-6,68%; CaO = 1,99-3,12%; MgO = 1,79-2,65%; Na_2O = 1,78-2,65%; K_2O = 1,61-1,69%; TiO_2 = 0,61-0,74% dapat berbahaya bagi kesehatan masyarakat jika dikonsumsi (laporan Badan Geologi tahun 2010 dalam BPLS 2011). Hal ini dikhawatirkan terutama untuk daerah yang air tanahnya terkena infiltrasi lumpur. Komposisi kimia lumpur tersebut dapat bercampur dengan air tanah warga yang sebelumnya hanya H_2O murni dan beberapa mineral yang dibutuhkan oleh tubuh.

Penanganan terhadap dampak yang ditimbulkan akibat adanya genangan lumpur tersebut kepada masyarakat berjalan lambat, hal ini dapat dilihat dari waktu terjadinya lumpur yaitu tahun 2006 namun ganti rugi terhadap lahan dan bangunan warga yang rusak selesai 10 tahun kemudian dan itupun dengan pergantian kepala pemerintahan Republik Indonesia. Ganti rugi yang diberikan kepada masyarakat hanya untuk lahan dan bangunan yang terdampak secara langsung dan tidak kepada masyarakat yang air tanahnya tercemar oleh lumpur. Dari hasil penelitian diketahui bahwa genangan lumpur mempengaruhi profil *water table* disekitarnya dengan jarak mulai dari 1.3 km hingga 1.7 km, sehingga diperlukan langkah-langkah untuk mengatasi persoalan tersebut.

Penelitian-penelitian lebih lanjut dibutuhkan untuk mengetahui cara memurnikan air yang terkontaminasi lumpur sehingga baik untuk dikonsumsi oleh masyarakat. Peran pemerintah setempat juga diharapkan dapat lebih konkrit dalam menjaga kesehatan masyarakat seperti sosialisasi kepada masyarakat mengenai dampak secara tidak langsung akibat adanya genangan lumpur tersebut serta penyediaan air bersih untuk masyarakat yang air tanahnya terinfiltrasi oleh lumpur.

4.4 Perubahan Profil Topografi dan *Water table* di Sekitar Genangan Lumpur dan Wilayah Pesisir Sidoarjo

Genangan lumpur Sidoarjo terletak di daerah pesisir Sidoarjo yang hanya berjarak sekitar 15-17 km dari garis pantai. Bagian selatan genangan lumpur berbatasan dengan Kecamatan Gempol Kabupaten Pasuruan dan berbatasan dengan Kabupaten Mojokerto di bagian barat daya. Hal inilah yang menyebabkan elevasi topografi di sekitar genangan lumpur lebih rendah ke arah timur, timur laut, tenggara dan utara namun lebih tinggi untuk arah selatan barat daya, barat dan barat laut. dari hasil pengukuran 36 titik di lapangan dan dengan menggunakan *software surfer 12* maka didapatkan peta topografi di sekitar genangan lumpur Sidoarjo.

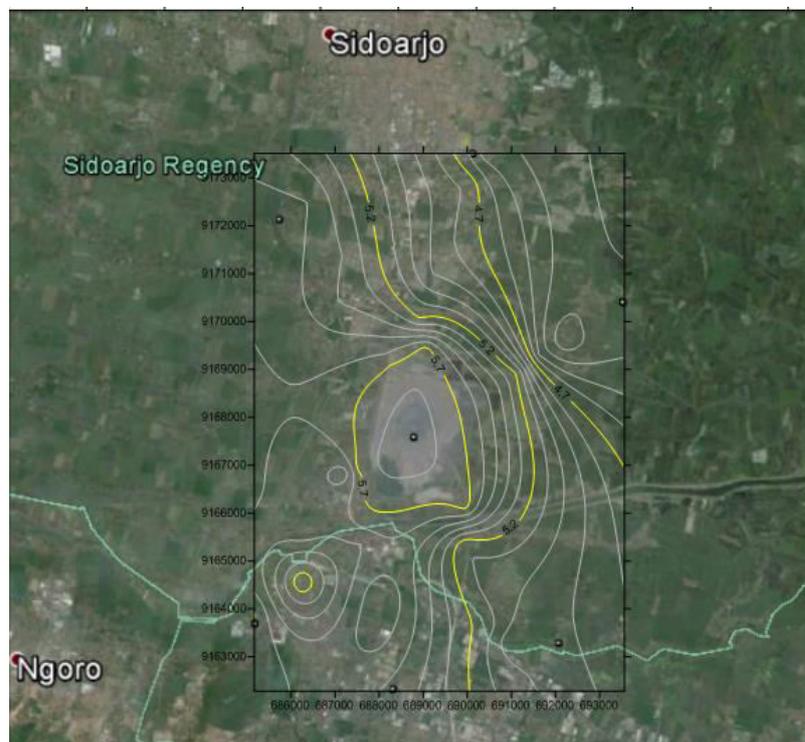


Gambar 4.15 Peta Profil Topografi di Sekitar Genangan Lumpur Sidoarjo

Ujung kanan bawah pada gambar di atas menandakan arah timur sedangkan ujung kiri bawah menandakan arah barat. Ujung atas menandakan arah

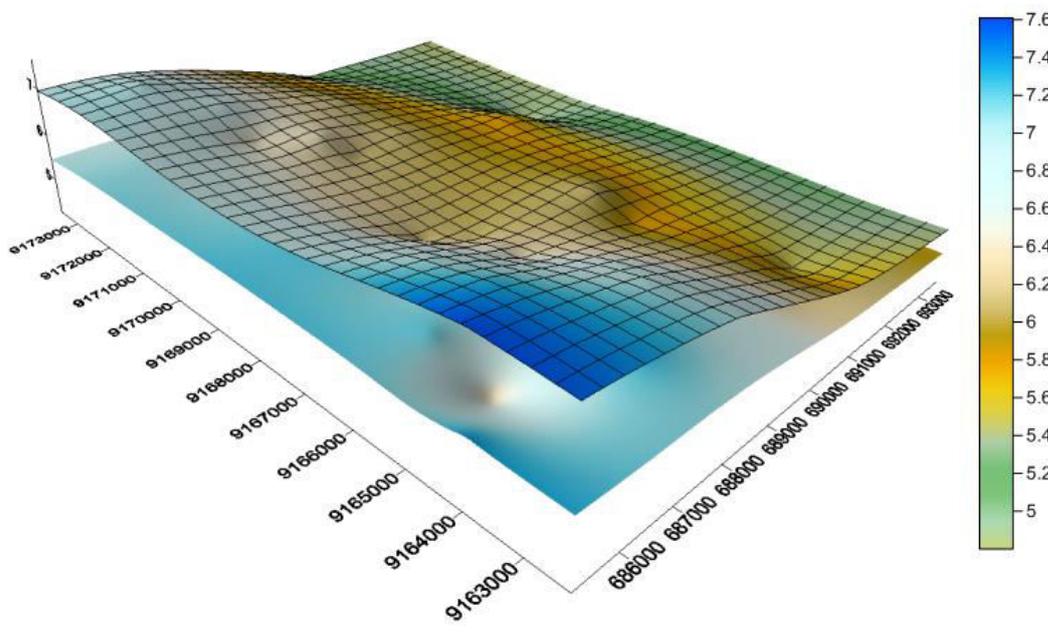
utara sedangkan ujung bawah menandakan arah selatan. Dari gambar di atas terlihat bahwa elevasi topografi tertinggi berada di bagian barat daya dari genangan lumpur, hal ini dikarenakan arah barat daya menuju Kabupaten Mojokerto yang daerahnya merupakan daerah pegunungan. Untuk elevasi terendah berada di bagian timur laut, timur dan tenggara dari genangan lumpur, hal ini dikarenakan daerah tersebut merupakan daerah pesisir Sidoarjo yang elevasi topografinya lebih rendah dari daerah sekitarnya. Secara normal elevasi topografi akan diikuti oleh elevasi *water table*. Semakin tinggi elevasi topografi dari permukaan laut maka semakin tinggi pula elevasi *water table* dari permukaan laut. Namun hal tersebut dapat berubah untuk daerah tertentu jika ada faktor yang mempengaruhi perubahan *water table* seperti genangan, irigasi dan drainase (Acharya,S, 2015).

Sama halnya dengan peta profil topografi di sekitar genangan lumpur, peta profil untuk elevasi *water table* di sekitar genangan lumpur juga diperoleh dengan menggunakan 36 titik lokasi penelitian dan dengan menggunakan *software surfer 12* maka diperoleh peta elevasi *water table* di sekitar genangan lumpur Sidoarjo



Gambar 4.16 Peta Profil *Water table* di Sekitar Genangan Lumpur Sidoarjo

Ujung kanan bawah menandakan arah timur sedangkan ujung kiri bawah menandakan arah barat. Ujung atas menandakan arah utara sedangkan ujung bawah menandakan arah selatan. Profil *water table* di atas merupakan profil *water table* pada musim kemarau yang merupakan elevasi *water table* terendah (Kisekka dkk, 2014). Dari gambar di atas terlihat bahwa arah barat daya memiliki elevasi *water table* yang lebih tinggi dari wilayah lainnya kemudian diikuti oleh arah barat dan barat laut, namun perbedaan mencolok terjadi untuk area genangan lumpur dan sekitarnya. Area genangan lumpur dan sekitarnya memiliki elevasi *water table* yang tertinggi, hal ini dikarenakan oleh genangan lumpur yang mempengaruhi profil *water table* di sekitar genangan lumpur. Pengaruh genangan lumpur berangsur berkurang hingga hilang sejauh jarak tertentu ke masing-masing arah di sekitar genangan lumpur.

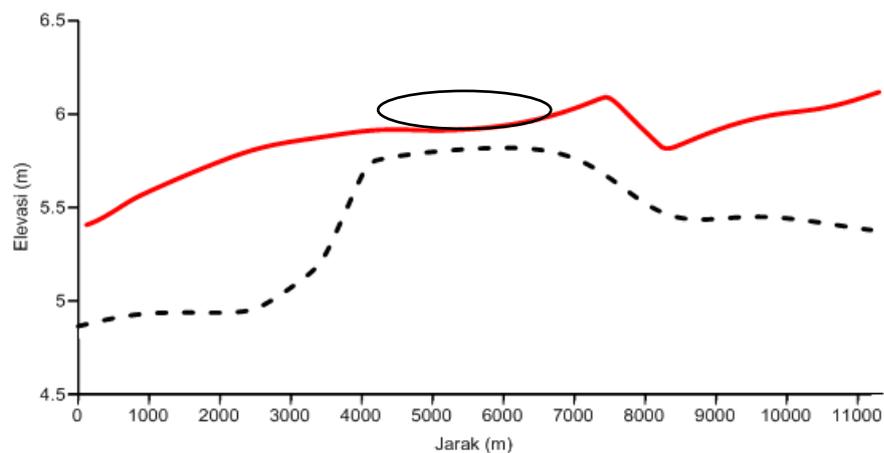


Gambar 4.17 Peta Overlay 3 Dimensi Profil Topografi dengan Profil Water Table di Sekitar Genangan Lumpur Sidoarjo

Dari peta profil topografi dan water table tersebut dan dengan bantuan *software surfer 12* maka dapat diperoleh lagi profil topografi dan peta profil water table tiap arah di sekitar genangan lumpur Sidoarjo berdasarkan gabungan 36 titik lokasi penelitian. Berikut adalah profil topografi dan water table di sekitar genangan lumpur Sidoarjo dengan menggunakan 36 titik lokasi penelitian

a. Arah utara-selatan

Pada gambar 4.18 dapat dilihat bahwa dari arah utara ke selatan terlihat profil topografi semakin meningkat. Jarak dari titik pertama pengukuran hingga titik terakhir pengukuran mencapai 11 km. tanda lingkaran dengan garis hitam di atas profil menandakan lokasi genangan lumpur, dengan panjang genangan dari arah utara ke selatan kurang lebih 2 km. elevasi topografi tertinggi mencapai lebih dari 6 m.

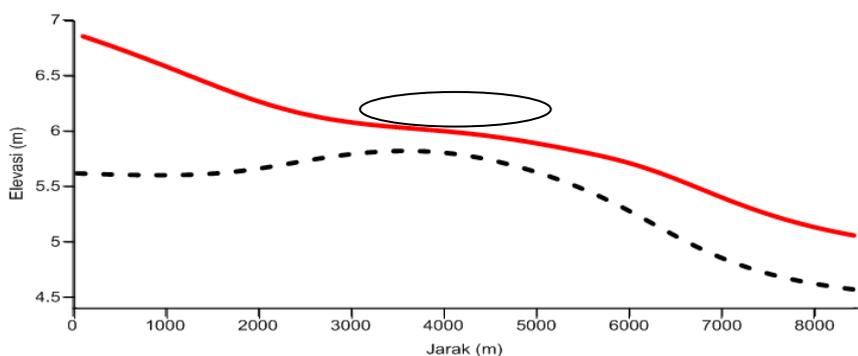


Gambar 4.18 Profil Topografi dan Water Table Arah Utara dan Selatan dari Genangan Lumpur berdasarkan 36 Titik Lokasi Penelitian

Garis merah tebal pada gambar di atas merupakan profil topografi dari arah utara ke arah selatan. Sedangkan garis hitam tebal putus-putus merupakan profil water table dari arah utara ke arah selatan. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa profil water table naik tajam dari arah utara ke arah genangan lumpur dan perlahan turun dan mengikuti profil topografi.

b. Arah barat-timur

Penentuan profil topografi untuk arah barat dan timur dari genangan lumpur tidak dilakukan dengan pengukuran langsung namun diperoleh dari hasil gabungan 36 titik lokasi pengukuran yang diolah dengan menggunakan *software surfer 12*. Dari gambar 4.20 dapat dilihat bahwa dari arah barat ke timur terlihat profil topografi semakin menurun, hal ini sama dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mustain 2013, bahwa profil topografi di sekitar genangan lumpur dari arah barat ke timur genangan semakin menurun hingga mencapai daerah pesisir Sidoarjo. Jarak dari titik pertama Pengukuran hingga titik terakhir pengukuran mencapai 8 km. tanda lingkaran dengan garis hitam di atas profil menandakan lokasi genangan lumpur, dengan panjang genangan dari arah barat ke timur kurang lebih 2 km. elevasi topografi tertinggi dari hasil pengukuran mencapai lebih dari 6.5 m dan elevasi terendah mencapai 5 m. Garis merah tebal pada gambar merupakan profil topografi dari arah barat ke arah timur. Sedangkan garis hitam tebal putus-putus merupakan profil water table dari arah barat ke arah timur. Profil water table tidak mengikuti pola profil topografi. Pada bagian genangan profil water table cenderung naik dan kembali sejajar dengan profil topografi pada jarak tertentu dari genangan. Hal ini diakibatkan oleh adanya genangan lumpur yang merubah profil water table di sekitar genangan.

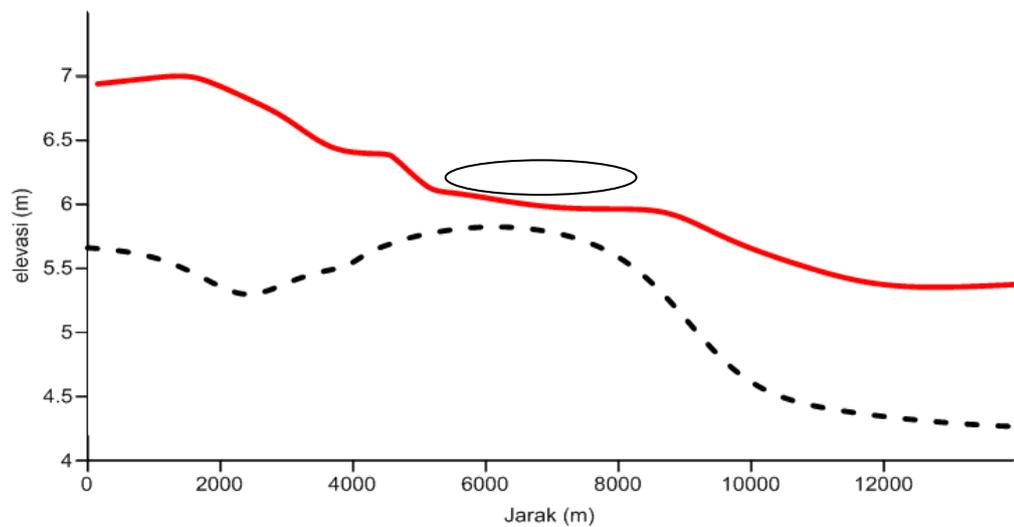


Gambar 4.19 Profil Topografi dan Water Table Arah Barat dan Timur dari Genangan Lumpur berdasarkan 36 Titik Lokasi Penelitian

c. Arah barat laut-tenggara

Gambar 4.20 menunjukkan bahwa profil topografi semakin menurun dari arah barat laut ke tenggara terlihat. Jarak dari titik pertama pengukuran hingga

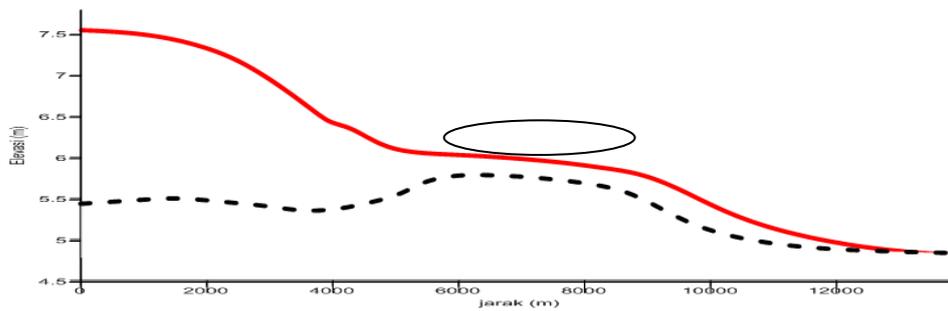
titik terakhir pengukuran mencapai 14 km. tanda lingkaran dengan garis hitam di atas profil menandakan lokasi genangan lumpur, dengan panjang genangan dari arah barat laut ke tenggara lebih dari 2 km. Garis merah tebal pada gambar merupakan profil topografi dari arah barat laut ke arah tenggara. Sedangkan garis hitam tebal putus-putus merupakan profil water table dari arah barat laut ke tenggara.



Gambar 4.20 Profil Topografi dan Water Table Arah Barat laut dan Tenggara dari Genangan Lumpur berdasarkan 36 Titik Lokasi Penelitian

d. Arah barat daya-timur laut

Gambar 4.21 menunjukkan bahwa dari arah barat laut ke tenggara terlihat profil topografi semakin menurun. Jarak dari titik pertama pengukuran hingga titik terakhir pengukuran mencapai 14 km. tanda lingkaran dengan garis hitam di atas profil menandakan lokasi genangan lumpur, dengan panjang genangan dari arah barat daya ke timur laut lebih dari 2 km. Garis merah tebal pada gambar merupakan profil topografi dari arah barat daya ke arah timur laut. Sedangkan garis hitam tebal putus-putus merupakan profil water table dari arah barat daya ke timur laut.



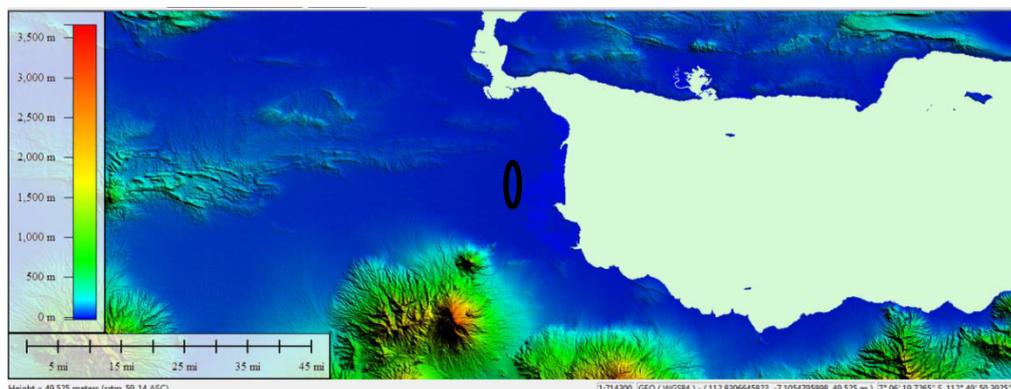
Gambar 4.21 Profil Topografi dan Water Table Barat daya dan Timur Laut dari Genangan Lumpur berdasarkan 36 Titik Lokasi Penelitian

Sama halnya dengan profil topografi, dari keempat gambar profil *water table* di atas diperoleh hasil yang tidak jauh berbeda dengan profil *water table* yang diperoleh dengan menggunakan 12 titik lokasi penelitian untuk tiap pasang arah. Dari keempat profil di atas dapat dilihat perubahan profil *water table* yang tidak mengikuti perubahan profil topografi hingga menuju ke arah laut atau daerah yang tergenang air seperti halnya dalam penelitian Mustain 2000a yang menyatakan bahwa elevasi *water table* akan turun mengikuti bentuk profil topografi. Tanda lingkaran dengan garis hitam di atas profil menandakan lokasi genangan lumpur, dengan panjang genangan tiap arah lebih dari 2 km. Bagian tengah dari profil *water table* cenderung naik dan lebih tinggi hingga jarak tertentu akan turun hingga mengikuti bentuk profil topografi, hal ini diakibatkan oleh adanya pengaruh genangan lumpur yang mengakibatkan perubahan profil *water table* di sekitarnya. Pengaruh yang ditimbulkan oleh genangan tersebut berbeda beda tiap arah tergantung dari perbedaan elevasi topografi tiap pasang arah.

Tujuan yang diharapkan dengan penggunaan 36 titik lokasi penelitian dalam pembuatan profil topografi adalah untuk mengetahui pengaruh pengukuran pada arah tertentu terhadap arah lainnya. Proses pembuatan profil topografi dengan menggunakan *software surfer 12* tergantung pada pengukuran tiap titik lokasi pengukuran. Elevasi kontur tiap titik akan mempengaruhi elevasi kontur antar titik- titik pengukuran. Dari keempat gambar profil topografi di atas diperoleh hasil yang tidak jauh berbeda dengan profil topografi yang diperoleh dengan menggunakan 12 titik lokasi penelitian untuk tiap pasang arah, namun

dalam pengukuran elevasi topografi diperlukan banyak titik-titik lokasi penelitian. Semakin banyak titik yang digunakan dalam pengolahan data maka semakin bagus data profil yang diperoleh. Data yang diperoleh dengan menggunakan 36 titik lokasi penelitian lebih beragam karena tiap-tiap titik saling mempengaruhi dalam membentuk kontur topografi. Dari hasil profil topografi pada gambar 4.18 sampai pada gambar 4.21 diperoleh bahwa elevasi topografi di sekitar lumpur Sidoarjo cenderung lebih tinggi untuk arah barat, selatan, barat daya barat laut dibanding arah timur, utara, tenggara dan timur laut. Secara keseluruhan elevasi topografi tertinggi berada di arah barat daya dari genangan lumpur dan elevasi terendah berada di arah timur dan timur laut dari genangan lumpur, hal ini dikarenakan arah timur dan timur laut dari genangan lumpur merupakan arah menuju ke laut atau daerah pesisir Sidoarjo.

Pada umumnya bentuk profil topografi di suatu daerah tidak merata, hal ini dapat dilihat pada gambar 4.17 dan gambar 4.20 di atas, namun perbedaan elevasi kontur tidak terlalu jauh yang berkisar antara 0.5 m – 1 m. adanya perbedaan bentuk profil tersebut dapat diakibatkan adanya aktivitas manusia seperti pengerukan maupun penimbunan tanah yang dapat mempengaruhi elevasi permukaan tanah. Dari hasil pengukuran dilapangan didapatkan hasil elevasi topografi yang sama dengan menggunakan tools SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) pada *software Global Mapper 15*. Berikut adalah gambar elevasi topografi untuk wilayah Jawa Timur khususnya Kabupaten Sidoarjo dengan menggunakan SRTM pada *Global Mapper 15*.



Gambar 4.22 Peta Elevasi Topografi di Kabupaten Sidoarjo dan sekitarnya (Pengolahan data SRTM dengan Global Mapper 15)

Lingkaran hitam pada gambar di atas menandakan lokasi genangan lumpur Sidoarjo. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa elevasi topografi di daerah sekitar genangan lumpur lapindo tidak berbeda jauh, hal ini dapat dilihat dari skala warna antar daerah sekitar yang sangat dekat bahkan tidak berbeda.

4.5 Pengaruh Kemiringan Topografi terhadap Jarak Infiltrasi Lumpur

Dari hasil pengukuran di lapangan kemudian dilanjutkan dengan pemodelan dengan menggunakan trendline polynomial terhadap perubahan profil *water table* di sekitar genangan akibat adanya genangan lumpur tersebut, maka diperoleh jarak pengaruh yang berbeda-beda. Jarak perubahan profil *water table* dari genangan lumpur lebih besar ke arah yang lebih rendah elevasi topografinya dan sebaliknya lebih kecil ke arah yang elevasi topografinya lebih tinggi. Untuk elevasi topografi tertinggi terletak pada arah barat daya tepatnya di titik sampel BD 6 dengan elevasi mencapai 7.61 meter, genangan lumpur hanya mempengaruhi *water table* sejauh 1.5 km namun untuk arah elevasi terendah yaitu arah timur laut tepatnya TL 6 dengan elevasi topografi 4.87 meter genangan lumpur dapat mempengaruhi *water table* sejauh 1.7 km. Sama halnya dengan arah barat daya-timur laut, dari hasil pengukuran elevasi topografi arah barat laut-tenggara diperoleh elevasi barat laut lebih tinggi dibandingkan elevasi topografi arah tenggara sehingga mempengaruhi jarak pengaruh genangan terhadap perubahan perubahan profil *water table*. Elevasi topografi tertinggi untuk arah barat laut adalah 7 meter dan elevasi terendah untuk arah tenggara adalah 5.48 meter. Dan dari hasil pemodelan didapatkan pengaruh genangan terhadap profil *water table* lebih jauh ke arah tenggara yaitu 1.6 km dan hanya 1.5 km ke arah barat laut.

Dari hasil perbandingan elevasi tertinggi dan terendah tiap arah antara barat daya-timur laut dengan barat laut-tenggara diperoleh bahwa arah barat daya-timur laut memiliki selisih elevasi lebih tinggi dari arah barat laut-tenggara, selisih elevasi barat daya-timur laut adalah 2.74 meter sedangkan selisih elevasi barat laut-tenggara adalah 1.52 meter. Selisih elevasi tersebut menandakan bahwa

kemiringan untuk arah barat daya-timur laut lebih besar dibandingkan dengan arah barat laut-tenggara.

Semakin besar kemiringan suatu tanah maka semakin besar pula pengaruh gaya yang bekerja pada tanah tersebut akibat adanya gaya gravitasi bumi. Berdasarkan hukum kedua Newton dikemukakan bahwa gaya berat (w) (N) sama dengan massa (m) (Kg) dikali dengan percepatan gravitasi bumi (g) (m/s^2).

$$w = m \cdot g$$

perubahan profil *water table* akibat adanya genangan lumpur dipengaruhi oleh gaya yang ada pada genangan tersebut, semakin besar massa lumpur yang ada pada genangan maka semakin besar pula pengaruh yang dapat ditimbulkan terhadap perubahan profil *water table* di sekitar genangan. Gaya gravitasi identik dengan gaya ke bawah sehingga gaya gravitasi sangat berhubungan dengan tingkat kemiringan suatu lahan. Untuk topografi yang elevasinya lebih rendah dari lokasi genangan laju infiltrasi lumpur akan dibantu oleh gaya gravitasi, sedangkan untuk topografi yang elevasinya lebih tinggi laju infiltrasi justru dihambat oleh gaya gravitasi. Sehingga semakin rendah elevasi suatu topografi maka semakin besar pengaruh genangan yang akan ditimbulkan terhadap perubahan *water table*. Hal ini diakibatkan oleh energi potensial yang lebih besar untuk daerah yang memiliki elevasi topografi yang lebih rendah.

Untuk arah utara dan selatan, elevasi tertinggi berada pada titik S 6 yaitu 7 meter dan elevasi terendah berada pada titik U6 yaitu 5.1 m dengan selisi 1.9 meter. Namun jika dibandingkan dengan selisih elevasi barat daya-timur laut yang sebesar 2.74 meter, selisi pengaruh jarak infiltrasi lumpur antara arah utara dengan arah selatan jauh lebih besar yaitu 0.4 km, sedangkan untuk arah barat daya-timur laut yang sebesar 2.74 meter hanya memiliki selisih sebesar 0.2 km. Faktor lain yang dapat mempengaruhi laju infiltrasi adalah adanya pemotong laju infiltrasi yang dapat berupa aliran. Pada arah selatan bagian genangan lumpur terdapat aliran sungai berantas, sehingga dapat mengurangi laju infiltrasi lumpur terhadap *water table*.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran. Dokumentasi Penelitian



Gambar 1. Alat Ukur Meteran 5 Meter



Gambar 2. GPS Garmin etrex 30



Gambar 3. Pembungan Lumpur Sidoarjo



Gambar 4. Keadaan di Sekitar Genangan Lumpur



Gambar 5. Proses Pengukuran Kedalaman Sumur



Gambar 6. Kondisi Sumur di Sekitar Genangan Lumpur

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian tentang pengaruh genangan lumpur terhadap perubahan profil *water table* di wilayah pesisir Sidoarjo dapat disimpulkan:

1. Profil topografi semakin meningkat dari arah utara ke arah selatan genangan lumpur, dari arah tenggara ke arah barat laut genangan lumpur, dan dari arah timur laut ke arah barat daya genangan lumpur
2. Profil *water table* di sekitar genangan lumpur mengalami perubahan, profil *water table* cenderung naik di sekitar genangan dan kembali normal dan sejajar dengan topografi pada jarak tertentu dari genangan lumpur
3. Genangan lumpur mempengaruhi profil *water table* sejauh 1,5 km ke barat daya, 1,3 km ke selatan, 1,6 km ke tenggara, 1,7 km ke timur laut, 1,7 km ke utara dan 1,5 km ke barat laut
4. Kemiringan topografi berpengaruh terhadap jarak infiltrasi lumpur. Pengaruh genangan lumpur lebih besar terhadap wilayah yang memiliki elevasi lebih rendah akibat semakin besarnya energi potensial pada daerah yang memiliki elevasi topografi lebih rendah

5.2 Saran

Disarankan kepada masyarakat yang sumurnya berada dalam radius terdampak agar lebih berhati-hati dalam menggunakan air yang berasal dari sumur tersebut karena dapat membahayakan bagi kesehatan. Diharapkan kepada pemerintah agar tidak hanya memperhatikan dan memberi ganti rugi kepada masyarakat yang terkena dampak semburan lumpur lapindo secara langsung tetapi juga memperhatikan masyarakat yang terdampak secara tidak langsung yaitu tercemarnya sumber air sumur warga.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Arai, K dkk. 2012. Hot mudflow prediction area model and simulation based on Cellular Automata for LUSI mud plume at Sidoarjo in East Java. *Journal of Computational Science* 3 (2012) 150–158
- Arsyad, S. 2000. *Konservasi Tanah dan Air*. Cetakan Ketiga. Institut Pertanian Bogor Press, Bogor.
- Basist, A dan Bell, G.D. 1993. Statistical Relationship between Topography and Precipitation Patterns. *Journal of Climate* volume 7 september 1994.
- Davis, S.N. and Roger J. M. DeWiest, 1966, *Hydrogeology*, John Wiley & Sons Inc., London.
- Elfianati, D dan Delvian. 2010. Laju Infiltrasi Pada Berbagai Tipe Kelerengan Dibawah Tegakan Ekaliptus Di Areal Hphti Pt. Toba Pulp Lestari Sektor Aek Nauli. *J.Hidrolitan*, 1:2:29-34, 2010 ISSN 2086-4825
- Fukushima, J. Mori, M. Hashimoto, Y. Kano, Subsidence associated with the LUSI mud eruption, East Java, investigated by SAR interferometry, *Marine and Petroleum Geology* 26 (November (9) (2009) 1740–1750.
<http://www.bpls.go.id>
<http://www.wikimapia.org>
<http://water.usgs.gov/edu/earthgwaquifer.html>
<http://water.usgs.gov/edu/gwdeplition.html>
- Kisekka I, dkk. 2014. Simulating *water table* response to proposed changes in surface watermanagement in the C-111 agricultural basin of south Florida. *Agricultural Water Management* 146 (2014) 185–200
- LaFleur, RG. , 1984, *Groundwater as a Geomorphic Agent*, Allen & Unwin Inc. New Jersey.
- McGuire, M.H. and L. Iron, 1997, *Hydrogeological Application of Shallow High Resolution Seismic Reflection Profiling at Hazardous Waste Site*, US Department of Energy Low-level Radioactive Waste Management Conference.http://www.inel.gov/resources/research/...nrefrence/Performe_Track/
- Mustain, M., 2000a, *The Application of the Shallow Seismic Reflection Method and AVO Analysis to Identify the Water table Reflection*, PhD Thesis, Dept. of Geology, Leicester University Press, England, UK.
- Mustain, M., 2000b, *Aplikasi Metoda Seismik Bias untuk Mendeteksi Muka Air Tanah Di Wilayah Pantai*, Jurnal Teknologi Kelautan, ISSN- 1410-2919, Vol 4, N0. 2, Juli 2000, 42-45.
- Mustain, M. 2006. Fenomena Gunung Lumpur dan Estimasi Volume Cadangan Lumpur panas Sidoarjo. *In Proceeding of ISNU*, Vol. 2, No. 1, November 2006, Surabaya-Indonesia. P. 1-10.
- Mustain, M dkk. 2010. A Study on the Reservoir Capacity to Control Mud Flood Derived from Mud Volcano:A Phenomenon in Sidoarjo. IPTEK, *The Journal for Technology and Science*, Vol. 21, No. 4, November 2010
- Mustain, M. 2011. Sidoarjo Mud Phenomenom As a Permanent Mud-Vulcano For Preliminary Hypothesis. *Jurnal Bumi Lestari*, Volume II Nomor 2, Agustus 2011. ISSN 1411-9668, p. 286-292.

- Mustain, M. 2013. Model Karakter Fisik Muka Air Tanah di Wialayah Pantai Sidoarjo Tujuh Tahun Paska Semburan Lumpur. *Article of Proceeding SENTA Seminar teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan 2013*.
- Satrio dkk. 2012. Studi Asal-usul Lumpur Lapindo Periode 2007-2012 Menggunakan Isotop Alam. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi Vol. 8 No. 2*, Desember 2012. ISSN 1907-0322.
- Seeboonruang Uma. 2012. Impact of Reservoar on Groundwater Level and Quality in a sakline Area, Nakhon Panom Province, Thailand. *APCBEE Procedia 4 (2012) 16-21*
- Stallman. 1965. Effects of *water table* conditions on *water table* changes near pumping wells.
- Tindall dan kunkell. 1999. *Unsaturated Zone Hydrology for Scientists and Engineers*. University of Guelph. Canada
- Yudo, S. 2009. Kondisi Kualitas Air Sumur Penduduk di Wilayah Genangan Semburan Lumpur Sidoarjo. *Jurnal JAI Vol 5. No. 2 2009*.
- Ward, R.C. and M. Robinson, 1990, *Principle of Hydrology*, 3rd edition, McGraw Hill Book Company, London

BIOGRAFI



Yusman lahir di Pare-pare pada tanggal 13 Maret 1991 dan merupakan anak dari pasangan Muhammad Yusuf, S.Pd dan Rahmawati. Penulis memasuki jenjang pendidikan dasar di SDN 6 Amparita pada tahun 1996 sampai 2002. Kemudian melanjutkan pendidikan ke SLTP Negeri 1 Tellu Limpoe Kab.Sidrap dan lulus pada tahun 2005. Setelah itu, penulis melanjutkan ke SMA Negeri 1 Pangsid dan lulus pada tahun 2008. Pada tahun yang sama, melalui jalur (SNMPTN) penulis diterima sebagai mahasiswa Universitas Negeri Makassar (UNM) di jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dan selesai pada tahun 2012. Setahun setelah lulus, Penulis diterima sebagai penerima beasiswa PraSaintek 2013 dengan utusan dari Universitas Sulawesi Barat untuk melanjutkan Studi S2 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama kuliah di ITS, penulis menyelesaikan Pra Pasca selama 1 tahun di Jurusan Fisika ITS dari tahun 2013-2014, kemudian melanjutkannya di Pascasarjana Teknologi Kelautan dari tahun 2014-2016.