



TESIS - RM185401

**STUDI KERENTANAN WILAYAH PESISIR UTARA  
PULAU JAWA SEBAGAI DAMPAK KENAIKAN  
PERMUKAAN LAUT  
( STUDI KASUS : PESISIR SEMARANG )**

LORYENA AYU KARONDIA  
03311750012003

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Eko Yuli Handoko, S.T, M.T  
Hepi Hapsari Handayani, S.T, M.Sc, Ph.D

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN GEOMATIKA  
DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020





TESIS - RM185401

**STUDI KERENTANAN WILAYAH PESISIR UTARA  
PULAU JAWA SEBAGAI DAMPAK KENAIKAN  
PERMUKAAN LAUT  
( STUDI KASUS : PESISIR SEMARANG )**

LORYENA AYU KARONDIA  
NRP 03311750012003

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Eko Yuli Handoko, S.T, M.T  
Hepi Hapsari Handayani, S.T, M.Sc, Ph.D

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN GEOMATIKA  
DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



TESIS - RM185401

**STUDY OF VULNERABILITY OF NORTH COASTAL  
ISLAND OF JAVA ISLAND AS THE IMPACT OF SEA  
LEVEL RISE (CASE STUDY : SEMARANG'S  
COASTAL)**

LORYENA AYU KARONDIA  
NRP 03311750012003

SUPERVISOR  
Dr. Eko Yuli Handoko, S.T, M.T  
Hepi Hapsari Handayani, S.T, M.Sc, Ph.D

MASTER PROGRAM  
EXPERTISE STUDY OF GEOMATICS  
DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING  
FACULTY OF CIVIL PLANNING AND GEO ENGINEERING  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**LEMBAR PENGESAHAN TESIS**

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
**Magister Teknik (MT)**  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
oleh:  
**LORYENA AYU KARONDIA**  
**NRP: 03311750012003**

Tanggal Ujian : 17 Januari 2020  
Periode Wisuda : Maret 2020

Disetujui oleh:  
**Pembimbing:**

1. Dr. Eko Yuli Handoko, S.T, M.T  
NIP: 197407272000031001



2. Hesti Hapsari Handayani, S.T, M.Sc., Ph.D.  
NIP: 197812122005012001

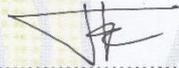


**Penguji:**

3. Ira Mutiara Anjasmara, S.T, M.Phil, Ph.D  
NIP: 197812312002122001



4. Mokhammad Nur Cahyadi, S.T, M.Sc, Ph.D  
NIP: 198112232005011002



5. Dr. Ir. Muhammad Taufik  
NIP: 195509191986031001



Kepala Departemen Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan



  
**Danar Guruh Pratomo, S.T, M.T, Ph.D**  
NIP: 198005072003121001

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**STUDI KERENTANAN WILAYAH PESISIR UTARA PULAU  
JAWA SEBAGAI DAMPAK KENAIKAN PERMUKAAN LAUT  
(STUDI KASUS : PESISIR SEMARANG)**

Nama Mahasiswa : Loryena Ayu Karondia  
NRP : 03311750012003  
Dosen Pembimbing : Dr. Eko Yuli Handoko, S.T, M.T  
Hepi Hapsari Handayani, S.T, M.T., Ph.D.

**ABSTRAK**

Kenaikan muka air laut merupakan salah satu penyebab permasalahan penting yang memberikan dampak negatif terhadap kehidupan sosial ekonomi pesisir juga terhadap ekosistem pesisir. Selain kenaikan permukaan laut, terdapat pula parameter yang membentuk kerentanan pesisir yang meliputi geomorfologi pantai, elevasi daratan di sekitar pesisir, perubahan garis pantai, pasang surut air laut, dan tinggi gelombang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa setiap parameter dalam algoritma *Coastal Vulnerability Index* (CVI) yang berperan dalam membentuk kerentanan pesisir dan memodelkan area tergenang pada 100 tahun kedepan juga menganalisa terkait kerentanan pesisir Semarang terhadap Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) dan kondisi eksisting Kota Semarang. Dari penelitian ini, diperoleh hasil bahwa parameter yang paling berperan dalam membentuk kerentanan pesisir Semarang adalah parameter kenaikan permukaan laut, pasang surut, geomorfologi, tinggi gelombang dan elevasi. Hasil dari perhitungan CVI didapat bobot kerentanan pesisir Semarang berada pada angka 45,644 dengan tingkat sangat rentan. Dari pemodelan area tergenang untuk 100 tahun kedepan diperoleh bahwa luasan area tergenang adalah 11.380 hektar yang meliputi Kecamatan Tugu, Semarang Barat, Semarang Utara, Genuk, Semarang Timur, dan Gayamsari. Zona dari perkiraan area tergenang menurut peta RTRW Kota Semarang adalah zona industri, perdagangan, pemukiman, pertanian lahan kering, bandar udara, konservasi, dan lapangan penumpukan. Sementara perkiraan untuk luasan area terbangun yang tergenang adalah 6087,012 hektar (60,87 km<sup>2</sup>) dengan perkiran nilai kerugian mencapai 284 milyar. Apabila mengaitkan terhadap kondisi eksisting dimana kepadatan lahan terbangun yang terpusat di pesisir Semarang, tentu hal tersebut semakin menambah tingkat keparahan kerentanan pesisir Semarang

Kata kunci : kenaikan muka laut, banjir rob, parameter kerentanan pesisir, pemodelan, RTRW

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**STUDY OF VULNERABILITY OF NORTH COASTAL ISLAND  
OF JAVA ISLAND AS THE IMPACT OF SEA LEVEL RISE  
(CASE STUDY : SEMARANG'S COASTAL)**

Name : Loryena Ayu Karondia  
NRP : 03311750012003  
Supervisor : Dr. Eko Yuli Handoko, S.T, M.T  
Hepi Hapsari Handayani, S.T, M.T., Ph.D.

**ABSTRACT**

Sea level rise is one of the causes of important problems that have a negative impact on coastal socio-economic life as well as on coastal ecosystems. In addition to sea level rise, there are also parameters that trigger coastal vulnerability which include coastal geomorphology, height or elevation of land around the coast, changes in coastline, tides, and wave height. This study aims to analyze each parameter in the Coastal Vulnerability Index (CVI) algorithm that plays the most role in triggering coastal vulnerability and modeling inundated areas over the next 100 years also analyzing the Semarang coastal vulnerability to the Regional Spatial Plan (RTRW) and the existing conditions of the City of Semarang. From this study, the results obtained that the parameters that most trigger the vulnerability of the Semarang coast are the parameters of sea level rise, tides, geomorphology, significant wave height, and elevation. The results of the CVI calculation show that the Semarang coastal vulnerability weight is 45,644 with a very vulnerable level. From the flooded area modeling for the next 100 years it was found that the area of flooded area was 11,380 hectares which included Tugu District, West Semarang, North Semarang, Genuk, East Semarang, and Gayamsari. The zones of the estimated inundated areas according to the Semarang City RTRW map are the industrial, trade, residential, dry land agriculture, airport, conservation, and stockpile zones. While the estimate for the total area of flooded built area is 60,87 km<sup>2</sup> which, if estimated at a loss of 284 billion. If it relates to the existing condition where the density of built land is concentrated on the Semarang coast, of course it will increase the severity of the Semarang coastal vulnerability.

Keywords : sea level rise, tidal flooding, coastal vulnerability index, modelling,  
RTRW

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbilalamin, saya panjatkan syukur atas kehadiran dan rahmat Allah SWT yang atas segala Maha Pengasih dan Maha PenyayangNYA, saya dapat menyelesaikan thesis ini yang berjudul **“Studi Kerentanan Wilayah Pesisir Utara Pulau Jawa sebagai dampak Kenaikan Permukaan Laut”**. Juga kepada Nabi Muhammad SAW. Shalawat serta salam selalu tercurah kepadanya, sebagai rahmat dan cahaya bagi alam semesta. Selain ini saya juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya terhadap banyak pihak yang sangat turut berperan dalam membantu terselesaikannya thesis ini, khususnya kepada :

1. Suamiku, Firman Amanullah dan juga anakku Kahiyang Ayluna Mahakirani yang senantiasa mendampingi dengan doa dan support luar biasa juga kasih sayangnya.
2. Orang tua dan kedua mertuaku yang selalu memberi kasih sayang dan semangat untuk meneruskan studi S2. Juga adik-adikku dan kakakku yang tak kalah baiknya dalam menyemangati.
3. Bapak Danar Guruh, S.T, M.T, Ph.D selaku ketua departemen Teknik Geomatika ITS.
4. Bapak Dr. Eko Yuli Handoko, S.T, M.T selaku dosen pembimbing 1 dan Ibu Hesti Hapsari Handayani, S.T, M.Sc, P.hD selaku dosen pembimbing 2 yang selalu memberi bimbingan bagi saya dalam menyelesaikan thesis ini.
5. Bapak Ir. Haryadi, M.T selaku narasumber selama saya melakukan survey data insitu.
6. Ibu Ira Mutiara Anjasmara, S.T, M.Phil, Ph.D selaku koordinator thesis juga dosen penguji yang sangat membimbing saya.
7. Bapak Dr. Ir. Muhamad Taufik dan Bapak Mokhamad Nurcahayadi, S.T, M.Sc, Ph.D selaku dosen penguji yang sangat banyak memberi saran dalam penelitian ini sejak ditulisnya proposal penelitian hingga terselesaikannya penelitian ini.

8. Seluruh dosen yang ada di Teknik Geomatika ITS yang mengajarkan banyak ilmu sebagai bekal saya selanjutnya.
9. Rekan-rekan seperjuangan S2 yang saling memberi *support*, semangat juga berbagi tawa.
10. Ayu dari Jurusan Oseanografi Universitas Hangtuh, yang dengan baik hati mengajarku banyak hal tentang oseanografi hingga aku dapat menyelesaikan penelitian ini.

Dalam penulisan laporan ini, apabila ditemukan kesalahan dalam teknis penulisan maupun materi yang disampaikan, saya sangat terbuka untuk menerima kritik dan saran yang membangun demi perbaikan penulisan kedepannya. Harapan saya, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, dan dapat menjadi bagian dari kontribusi penulis dalam perkembangan dan kemajuan ilmu di Indonesia.

Surabaya, 20 Januari 2020

Loryena Ayu Karondia

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Kerentanan Pesisir.....	5
2.2 Satelit Altimetri .....	5
2.4 <i>Coastal Vulnerability Index (CVI)</i> .....	9
2.4.1 Geomorfologi .....	11
2.4.2 Elevasi Pesisir.....	11
2.4.3 Perubahan Garis Pantai.....	12
2.4.4 Tinggi Gelombang.....	12
2.4.4.1 Metode Peramalan Gelombang .....	13
2.4.5 Pasang surut.....	15
2.4.6 Kenaikan Muka Air Laut.....	16
2.5 Penurunan Permukaan Tanah .....	17
2.6 Penelitian Terdahulu.....	18
2.6.1 Penurunan Permukaan Tanah .....	18
2.6.2 Kerentanan Pesisir .....	19
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>21</b>
3.1 Lokasi penelitian .....	21

3.2 Peralatan dan Data.....	21
2.6.3 Perangkat Lunak.....	21
3.2.1 Data .....	22
3.4 3.4 Diagram Alir Penelitian .....	23
3.3 Flowchart dan Alur penelitian.....	23
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
4.1. Tinggi Gelombang .....	29
4.1.1 Data Angin .....	30
4.1.2 Perhitungan arah angin dominan .....	31
4.1.3 Perhitungan fetch angin pada pesisir Semarang .....	32
4.1.4 Perhitungan Tinggi Gelombang.....	33
4.2 Pasang Surut.....	37
4.3 Geomorfologi .....	44
4.3.1 Analisa penampang geologi pesisir Semarang.....	45
4.4 Elevasi Pesisir .....	47
4.5 Sea Level Anomaly (SLA).....	48
4.6 Garis Pantai .....	50
4.7 Analisa <i>Coastal Vulnerability Index</i> (CVI).....	54
4.8 Pemodelan genangan.....	56
4.8.1 Analisa Area Tergenang terhadap Tutupan Lahan.....	61
4.9 Analisa Area Tergenang terhadap UU RTRW dan Kondisi Eksisting .....	64
4.9.1 Tindak Mitigasi Bencana pada UU RTRW Kota Semarang.....	65
4.9.2 Analisa Peta RTRW Semarang terhadap Area Tergenang.....	69
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	<b>77</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>79</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>85</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>105</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Dasar Satelit Altimetri.....	21
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian (Sumber : <a href="http://www.tanahair.indonesia.go.id">www.tanahair.indonesia.go.id</a> ) .....	21
Gambar 3. 2 Diagram Pengolahan Pembobotan CVI.....	24
Gambar 3. 3 Diagram Pengolahan Pemodelan Area Tergenang .....	25
Gambar 4. 1 Diagram Olah Tinggi Gelombang .....	29
Gambar 4. 2 Mawar Angin pada Musim Barat (Kiri) dan Musim Peralihan 1 (Kanan) .....	31
Gambar 4. 3 Mawar Angin pada Musim Timur (Kiri) dan Musim Peralihan 2 (Kanan) .....	32
Gambar 4. 4 Fetch pada arah Utara Kota Semarang.....	33
Gambar 4. 5 Grafik Perhitungan Nomogram Peramalan Gelombang (Sumber : Triatmodjo, 1999).....	36
Gambar 4. 6 Stasiun Pasut Semarang (Sumber : Google Earth).....	37
Gambar 4. 7 Diagram Olah Pasang Surut.....	38
Gambar 4. 8 MSL Harian Tahun 2010-2019 .....	43
Gambar 4. 9 Banjir rob pesisir Semarang saat air laut pasang (Sumber : <a href="http://www.detik.com">www.detik.com</a> ).....	44
Gambar 4. 10 Diagram Pengolahan Geomorfologi .....	44
Gambar 4. 11 Penampang Geologi Kota Semarang (Sumber : Peta Geologi Kota Magelang dan Semarang skala 1:100.000 lembar 1408-5 dan 1409-2 Tahun 1975)	45
Gambar 4. 12 Identifikasi Keberadaan Tebing pada Pesisir Semarang.....	46
Gambar 4. 13 Diagram Pengolahan Elevasi .....	47
Gambar 4. 14 Ketinggian Pesisir Semarang (meter) .....	48
Gambar 4. 15 Diagram Pengolahan Kenaikan Muka Laut.....	49
Gambar 4. 16 Grafik Hasil Dekomposisi SLA .....	49
Gambar 4. 17 Fluktuasi Sea Level Anomaly (Stasiun Pasut Semarang).....	50
Gambar 4. 18 Kombinasi Band Red-Green-Blue (4-3-2).....	51
Gambar 4. 19 Kombinasi Band SWIR-NIR-Blue (11 – 8 – 2).....	52
Gambar 4. 20 Penerapan Algoritma NDWI.....	52
Gambar 4. 21 Perubahan Garis Pantai 2017-2019.....	53
Gambar 4. 22 Diagram Pengolahan Pemodelan Area Tergenang .....	56
Gambar 4. 23 Penurunan Muka Tanah pada Tahun 2008-2009 (Sumber: Abidin dkk (2013)) .....	57
Gambar 4. 24 Penurunan Muka Tanah pada Tahun 2009-2010 (Sumber: Abidin dkk (2013)) .....	57

Gambar 4. 25 Penurunan Muka Tanah pada Tahun 2010-2011 (Sumber: Abidin dkk (2013)) .....	58
Gambar 4. 26 Pemodelan DEM Tahun 2118 .....	59
Gambar 4. 27 DEM Tahun 2018 .....	59
Gambar 4. 28 Pemodelan Area Tergenang terhadap DEM 2118 .....	60
Gambar 4. 29 Diagram Pengolahan Klasifikasi Tutupan Lahan .....	61
Gambar 4. 30 Tampilan Citra Dalam Berbagai Kombinasi .....	62
Gambar 4. 31 Citra Sentinel dengan Kombinasi Band 11-8-2 .....	62
Gambar 4. 32 Tutupan Lahan Kota Semarang .....	63
Gambar 4. 33 Overlay Area Tergenang terhadap Tutupan Lahan .....	63
Gambar 4. 34 DAS Banjir Kanal Barat .....	66
Gambar 4. 35 (a) Rumah pompa Bulu Drain & (b) Rumah pompa Kali Tenggang ..	67
Gambar 4. 36 Rumah Pompa Kali Sringin .....	67
Gambar 4. 37 Peta RTRW terhadap Area Tergenang .....	70
Gambar 4. 38 Wilayah Area Tergenang .....	71
Gambar 4. 39 Polder Semarang .....	72
Gambar 4. 40 Ilustrasi Sistem Polder (Sumber : girisatrio08.wordpress.com) .....	72
Gambar 4. 41 Kondisi Eksisting Drainase Kota Semarang (Sumber : www.pupr.go.id) .....	73
Gambar 4. 42 Kolam Retensi Kota Semarang terbangun .....	74
Gambar 4. 43 Genangan Air di Kecamatan Genuk pada Desember 2019 .....	75
Gambar 4. 44 Genangan Air di sekitar Terminal Terboyo pada 8 Januari 2020 .....	76

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Sensor Satelit Sentinel 2A (Sumber : Website Sentinel ESA)	8
Tabel 2. 2 Pembobotan Parameter Algoritma CVI diadopsi dari Pendleton dkk (2005)	10
Tabel 2. 3 Pembobotan Akhir Algoritma CVI diadopsi dari Pandleton dkk (2005)	10
Tabel 4. 1 Klasifikasi Data Angin berdasarkan Musim (Sumber : Yananto (2016))	31
Tabel 4. 2 Perhitungan Fetch Efektif	34
Tabel 4. 3 Perhitungan Kecepatan Angin Signifikan pada Tiap Musim	35
Tabel 4. 4 Perhitungan Parameter Tinggi Gelombang	35
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Tinggi Gelombang dan Bobot CVI	36
Tabel 4. 6 Pasang Surut Tahun 2010	38
Tabel 4. 7 Pasang Surut Tahun 2011	39
Tabel 4. 8 Pasang Surut Tahun 2012	39
Tabel 4. 9 Pasang Surut Tahun 2013	39
Tabel 4. 10 Pasang Surut Tahun 2014	40
Tabel 4. 11 Pasang Surut Tahun 2015	40
Tabel 4. 12 Pasang Surut Tahun 2016	41
Tabel 4. 13 Pasang Surut Tahun 2017	41
Tabel 4. 14 Pasang Surut Tahun 2018	42
Tabel 4. 15 Pasang Surut Tahun 2019	42
Tabel 4. 16 Pembobotan CVI Pasang Surut	43
Tabel 4. 17 Fraksi Dominan pada tiap Kecamatan (Safitri, 2019)	46
Tabel 4. 18 Pembobotan CVI pada Geomorfologi	47
Tabel 4. 19 Pembobotan CVI pada Elevasi	48
Tabel 4. 20 Pembobotan CVI pada Kenaikan Muka Air Laut	50
Tabel 4. 21 Luasan Akresi Erosi	53
Tabel 4. 22 Pembobotan CVI pada semua Parameter	54
Tabel 4. 23 Bobot Akhir CVI	55
Tabel 4. 24 Luasan Area Tergenang	60
Tabel 4. 25 Kombinasi Band	62
Tabel 4. 26 Luasan Area tiap Kelas	64

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kota Semarang merupakan salah satu kota besar di Indonesia dan merupakan ibu kota Provinsi Jawa Tengah yang terletak di pesisir utara Jawa Tengah. Kota Semarang mengalami pertumbuhan yang cukup pesat dalam bidang ekonomi maupun pembangunan berbagai sarana dan prasarana dibandingkan dengan daerah lain yang ada di wilayah Jawa Tengah. Penggunaan lahan pesisir di kawasan kota Semarang banyak mengalami perubahan dimana kawasan pantai yang awalnya merupakan daerah tambak dan persawahan, sebagian telah beralih fungsi menjadi kawasan industri, transportasi dan perumahan.

Dari pengamatan kenaikan muka air laut di Indonesia dengan menggunakan satelit altimetri menunjukkan angka sebesar 1,7 - 8 mm per tahun dalam periode 1993-2011 (Handoko, 2017). Sementara itu dari menurut Wibawa (2007), kenaikan permukaan laut di pesisir Semarang adalah 3,64 mm per tahun. Sementara itu, *The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* dalam laporannya *the Fifth Assessment Report (AR5)* memproyeksikan kenaikan permukaan laut secara global pada tahun 2100 sekitar 44 cm hingga 74 cm (Church, 2013). Prediksi ini menjadi indikator penting terutama bagi negara-negara yang mempunyai wilayah pesisir yang luas dengan tingkat kelandaian yang tinggi termasuk negara kepulauan Indonesia.

Perkembangan Kota Semarang yang pesat menimbulkan permasalahan terjadi, salah satunya adalah bencana banjir dan rob yang dipicu oleh kenaikan permukaan laut yang menyebabkan degradasi lingkungan, terutama pada kawasan dataran rendah. Pada tahun 2011 total luasan banjir rob di Kota Semarang sebesar 1.538,8 ha (Ramadhany dkk, 2012). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata kerugian ekonomi pada penduduk Kecamatan Genuk yang ada pada pesisir Semarang sebesar Rp2.340.563/tahun yang harus ditanggung pada tiap rumah tangga (Karunia, 2017). Tentunya kerugian rupiah seperti ini apabila terus dikalkulasikan dalam jangka panjang menjadi kerugian yang sangat fatal yang harus ditanggung oleh pemerintah juga masyarakat.

Wilayah pesisir Semarang memiliki topografi yang landai dengan kemiringan sekitar 0-2% dan sebagian besar wilayahnya hampir sama tingginya dengan permukaan laut bahkan di beberapa tempat berada dibawahnya (BAPPEDA (2000) dalam Suhelmi (2012)). Permasalahan kerentanan pesisir Kota Semarang ini pun dibentuk oleh beberapa parameter, seperti kenaikan muka air laut, kondisi pasang surut, geomorfologi pantai, elevasi pantai, gelombang, perubahan garis pantai, juga penurunan muka tanah.

Dari hal yang telah dijabarkan tersebut sangatlah penting dalam melakukan penelitian terkait kerentanan pesisir Semarang yang diharapkan hasil dari penelitian ini dapat menjadi acuan dalam langkah tindak mitigasi bencana Semarang terhadap kerentanan pesisirnya.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang akan dikembangkan dalam penelitian ini adalah sebagaimana berikut ini :

1. Bagaimana pemodelan dampak kenaikan muka laut terhadap kerentanan pesisir Semarang dalam jangka waktu hingga 100 tahun kedepan ?
2. Bagaimana menganalisa kerentanan Kota Semarang apabila dikaitkan dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) dan kondisi eksisting Kota Semarang ?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian adalah Kota Semarang
2. Data yang digunakan dibatasi mulai tahun 1993-tahun 2019
3. Parameter yang digunakan untuk memetakan kerentanan pesisir adalah parameter fisik pesisir yang mencakup kondisi geomorfologi pantai, kenaikan muka air laut, kemiringan pantai, gelombang laut, pasang surut air laut, garis pantai, dan penurunan muka tanah pesisir Semarang.

#### **1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk :

1. Parameter apa yang paling berperan dalam membentuk kerentanan pesisir Semarang ?
2. Berapa luasan area tergenang untuk 100 tahun kedepan apabila dikaitkan dengan kerentanan pesisir Semarang ?
3. Bagaimana analisa lahan eksisting terhadap peta RTRW Kota Semarang apabila dikaitkan dengan kondisi kerentanannya ?

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kerentanan Pesisir**

Cuter dkk (2009) menjelaskan bahwa kerentanan adalah kondisi lemah dari suatu tempat, individu, populasi atau sistem terhadap kerugian/kerusakan akibat adanya ancaman / bahaya dan secara langsung mempengaruhi kemampuannya untuk mempersiapkan, merespon dan bangkit (*recovery*), dari ancaman dan bencana.

Menurut Undang-Undang Penanggulangan Bencana nomor 24 tahun 2007 kerentanan adalah suatu kondisi atau karakter geologis, biologis, hidrologis, klimatologis, geografis, sosial budaya, politik, ekonomi, dan teknologi pada suatu wilayah untuk jangka waktu tertentu yang mengurangi kemampuan mencegah, meredam, mencapai kesiapan, dan mengurangi kemampuan untuk menanggapi dampak buruk bahaya tertentu.

Wilayah pesisir merupakan wilayah peralihan atau pertemuan antara darat dan laut, sehingga wilayah ini memiliki karakteristik yang berbeda jika dibandingkan dengan wilayah daratan. Di wilayah ini terjadi interaksi 3 unsur alam, yaitu daratan, lautan, dan atmosfer. Disamping itu kawasan pesisir juga dipengaruhi oleh cuaca, iklim, dan kegiatan-kegiatan manusia di daratan dengan dampak lanjutan adanya peningkatan kepadatan penduduk (Fordham, 2007).

#### **2.2 Satelit Altimetri**

Satelit altimetri merupakan salah satu alat pengamat *sea level global* dan oseanografi lautan di bumi secara global dan periodik (Cipollini dkk. 2017). Konsep dasar dari satelit altimetri adalah mengukur jarak (R) dari satelit ke permukaan laut (Nerem dkk. 2001). Satelit altimetri mengirim sinyal gelombang pendek ke permukaan laut. Sinyal tersebut mengenai permukaan laut yang kemudian dipantulkan kembali ke penerima sinyal di satelit altimetri yang dilengkapi dengan pencatat waktu yang sangat teliti. Sinyal tersebut mengenai permukaan laut yang kemudian dipantulkan kembali ke penerima sinyal di satelit altimetri yang dilengkapi dengan pencatat waktu yang sangat teliti (Chelton dkk. 2001). Sehingga jarak (R) yang didapat satelit merupakan

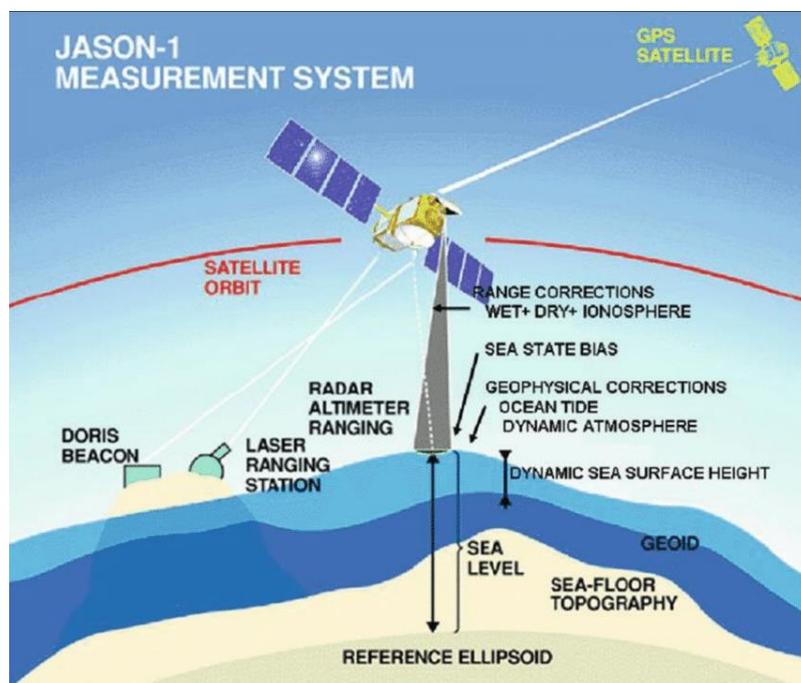
waktu tempuh ( $t$ ) radar bolak-balik atau dapat disimpulkan sebagai dua kali jarak antara posisi satelit dengan permukaan yang dipengaruhi oleh kecepatan transfer sinyal ( $c$ ). Apabila ditulis persamaan sebagai berikut.

$$R_{obs} = c \times \frac{t}{2} \quad (2.1)$$

Dimana:

- $R_{obs}$  : Jarak atau *range* yang diukur  
 $c$  : kecepatan transfer sinyal (m/s)  
 $t$  : waktu tempuh (s)

Prinsip dasar satelit altimetri dapat dijelaskan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Prinsip Dasar Satelit Altimetri (Andersen dan Scharroo, 2011)

Tinggi muka air laut ini mengalami perubahan setiap waktu karena dipengaruhi oleh faktor karakter lingkungan pada waktu pengukuran. Satelit altimetri mengukur dinamika perubahan muka air laut tersebut dengan periode waktu tertentu tergantung pada periode orbit satelit (Braakmann-Folgmann dkk. 2017). Perubahan tinggi muka air laut tidak dapat diprediksi atau bersifat acak sehingga menimbulkan anomali dan mempunyai nilai kesalahan yang besar pada daerah regional. Anomali permukaan laut

pada area regional menunjukkan adanya beberapa keadaan seperti suhu air, salinitas, angin permukaan, tekanan atmosfer, dan arus (NOAA 2018). Pada laut lepas, pemanfaatan satelit altimetri sudah teruji dapat menghasilkan akurasi yang sangat baik. Dengan pemodelan muka laut yang tepat, termasuk pasang surut air lautnya, dan akurasi pengukuran dari refraksi koreksi atmosfer membuktikan bahwa akurasi dari satelit altimetri dalam mengukur laut lepas bisa mencapai akurasi dalam level sentimeter (Anzenhofer & Gruber, 1998). Namun ketika pengamatan satelit altimetri sudah mendekati area pesisir, akurasi dari satelit altimetri ini menurun secara tajam sehingga pemodelan pasang surut air laut di sekitar pesisir mengandung kesalahan dalam tingkat desimeter. Sehingga dari hal tersebut, pengolahan data satelit altimetri untuk wilayah pesisir harus didahului dengan proses koreksi atmosfer untuk menghilangkan keterlambatan waktu yang diakibatkan oleh *wet* dan *dry tropospheric*, *ionospheric*, koreksi pasang surut, dan koreksi *sea state bias*. (Anzenhofer & Gruber, 1998).

### 2.3 Satelit Sentinel 2A



Gambar 2. 2 Satelit Sentinel 2A (Sumber : eos.com/sentinel-2 diakses pada 20 Januari 2020)

Sentinel-2A merupakan satelit observasi bumi milik *European Space Agency* (ESA) yang diluncurkan pada tanggal 23 Juni 2015 di *Guiana Space Centre*, Kourou, French Guyana, menggunakan kendaraan peluncur Vega. Satelit ini merupakan salah satu dari dua satelit pada Program Copernicus yang telah diluncurkan dari total perencanaan

sebanyak 6 satelit. Sebelumnya telah diluncurkan Satelit Sentinel-1A yang merupakan satelit radar pada tanggal 3 April 2014, dan segera menyusul kemudian yaitu Satelit Sentinel-2B pada tahun 2017 mendatang. Orbit satelit sentinel berada pada ketinggian rata-rata 785 km dan keberadaan dua satelit dalam misi memungkinkan survei berulang setiap 5 hari di khatulistiwa dan setiap 2-3 hari di lintang tengah. (Sumber : *Website Sentinel ESA*)

Satelit Sentinel-2A dilengkapi instrumen multispektral dengan 13 saluran spektral dari saluran cahaya tampak, inframerah dekat, serta gelombang pendek inframerah. Satelit yang direncanakan dapat bertahan selama 7 tahun ini, mempunyai resolusi spasial 10 meter (untuk *band-band* cahaya tampak dan inframerah dekat), 20 meter dan 60 meter (untuk *band-band* gelombang inframerah dekat dan gelombang pendek inframerah). (Sumber : *Website Sentinel ESA*)

Tabel 2. 1 Spesifikasi Sensor Satelit Sentinel 2A (Sumber : *Website Sentinel ESA*)

<b>Kanal</b>	<b>Panjang Gelombang (Mikrometer)</b>	<b>Resolusi Spasial (Meter)</b>
Kanal 1 - Pesisir dan Aerosol	0.443	60
Kanal 2 - Biru	0.49	10
Kanal 3 - Hijau	0.56	10
Kanal 4 - Merah	0.665	10
Kanal 5 - <i>Red Edge</i> Vegetasi	0.705	20
Kanal 6 - <i>Red Edge</i> Vegetasi	0.74	20
Kanal 8 - NIR	0.842	10
Kanal 8 A - <i>Red Edge</i> Vegetasi	0.865	20
Kanal 9 - Uap Air	0.945	60
Kanal 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Kanal 11 - SWIR	1.61	20
Kanal 12 - SWIR	2.19	20

## 2.4 Coastal Vulnerability Index (CVI)

Untuk mengukur nilai kerentanan pesisir dibutuhkan beberapa parameter yang berperan memberikan dampak terhadap nilai kerentanan. Gornitz (1991) menyebutkan parameter kerentanan pesisir yang berperan diantaranya:

- Geomorfologi
- Ketinggian / elevasi
- Perubahan garis pantai
- Pasang surut
- Tinggi gelombang
- Kenaikan pasang surut air laut

Dimana rumus dalam menentukan indeks suatu kerentanan pesisir ditunjukkan sebagaimana berikut ini,

$$CVI = \sqrt{\frac{(a*b*c*d*e*f)}{6}} \quad (2.2)$$

Dimana:

a = komponen dari geomorfologi pesisir

b = komponen perubahan garis pantai

c = komponen kemiringan garis pantai

d = komponen laju kenaikan permukaan laut

e = komponen pasang surut

f = komponen gelombang

Setiap variabel dibagi menjadi beberapa peringkat, dari peringkat 1 hingga peringkat 5, dimana peringkat 5 merupakan tingkat kerentanan yang paling rentan. Beberapa parameter dan skoring yang digunakan untuk kerentanan pesisir ditampilkan pada dibawah ini.

Tabel 2. 2 Pembobotan Parameter Algoritma CVI diadopsi dari Pendleton dkk (2005)

No	Parameter	Bobot / Kelas Kerentanan				
		Tidak rentan	Kurang rentan	Sedang	Rentan	Sangat rentan
		1	2	3	4	5
1	Geomorfologi Pantai	Tebing Tinggi	Tebing Sedang	Tebing rendah, daratan alluvial	Estuarine, Laguna	Pantai berpasir, Rawa, Payau, paparan lumpur, delta, mangrove, karang
2	Ketinggian permukaan tanah (elevasi dalam meter)	> 30,0	20,1 – 30,0	10,1 – 20,0	5,1 – 10,0	0,0 – 5,0
3	Jarak pasang surut rata-rata (dalam meter)	> 6,0	4,0 – 6,0	2,0 – 4,0	1,0 – 2,0	< 1,0
4	Tinggi gelombang signifikan (SWH) (dalam meter)	< 0,55	0,55 – 0,85	0,85 – 1,05	1,05 – 1,25	> 1,25
5	Kenaikan muka laut relative (dalam mm/tahun)	< 1,8	1,8 – 2,5	2,5 – 3,0	3,0 – 3,4	> 3,4
6	Perubahan garis pantai relative (meter/tahun)	Akresi	Akresi	Stabil	Erosi	Erosi

Setelah proses pembobotan pada tiap parameter selesai, dilakukan perhitungan algoritma CVI untuk mendapatkan nilai akhir perihal kerentanan pesisir berdasarkan tabel dibawah ini.

Tabel 2. 3 Pembobotan Akhir Algoritma CVI diadopsi dari Pandleton dkk (2005)

Nilai CVI	Kategori Kerentanan
<20,5	Rendah
20,5-25,5	Sedang
25,6-29	Tinggi
>29,0	Sangat Tinggi

#### **2.4.1 Geomorfologi**

Geomorfologi digunakan untuk mengidentifikasi keteraturan antara bentuk permukaan bumi dan proses penyebabnya. Pada umumnya daerah dengan relief rendah (*barrier coast*, estuari, laguna, delta, dll) memiliki tingkat kerentanan yang tinggi, sedangkan daerah dengan substrat yang keras dan relief yang tinggi (*flords*, pantai berbatu, tebing tinggi dll) memiliki tingkat kerentanan yang lebih kecil terhadap erosi (Gornitz dan Kanciruk, 1989).

Kenaikan muka laut akan menyebabkan perubahan bentuk lahan pesisir yang terdiri dari hamparan daerah subtidal, dataran intertidal, rawa payau, *shingle banks*, bukit pasir, tebing, dan dataran rendah pesisir (Pethick dan Crooks, 2000). Tiap jenis bentuk lahan pesisir tersebut memiliki perbedaan geomorfologi yang juga menunjukkan daya tahan terhadap erodibilitas atau kerentanannya terhadap erosi (Thieler, 2000).

#### **2.4.2 Elevasi Pesisir**

Ketinggian daerah pesisir mengacu kepada rata-rata ketinggian pada daerah tertentu yang berada di atas permukaan laut. Kajian mengenai ketinggian daerah pesisir sangat penting untuk dipelajari secara mendalam untuk mengidentifikasi dan mengestimasi luas daratan yang terancam oleh dampak kenaikan paras laut di masa yang akan datang (Kumar dkk, 2010).

Kenaikan paras laut 100 tahun yang akan datang diperkirakan berada pada rentang 0,5 – 1,5 m (National Research Council, 1987). Apabila hal tersebut terjadi, maka daerah dengan ketinggian 0,5 – 1,5 m akan memiliki kemungkinan paling besar untuk mengalami genangan permanen. Daerah pesisir dengan ketinggian 0 - 5 meter dari ketinggian rata-rata paras laut memiliki resiko yang rentan hingga sangat rentan terhadap pengaruh dari pasang surut yang normal atau *storm surge* (seruak badai). Daerah dengan selang setiap 10 meter berikutnya menunjukkan adanya peningkatan kerentanan terhadap badai yang ekstrem (Gornitz dan Kanciruk, 1989).

### 2.4.3 Perubahan Garis Pantai

Garis pantai adalah batas antara daratan dan air laut dengan posisi tidak tetap dan dapat berpindah sesuai dengan pasang surut air laut dan erosi pantai yang terjadi (Triatmojo, 1999). Garis pantai terdiri atas 3 jenis yaitu garis pantai surut terendah, garis pantai pasang tertinggi, dan garis pantai tinggi muka air laut rata-rata. Adapun penggunaan berbagai tipe garis pantai tersebut diatur bahwa pada Peta Rupabumi Indonesia, garis pantai ditetapkan berdasarkan garis kedudukan muka air laut rata-rata. Sedangkan pada Peta Lingkungan Pantai Indonesia dan Peta Lingkungan Laut Nasional, garis pantai ditetapkan berdasarkan kedudukan muka air laut surut terendah (UU No. 4 Tahun 2011 dalam (Suhelmi dkk, 2013)). Garis pantai pesisir merupakan subjek yang selalu digunakan untuk melihat proses perubahan yang terjadi di daerah pesisir, dimana selalu dipengaruhi oleh karakteristik gelombang dan resultan dari sirkulasi yang terjadi dekat dengan pantai, karakteristik sedimen, bentuk pantai, dll (Kumar, 2010).

Laju pengukuran perubahan garis pantai pada umumnya memiliki kesalahan pengukuran (error). Tingkat pengukuran dengan kisaran  $\pm 1$  m dianggap memiliki kondisi stabil. Pantai dengan tingkat pergeseran  $+1$  m/tahun dikatakan terjadi akresi oleh karena itu tingkat kerentanannya relatif lebih rendah, sebaliknya pantai dengan tingkat pergeseran  $-1$  m/tahun dikatakan mengalami erosi (abrasi) dan relatif memiliki tingkat resiko yang lebih tinggi (Gornitz dan Kanciruk, 1989).

### 2.4.4 Tinggi Gelombang

Tinggi gelombang signifikan, periode gelombang dan arah gelombang merupakan beberapa parameter yang digunakan pada model gelombang. Ketiga parameter tersebut dinamakan *parametric wave models*. Tinggi gelombang signifikan sendiri sangat sering digunakan oleh para *coastal engineer* untuk memperkirakan energi yang dihasilkan oleh gelombang (Hearn, 1999).

Energi yang diperoleh berdasarkan rata-rata tinggi gelombang signifikan memiliki peranan dalam sistem transfer sedimen (Pendleton, 2005). Di sisi lain, pengetahuan mengenai kajian kerentanan berdasarkan tinggi gelombang merupakan langkah penting untuk mempersiapkan peringatan akan bahaya dan sistem manajemen penanggulangannya (USGS, 2005).

Energi gelombang meningkat seiring dengan peningkatan tinggi gelombang. Hal ini mengakibatkan hilangnya lahan karena erosi dan genangan di sepanjang pantai, sehingga daerah-daerah pesisir dengan tinggi gelombang yang tinggi dianggap sebagai pantai yang lebih rentan dan daerah dengan tinggi gelombang rendah sebagai pantai yang kurang rentan (Kumar dkk, 2010).

#### 2.4.4.1 Metode Peramalan Gelombang

Gelombang dibangkitkan oleh angin. Angin yang berhembus di atas permukaan air akan memindahkan energinya ke air. Kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga permukaan air yang semula tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil di atas permukaan air. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut menjadi semakin besar, dan apabila angin berhembus terus akhirnya akan terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, semakin besar gelombang yang terbentuk. (Triatmodjo, 1999)

Tinggi dan periode gelombang yang dibangkitkan dipengaruhi oleh angin yang meliputi kecepatan angin  $U$ , lama hembus angin  $D$ , arah angin, dan fetch  $F$ . Fetch adalah daerah dimana kecepatan dan arah angin adalah konstan. Arah angin masih bisa dianggap konstan apabila perubahannya tidak lebih dari  $15^\circ$ . Sedangkan kecepatan angin masih dianggap konstan jika perubahannya tidak lebih dari 5 knot (2,5 m/s) terhadap kecepatan angin rata-rata (Triatmodjo, 1999)

$$F_{eff} = \frac{\sum Xi \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (2.3)$$

Dimana,

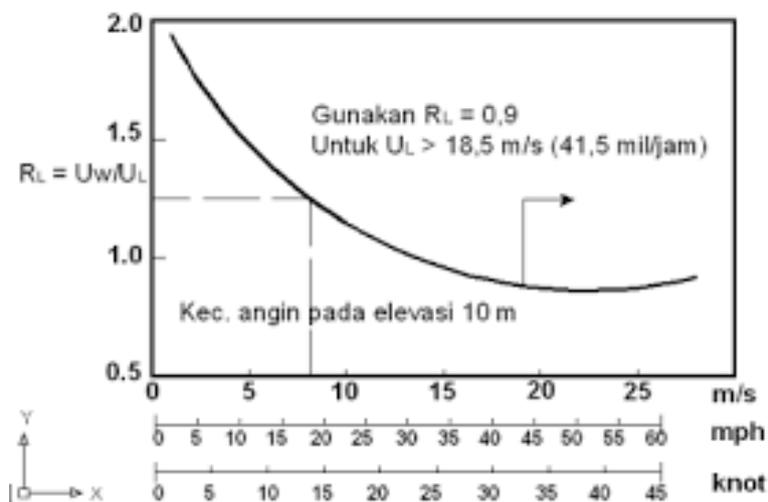
$F_{eff}$  : Fetch efektif

$Xi$  : Panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch

$\alpha$  : Deviasi pada kedua sisi dari arah angin.

Data angin yang digunakan untuk peramalan gelombang adalah data di permukaan laut pada lokasi pembangkitan. Data tersebut dapat diperoleh dari pengukuran langsung di atas permukaan laut atau daratan. Dalam penelitian ini, data angin didapat

dari pengunduhan melalui *database* Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG). Dimana data angin mencakup data kecepatan angin dan arah angin pada setiap harinya.



Gambar 2. 3 Grafik hubungan antara kecepatan angin di laut dan darat (Sumber : Triatmodjo (1999))

Biasanya pengukuran angin dilakukan di daratan, padahal di dalam rumus pembangkitan gelombang data angin yang digunakan adalah yang ada di atas permukaan laut. Oleh karena itu diperlukan transformasi dari data angin di atas daratan yang terdekat dengan lokasi studi ke data angin di atas permukaan laut. Grafik diatas menunjukkan hubungan antara kecepatan angin di laut dan di darat, dimana axis X menunjukkan kecepatan angin di darat, sementara axis Y menunjukkan kecepatan angin di laut.

$$UW = RL \times UL \tag{2.4}$$

$$UA = 0,71 \times UW^{1,23} \tag{2.5}$$

Dimana :

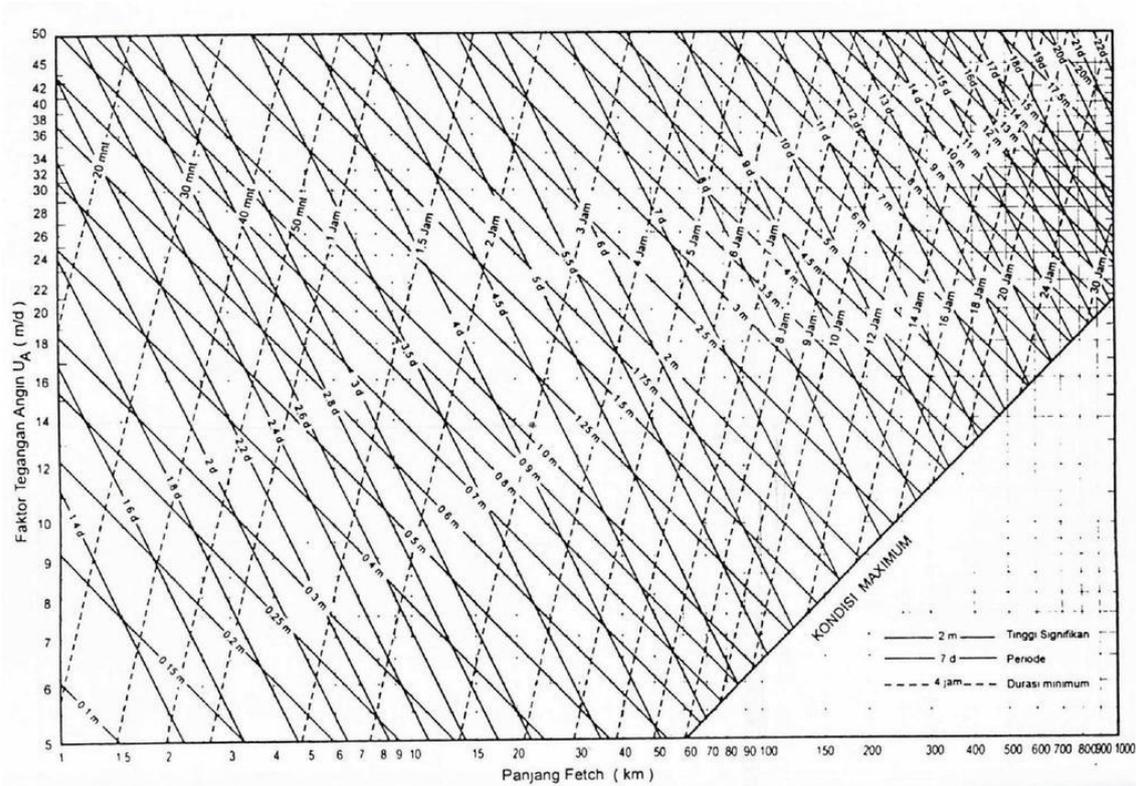
UW : Kecepatan angin di laut.

RL : Koefisien hubungan antara kecepatan angin di laut dan di darat.

UA : Tegangan angin

Setelah didapat nilai tegangan angin, lalu perhitungan tinggi gelombang dan periode gelombang dilakukan dengan grafik yang ada pada gambar 2.3 Dimana axis X

menunjukkan nilai fetch efektif sementara axis Y menunjukkan nilai tegangan angin (UA)



Gambar 2. 4 Grafik Nomogram Peramalan Gelombang ( Sumber : Triatmodjo (1999))

### 2.4.5 Pasang surut

Menurut Nontji (2002), pasut adalah gerakan naik turunnya muka laut secara berirama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari. Arus pasut ini berperan terhadap proses-proses di pantai seperti penyebaran sedimen dan abrasi pantai. Pasang naik akan menyebarkan sedimen ke dekat pantai, sedangkan bila surut akan menyebabkan majunya sedimentasi ke arah laut lepas.

Dalam konteks oseanografi, pasang surut adalah perubahan gerak relatif laut akibat gaya gravitasi benda-benda angkasa, khususnya bulan dan matahari. Pasang suurt ini erat hubungannya dengan siklus perjalanan matahari dan bulan dalam keadaan relatifnya terhadap bumi, dimana keadaan pasang surut di suatu tempat dilukiskan oleh konstanta harmonik (NOAA, 2003). Sehingga yang dimaksud dengan analisis harmonik pasang

surut adalah suatu cara untuk mengetahui sifat dan karakter pasang surut di suatu tempat dari hasil pengamatan pasang surut dalam kurun waktu tertentu.

Jenis –jenis pasang surut diantaranya adalah :

- Semi diurnal dimana dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan bentuk gelombang simetris.
- Campuran condong semi diurnal dimana dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut. Bentuk gelombang pasang pertama tidak sama dengan gelombang pasang kedua (asimetris) dengan bentuk condong semi diurnal.
- Campuran condong diurnal ( $1.5 \leq F \leq 3.0$ ) dimana dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut. Bentuk gelombang pasang pertama tidak sama dengan gelombang pasang kedua (asimetris) dengan bentuk condong diurnal.
- Diurnal dengan pola dalam sehari terjadi sekali pasang dan sekali surut

#### **2.4.6 Kenaikan Muka Air Laut**

Muka laut rata-rata (MLR) adalah permukaan laut rata-rata yang dihitung dalam periode waktu tertentu. Nilai MLR yang dianggap terbaik yaitu nilai pengamatan yang dilakukan selama 18,6 tahun. Karena muka laut rata-rata dianggap mendekati bentuk dari model geoid, sehingga nilai dari MLR dapat digunakan sebagai sebuah acuan referensi tinggi. Kedudukan serta nilai muka laut rata-rata setiap saat selalu berubah-ubah. Perubahan naik turun inilah yang disebut dengan perubahan muka air laut (*sea level rise*). (Affandi, 2011)

*Sea level rise* (SLR) adalah peningkatan volume air laut yang disebabkan oleh faktor global juga faktor lokal seperti fluktuasi curah hujan yang tinggi serta meningkatnya suhu air laut. Efek dari kenaikan permukaan laut terhadap pesisir tidaklah seragam secara spasial dikarenakan perbedaan respon dari kondisi oseanografi regional dalam menghadapi pemanasan global dan kenaikan serta penurunan muka tanah (Klein & Nicholls, 1998)

Tinggi muka air laut ini mengalami perubahan setiap waktu karena dipengaruhi oleh faktor karakter lingkungan pada waktu pengukuran. Satelit altimetri mengukur dinamika perubahan muka air laut tersebut dengan periode waktu tertentu tergantung pada periode orbit satelit (Braakmann-Folgmann dkk. 2017). Perubahan tinggi muka air

laut tidak dapat diprediksi atau bersifat acak sehingga menimbulkan anomali dan mempunyai nilai kesalahan yang besar pada daerah regional.

Anomali permukaan laut pada area regional menunjukkan adanya beberapa keadaan seperti suhu air, salinitas, angin permukaan, tekanan atmosfer, dan arus (NOAA 2018). Anomali muka air laut atau *sea level anomaly* (SLA) merupakan perbedaan antara *sea surface height* (SSH) dengan *mean sea surface height* atau tinggi muka air laut rata-rata (Braakmann-Folgmann dkk. 2017). SLA dan SSH menggunakan satuan meter. SLA disebut juga dengan *sea surface height anomaly* (SSHA) (Nerem dkk. 2001). Penentuan SLA dari pengukuran altimeter yang menghasilkan besaran jarak membutuhkan koreksi dari semua instrumen. Koreksi jarak yang dihasilkan oleh radar berkaitan dengan pengaruh lingkungan, dan koreksi geofisika (Handoko, Fernandes, dan Lázaro 2017). Apabila ditulis dalam persamaan sebagai berikut.

$$SLA = H - R_{obs} - MSS - \Delta R_{Geo_{corr}} \quad (2.6)$$

Dimana :

SLA	: <i>Sea Level Anomaly</i> (m)
H	: <i>height</i> (m)
R <sub>Obs</sub>	: <i>observed range</i> (m)
$\Delta R_{Geo_{corr}}$	: koreksi <i>range</i> dan geofisika (m)
MSS	: <i>mean sea surface</i> (m)

## 2.5 Penurunan Permukaan Tanah

Ditinjau dari sudut pandang geodesi, posisi turunnya permukaan tanah ditunjukkan melalui perubahan posisi vertikal muka tanah dihitung dari bidang referensi yang telah ditetapkan sebelumnya. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang dapat membantu mengukur besaran penurunan muka tanah untuk liputan suatu wilayah yang relatif luas dalam waktu yang cepat sehingga skala prioritas pengelolaan kawasan dapat ditentukan secara efektif dan efisien (Luoto dkk, 2002).

Turunnya permukaan tanah yang terakumulasi selama rentang waktu tertentu akan dapat mencapai besaran penurunan hingga beberapa meter lebih sehingga dampaknya dapat merusak infrastruktur perkotaan yang kemudian dapat saja menjadi gangguan

terhadap stabilitas perekonomian dan kehidupan sosial di wilayah tersebut. (Galloway dkk, 1999)

## **2.6 Penelitian Terdahulu**

### **2.6.1 Penurunan Permukaan Tanah**

Islam (2017) dalam penelitiannya yang berjudul Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Semarang menggunakan Citra Sentinel-1 berdasarkan Metode DinSAR pada Perangkat Lunak Snap, diperoleh nilai penurunan tanah rata-rata Kota Semarang sebesar  $4,37 \pm 4$  cm/tahun. Wilayah yang mengalami penurunan rata-rata tertinggi berada di Kecamatan Genuk, Pedurungan dan Semarang Utara dengan nilai masing-masing sebesar  $10,35 \pm 1,02$  cm/tahun,  $8,31 \pm 2,36$  cm/tahun dan  $8,23 \pm 1,58$  cm/tahun. Untuk mengetahui ketelitian hasil DinSAR, dilakukan validasi yang diukur menggunakan GPS yang kemudian diperoleh standar deviasi sebesar 1,90 cm. Dari hasil penelitian ini juga diperoleh adanya korelasi antara penurunan muka tanah dengan perluasan area banjir rob dan susunan stratigrafinya.

Dalam penelitian Abidin, Andreas, Gumilar (2011) yang melakukan pengukuran penurunan permukaan tanah menggunakan metode *Levelling, Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR), Microgravity and Global Positioning System (GPS)*. Didapat hasil bahwa penurunan muka tanah Kota Semarang berkisar antara 0-10,70 cm/tahun pada tahun 2010-2011. Hal tersebut terjadi dikarenakan struktur geologi pembentuk Kota Semarang yang didominasi oleh endapan aluvial yang masih muda sehingga rawan terjadi penurunan muka tanah terlebih dikarenakan Parameter penurunan permukaan tanah menjadi sangat penting untuk digabungkan dengan data kenaikan permukaan laut sehingga akan didapat hasil daerah terdampak kenaikan permukaan laut secara akurat.

Dengan membandingkan kedua penelitian diatas, didapat hasil yang tidak jauh berbeda terkait nilai penurunan permukaan tanah yang terjadi di Kota Semarang. Sehingga kedua penelitian tersebut dapat dijadikan rujukan terkait nilai penurunan permukaan tanah yang akan digunakan dalam memodifikasi nilai elevasi yang terkandung dalam nilai *Digital Elevation Model (DEM)*

### **2.6.2 Kerentanan Pesisir**

Nugroho (2013) dalam penelitiannya yang berjudul prediksi luas genangan pasang surut berdasarkan analisis data spasial di Kota Semarang, melakukan pemodelan genangan area yang rentan untuk terdampak kenaikan permukaan laut. Dalam penelitian tersebut, tidak dilakukan perhitungan algoritma CVI dalam memperhitungkan skoring kerentannya. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah penurunan muka tanah dan perubahan rata-rata kenaikan permukaan laut.

Ramadhany (2012) dalam penelitiannya yang berjudul daerah rawan genangan rob di Wilayah Semarang memberikan informasi tentang kondisi wilayah yang rawan terhadap genangan banjir pasang (rob) dan seberapa jauh luasan banjir pasang (rob) yang terjadi di daratan Semarang. Parameter yang digunakan di dalam penelitian ini terdiri dari elevasi tanah, penurunan tanah, jarak daratan dari pantai dan sungai, dan pasang surut. Terdapat lima tingkat kelas kerawanan wilayah Semarang, yang dimulai dari kelas sangat rawan 625,45 hektar, rawan 1418,92 hektar, agak rawan 4807,52 hektar, aman 1325,57 hektar, dan sangat aman 1157,54 hektar dengan total luas area sebesar 9334,46 hektar. Luas genangan rob di wilayah Semarang tahun 2011 sebesar 1538,80 hektar.

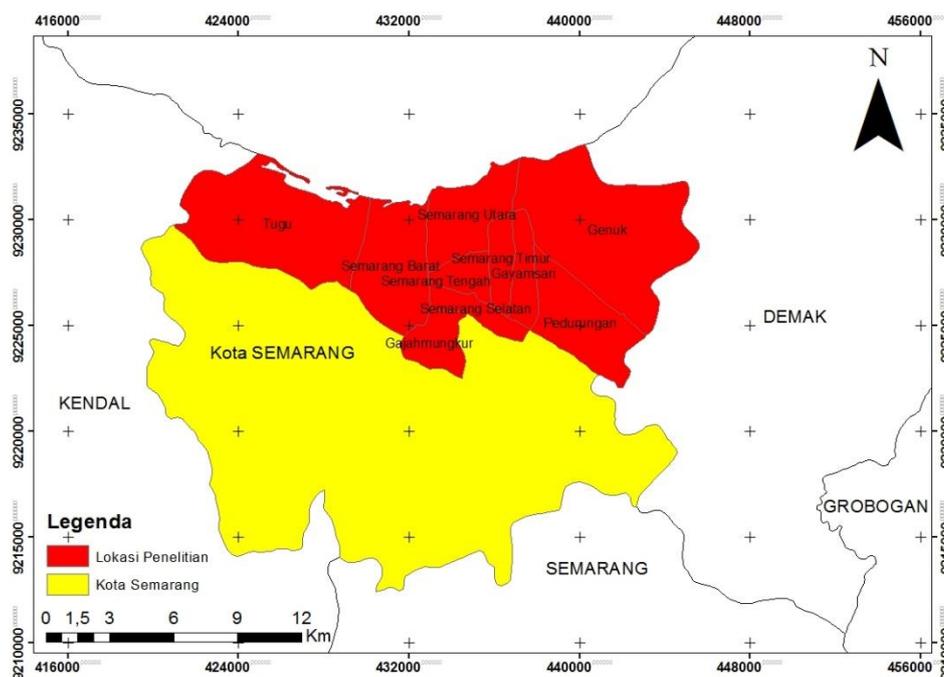
Safitri (2019) dalam penelitiannya yang berjudul Analisis Perubahan Garis Pantai akibat Erosi di Pesisir Kota Semarang, menggunakan algoritma CVI dalam menghitung kerentanan pesisir Semarang tanpa mengindahkan faktor penurunan muka tanah dan didapat hasil luasan erosi terbesar di pesisir Kota Semarang terjadi pada tahun 2008 – 2013 dengan luasan 337,99 hektar, sedangkan akresi terbesar terjadi pada tahun 2013-2018 dengan luasan 195,34 hektar. Analisis kerentanan pantai dengan indeks kerentanan pantai atau CVI di pesisir Kota Semarang termasuk dalam kategori kerentanan sangat tinggi, dengan nilai setiap bobot kerentanan pada Kecamatan Tugu sebesar 32,27, Kecamatan Semarang Barat dan Semarang Utara sebesar 14,43, serta Kecamatan Genuk sebesar 28,87. Variabel yang paling dominan dan berperan dalam menentukan nilai kerentanan pantai pada penelitian ini yaitu geomorfologi, kemiringan pantai, dan erosi/akresi.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Lokasi penelitian

Lokasi di dalam penelitian ini adalah Kota Semarang dengan konsentrasi penelitian ada pada daerah yang sebelumnya sudah sering terlanda banjir rob yaitu Kecamatan Semarang Utara, Kecamatan Tugu, Kecamatan Genuk, Kecamatan Semarang Barat, Kecamatan Gayamsari, Kecamatan Semarang Tengah, Kecamatan Pedurungan, Kecamatan Semarang Selatan, Kecamatan Pedurungan.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian (Sumber : [www.tanahair.indonesia.go.id](http://www.tanahair.indonesia.go.id))

### 3.2 Peralatan dan Data

#### 2.6.3 Perangkat Lunak

*Software* pengolahan yang digunakan di dalam penelitian ini adalah *software* ArcGIS 10.1 dan Arc Scene melalui *license* dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). *Software* ini digunakan dalam proses pengolahan citra satelit sentinel terkait proses pemetaan tutupan lahan, digitasi garis pantai, proses pengolahan DEM, Peta Geologi, Peta RTRW, dan *layouting* peta. Sementara untuk proses pengolahan data satelit altimetri, pengolahan data pasut digunakan *software* Matlab melalui *license* dari ITS. Untuk

*software Microsoft Office* digunakan untuk pembuatan laporan, pengolahan data tinggi gelombang juga data pasut.

### 3.2.1 Data

Beberapa data yang diolah dalam penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

- Data Hidro-oseanografi termasuk :
  - a. Data angin dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) dari tahun 2010-2019
  - b. Data pasang surut dari Badan Informasi Geospasial (BIG) tahun 2010-2019
- Peta administrasi Kota Semarang skala 1:25.000.
- Peta Geologi Kota Magelang dan Semarang skala 1:100.000 lembar 1408-5 dan 1409-2 Tahun 1975 disusun oleh Robert E. Thaden dkk.
- Data penurunan permukaan tanah yang didapat dari penelitian terdahulu, terdiri dari :
  - a. Abidin dkk (2011) yang berjudul *Land subsidence in coastal city of Semarang (Indonesia): characteristics, impacts and causes*. Dari penelitian tersebut, Abidin dkk (2011) melakukan penelitian menggunakan metode *Levelling, Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR), Microgravity* dan *Global Positioning System (GPS)*. Dan didapat hasil penurunan permukaan tanah berkisar 0-19cm/tahun pada tahun 1999-2011.
  - b. Islam dkk (2017) Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Semarang menggunakan Citra Sentinel-1 berdasarkan Metode Dinsar pada Perangkat Lunak Snap. Dari penelitian tersebut diperoleh nilai penurunan tanah rata-rata Kota Semarang sebesar  $4,37 \pm 4$  cm/tahun. Wilayah yang mengalami penurunan rata-rata tertinggi berada di Kecamatan Genuk, Pedurungan dan Semarang Utara dengan nilai masing-masing sebesar  $10,35 \pm 1,02$  cm/tahun,  $8,31 \pm 2,36$  cm/tahun dan  $8,23 \pm 1,58$  cm/tahun.

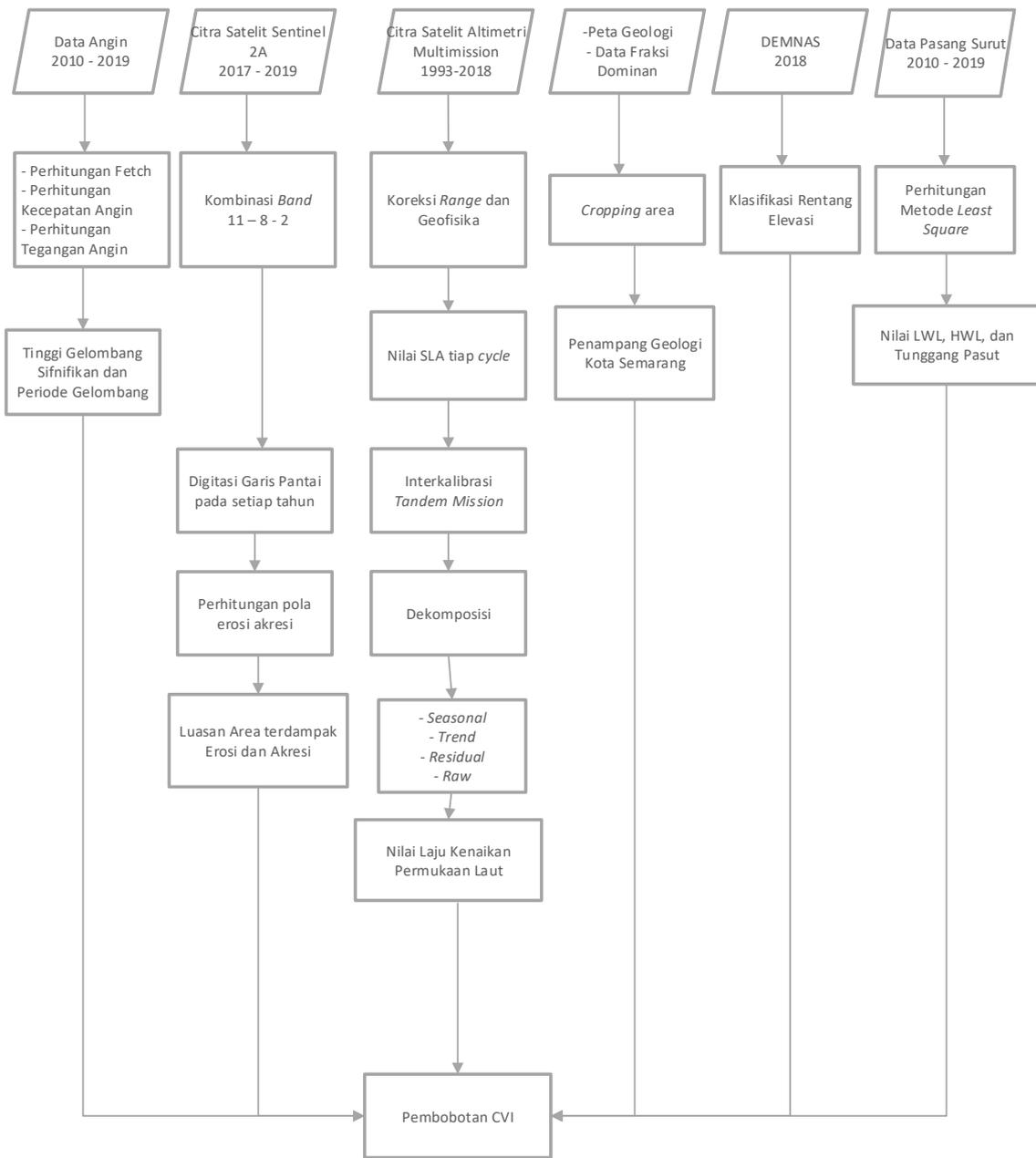
Dari kedua penelitian diatas terdapat perubahan nilai penurunan permukaan tanah yang linier, sehingga hasil nilai penurunan permukaan tanah dari kedua penelitian tersebut dapat digunakan dalam acuan di penelitian ini. Di dalam penelitian ini digunakan nilai penurunan muka tanah sebesar 9cm/tahun dengan

mengambil nilai tengah penurunan muka tanah yang telah dijabarkan dari kedua penelitian sebelumnya.

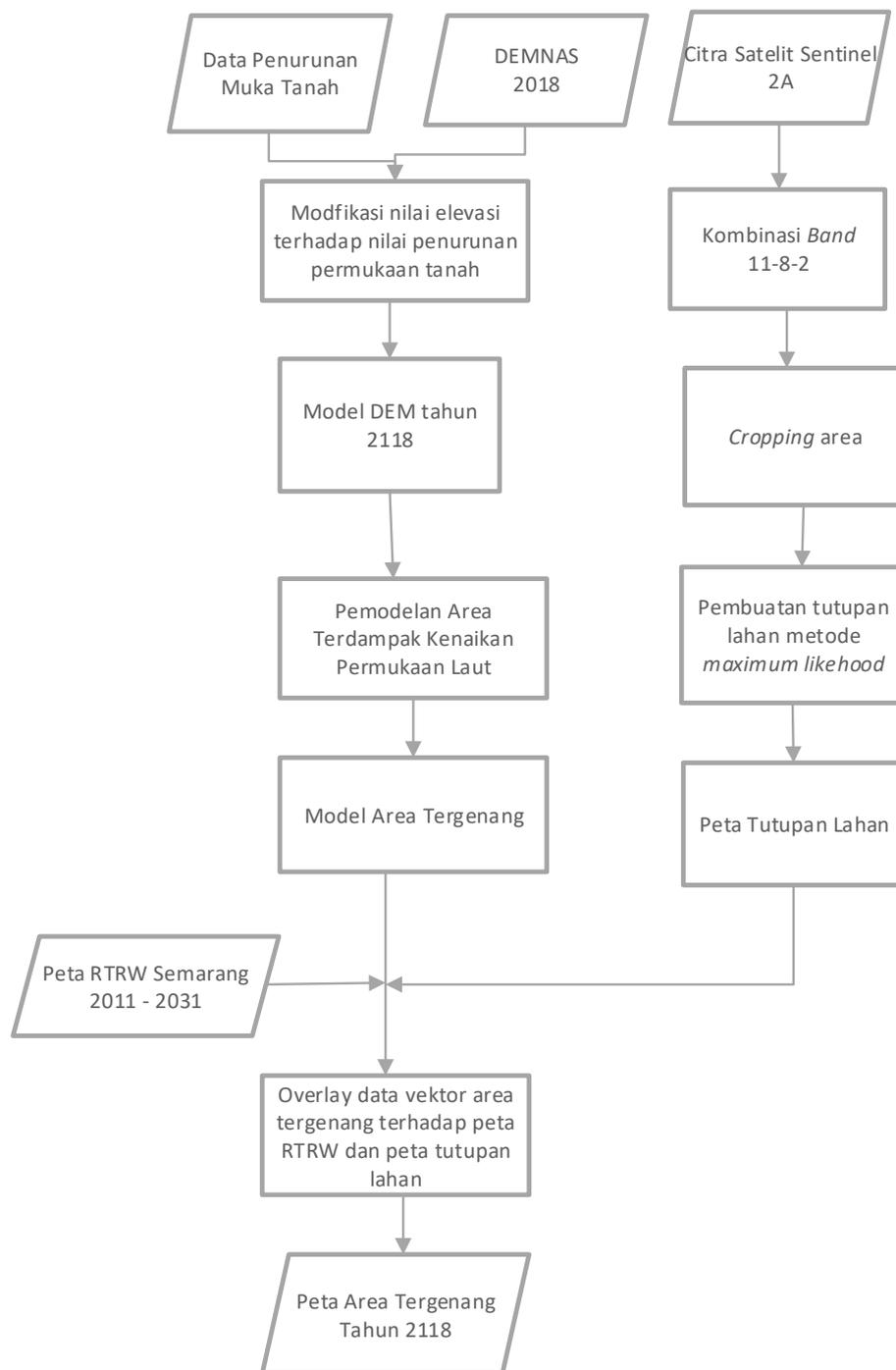
- Citra Satelit Altimetri *Multi-mission* 1993-2018 untuk diolah menjadi data kenaikan muka air laut per tahunnya.
- Citra Satelit Sentinel 2A tahun 2017-2019
- Peta RTRW Kota Semarang tahun 2011-2031 skala 1:25.000
- Undang-undang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Semarang Tahun 2011-2031

### **3.3 Flowchart dan Alur penelitian**

Alur diagram penelitian ini ditunjukkan sebagaimana gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Diagram Pengolahan Pembobotan CVI



Gambar 3. 3 Diagram Pengolahan Pemodelan Area Tergenang

Penelitian ini diawali dengan studi literatur dan studi literatur dari penelitian terdahulu, berita linimasa untuk menarik hipotesa sementara dan menentukan parameter apa saja yang akan digunakan dalam memodelkan area terdampak kerentanan pesisir dalam menganalisa kerentanan pesisir. Dimana dalam menganalisa kerentanan

pesisir Kota Semarang digunakan algoritma CVI yang memperhitungkan parameter fisik dan geomorfologi sebagaimana telah dijabarkan pada *flowchart*. Dari algoritma CVI tersebut akan terlihat parameter apa saja yang paling berperan dalam pembentukan kerentanan pesisir Kota Semarang. Setelah dilakukan proses perhitungan CVI lalu dilakukan pemodelan area genangan untuk 100 tahun kedepan dan menganalisanya terhadap keadaan eksisting dan RTRW Kota Semarang. Dimana, tahap pengolahan data dan analisa kerentanan pesisir dijabarkan sebagaimana berikut ini:

1. Geomorfologi pesisir

Untuk mendapatkan geomorfologi pesisir terlebih dahulu dilakukan pengolahan citra satelit resolusi tinggi untuk mengklasifikasi tutupan lahan yang ada pada pesisir. Lalu hasil dari klasifikasi tersebut digabungkan dengan klasifikasi data DEM untuk kemudian dilakukan skoring geomorfologi berdasarkan yang telah diatur pada tabel CVI.

2. Kemiringan pantai

Pemetaan kemiringan pantai dilakukan dengan data DEM yang telah dipotong sesuai area penelitian. Kemudian dari data DEM tersebut dikonversi menjadi titik-titik elevasi dan kontur dengan interval tertentu.

3. Pasang dan Surut

Data pasang surut didapat dari BIG, yang kemudian data tersebut diolah untuk mengetahui jarak antara pasang dan surut.

4. Kenaikan Muka Laut

Perhitungan kenaikan muka laut menggunakan data satelit altimetri pada tahun 1993-2019 untuk mendapatkan nilai kenaikan permukaan laut pada tiap tahunnya.

5. Gelombang

Perhitungan tinggi gelombang signifikan dimulai dengan pengunduhan data angin melalui website Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG), lalu dari data tersebut akan diolah untuk menjadi data tinggi gelombang signifikan.

Setelah dilakukan proses perhitungan pada tiap parameter algoritma CVI, dilakukan pemodelan area tergenang untuk 100 tahun kedepan. Dalam proses ini digunakan data DEM. Kemudian DEM tersebut digabungkan dengan data penurunan muka tanah untuk mengekstraksi nilai elevasi yang ada pada DEM untuk kemudian dikurangi nilai

penurunan permukaan tanah. Kemudian data elevasi tersebut digabungkan terhadap data kenaikan permukaan laut mendapatkan pemodelan area tergenang.

Kemudian, dilakukan analisa pada pemodelan area tergenang terhadap lahan eksisting Kota Semarang. Sehingga dapat dianalisa terkait kondisi eksisting dan kesesuaian rencana pembangunan Kota Semarang apabila dikaitkan dengan kondisi fisik Kota Semarang.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

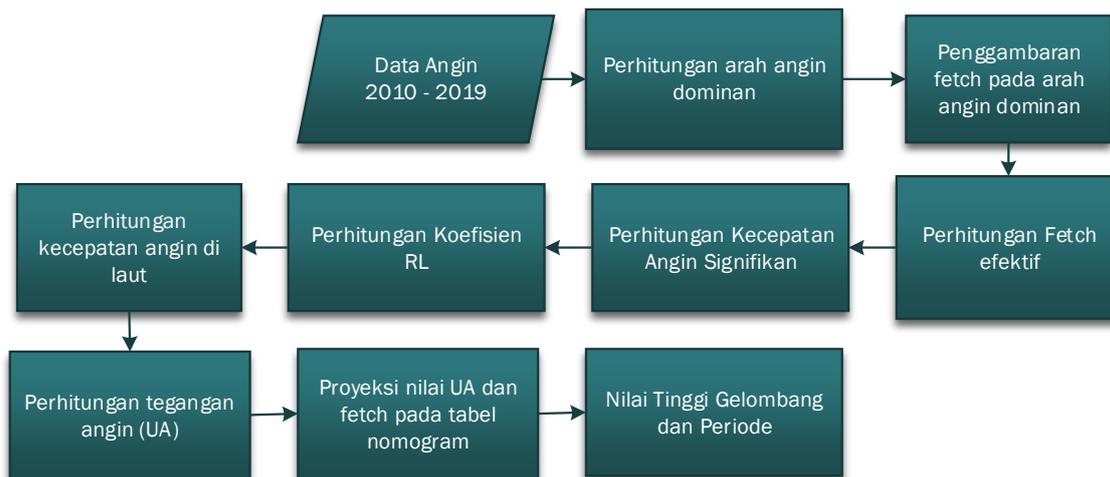
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Tinggi Gelombang

Menurut (Baharuddin dkk 2009), tiga faktor yang menentukan karakteristik gelombang yang dibangkitkan oleh angin yaitu :

- a. Lama angin bertiup atau durasi angin
- b. Kecepatan angin dan
- c. Fetch (jarak yang ditempuh oleh angin dari arah pembangkitan gelombang atau daerah pembangkitan gelombang)

Dalam penelitian ini untuk mendapatkan tinggi gelombang, terlebih dahulu dilakukan pengunduhan data angin dari tahun 2010-2019 melalui situs Badan Meteorologi dan Geofisika. Dari data angin tersebut kemudian dilakukan pengolahan tinggi gelombang sesuai gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Diagram Olah Tinggi Gelombang

Metode perhitungan tinggi gelombang dalam penelitian ini menggunakan data historis kecepatan dan arah angin untuk mendapat nilai tinggi dan periode gelombang pada waktu lampau untuk kemudian secara statistik dianalisis dan dijadikan sebagai dasar dalam meramalkan gelombang. Walaupun istilah yang digunakan itu tidak tepat karena

yang dilakukan bukan meramal di waktu yang akan datang secara spesifik melainkan menghitung pembangkitan gelombang historis (Triatmodjo 1999).

Prinsip dasar dari perhitungan tinggi gelombang melalui data angin ini adalah asumsi bahwa pembangkitan dan peluruhan gelombang laut diakibatkan karena adanya interaksi antara laut dan atmosfer berimplikasi secara langsung terhadap dinamika gelombang. (Triatmodjo 1999).

#### **4.1.1 Data Angin**

Secara umum, data angin yang digunakan adalah data angin permukaan (*surface wind*) yang berada pada suatu lapisan di atmosfer yang disebut sebagai *constant shear layer*. Lapisan ini berada pada rentang ketinggian hingga 10 meter di atas permukaan laut. Setelah dilakukan pengunduhan data angin, kemudian data tersebut dipisahkan berdasarkan 4 musim (Sumber : Yananto (2016)), yaitu:

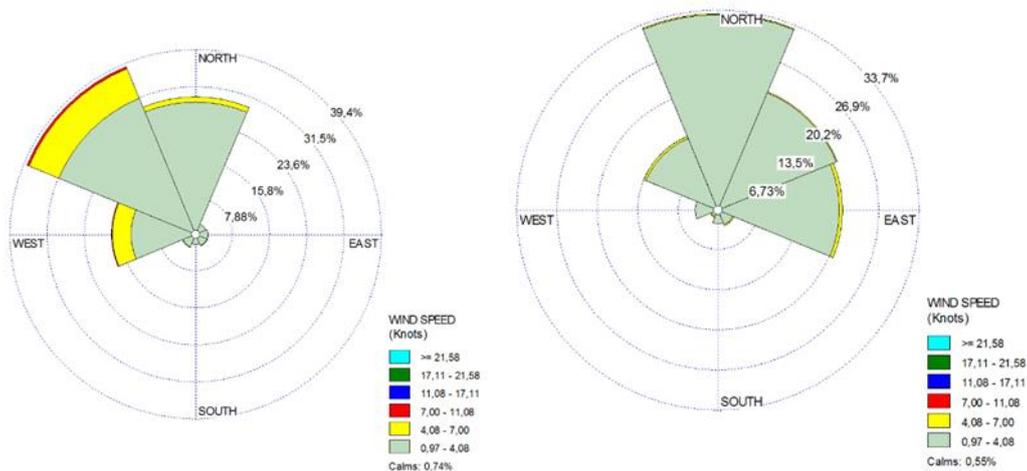
1. Musim Barat : Pada musim barat pusat tekanan udara tinggi meningkat diatas Benua Asia dan pusat tekanan udara rendah terjadi diatas Benua Australia sehingga angin berhembus dari barat laut menuju tenggara. Di Pulau Jawa angin ini dikenal sebagai angin muson barat laut. Musim barat umumnya membawa curah hujan yang tinggi di Pulau Jawa. Musim Barat terjadi pada bulan Desember sampai bulan April.
2. Musim Timur : Pada musim timur pusat tekanan udara rendah yang terjadi diatas Benua Asia dan pusat tekanan udara tinggi diatas Benua Australia menyebabkan angin berhembus dari Tenggara menuju Barat Laut. Di Pulau Jawa bertiup angin muson tenggara. Selama musim timur, Pulau Jawa biasanya mengalami kekeringan. Musim Timur terjadi pada bulan April sampai bulan Oktober.
3. Musim Peralihan 1 : Musim peralihan dikenal dengan musim pancaroba. Periode dari musim peralihan 1 adalah Maret-Mei dan dikenal sebagai peralihan dari musim barat menuju musim timur.
4. Musim Peralihan 2 : Musim peralihan dikenal dengan musim pancaroba. Periode dari musim peralihan 2 adalah September - November dan dikenal sebagai peralihan dari musim timur menuju musim barat.

Tabel 4. 1 Klasifikasi Data Angin berdasarkan Musim (Sumber : Yananto (2016))

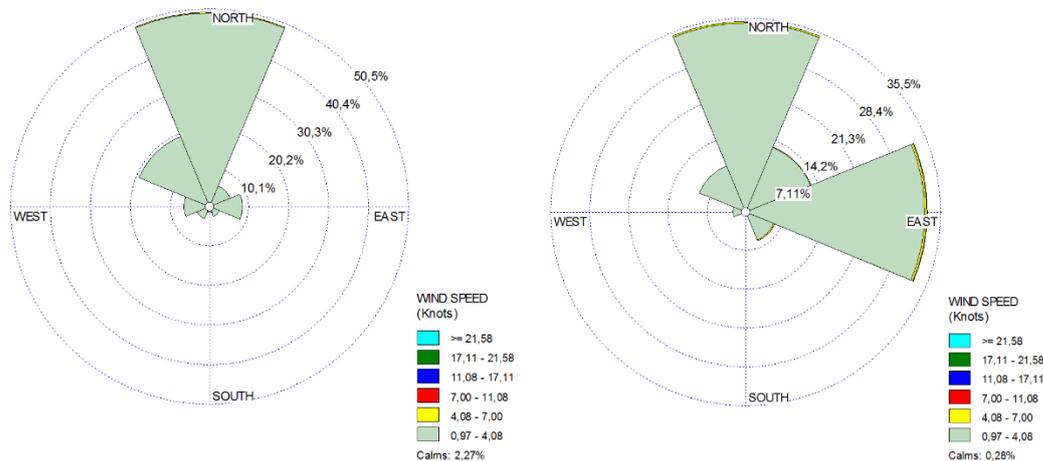
No	Jenis Musim	Rentang Waktu	Data Angin yang diunduh
1	Musim Barat	Desember-Maret	Waktu Arah Angin Kecepatan Angin
2	Musim Timur	Juli-Agustus	
3	Musim Peralihan 1	April-Mei	
4	Musim Peralihan 2	Oktober- November	

#### 4.1.2 Perhitungan arah angin dominan

Jumlah data angin dari pengamatan stasiun selama tahun 2010- 2019 sangat besar, sehingga dibutuhkan proses pembuatan diagram mawar angin untuk mengetahui karakteristik angin selama tahun 2010-2019 pada Musim Barat, Timur, Peralihan 1, dan Peralihan 2. Proses pengolahan diagram mawar angin dilakukan menggunakan *software* WRPlot, didapat hasil bahwa arah angin yang berhembus pada pesisir Semarang adalah dominan dari arah utara.



Gambar 4. 2 Mawar Angin pada Musim Barat (Kiri) dan Musim Peralihan 1 (Kanan)



Gambar 4. 3 Mawar Angin pada Musim Timur (Kiri) dan Musim Peralihan 2 (Kanan)

Mawar angin sebagaimana gambar diatas adalah sebuah metode penggambaran informasi mengenai kecepatan dan arah angin pada suatu lokasi tertentu. Mawar angin digambarkan dalam format melingkar dengan skema frekuensi angin yang berhembus dari arah tertentu. Panjang setiap mahkota menunjukkan tingkat frekuensi berhembusnya angin dari arah tersebut, bernilai nol di pusat mawar dan terus meningkat hingga tepi mawar. Dari gambar 4.2 dan 4.3, arah angin musim barat dominan dari arah barat daya, pada musim peralihan 1 dominan dari arah utara, pada musim peralihan 2 dominan dari arah utara, sementara untuk musim timur dominan dari arah utara dan timur. Apabila di generalisir dari keempat musim yang digambarkan diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa arah angin yang berhembus pada pesisir Semarang dominan dari arah utara.

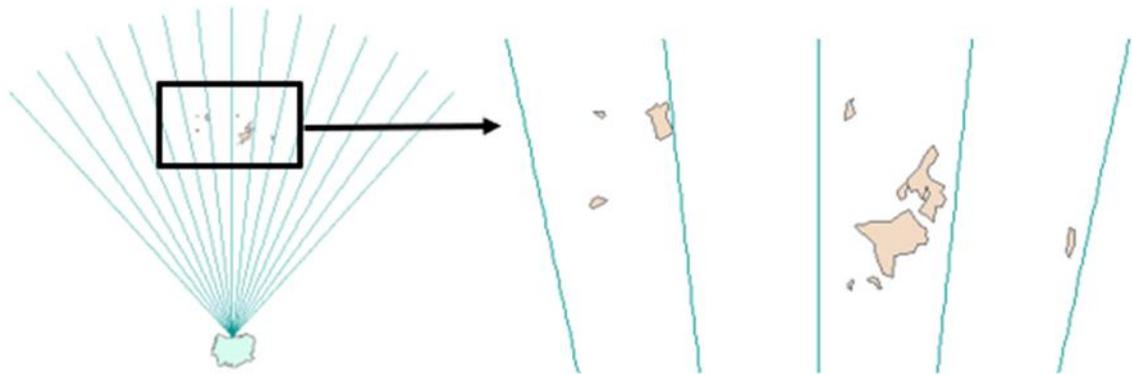
#### 4.1.3 Perhitungan fetch angin pada pesisir Semarang

Tahapan selanjutnya setelah penggambaran arah angin dominan adalah penggambaran deliniasi bidang pembangkitan gelombang atau yang disebut dengan istilah fetch. Fetch ini secara umum didefinisikan sebagai sebuah wilayah dimana kecepatan dan arah angin dapat dianggap konstan pada suatu durasi angin tertentu.

Perhitungan fetch efektif dilakukan dengan mengaplikasikan metode Sverdrup, Munk dan Bretschneider (SMB) dimana arah angin dominan menjadi poros garis fetch untuk menentukan garis fetch kurang lebih  $45^\circ$  ke kanan dan ke kiri dengan interval  $6^\circ$ .

Didalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin

Pada penelitian ini perhitungan fetch dilakukan menggunakan software ArcGIS. Dimana fetch ditarik sepanjang 200 km menuju arah utara, arah dominan angin berhembus. Dari gambar dibawah ini terlihat bahwa, deliniasi pembangkitan gelombang yang digambarkan sepanjang 200 km menuju arah utara Pulau Semarang tidak terhalang oleh daratan apapun. Sehingga angin yang berhembus di utara Kota Semarang mencapai titik maksimal yaitu 200 km. Dimana menurut Triatmodjo 1999, fetch 200 km dianggap maksimal karena angin dapat bertiup secara konstan berdasarkan kecepatan dan arahnya tidak lebih dari 200km.



Gambar 4. 4 Fetch pada arah Utara Kota Semarang

#### 4.1.4 Perhitungan Tinggi Gelombang

Data angin selanjutnya diramalkan menggunakan grafik peramalan gelombang untuk menghasilkan periode dan tinggi gelombang.

Tabel 4. 2 Perhitungan Fetch Efektif

Arah Angin	Sudut $\alpha$ °	$\cos \alpha$	$X_i$ (Km)	$X_i \cdot \cos \alpha$	$\Sigma X_i \cdot \cos \alpha$	$\Sigma \cos \alpha$	Fetch
Utara	354	0,99	200	198	2700	13,5	200
	348	0,98	200	196			
	342	0,95	200	190			
	336	0,91	200	182			
	330	0,87	200	174			
	324	0,81	200	162			
	318	0,74	200	148			
	0	1	200	200			
	6	0,99	200	198			
	12	0,98	200	196			
	18	0,95	200	190			
	24	0,91	200	182			
	30	0,87	200	174			
	36	0,81	200	162			
	42	0,74	200	148			

Adapun langkah-langkah dalam perhitungan ramalan gelombang adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan jumlah data keseluruhan
  - a. Jumlah data angin yang terjadi pada Musim Barat selama tahun 2011-2019 adalah 26.041 data.
  - b. Jumlah data angin yang terjadi pada Musim Timur selama tahun 2011-2019 adalah 25.560 data.
  - c. Jumlah data angin yang terjadi pada Musim Peralihan 1 selama tahun 2011-2019 adalah 13.032 data.
  - d. Jumlah data angin yang terjadi pada Musim Peralihan 2 selama tahun 2011-2019 adalah 10.896 data.
2. Untuk dapat meramalkan gelombang maka terlebih dahulu dihitung kecepatan angin signifikan yaitu 33,3% dari banyaknya data yang diperoleh dari data kecepatan angin maksimum yang sudah disortir dari mulai nilai terkecil. Penyortiran data dimulai dari data terkecil sebanyak 33,3% dari keseluruhan data. Kemudian setelah data disortir,

kemudian dirata-rata untuk mendapatkan nilai kecepatan angin. Sehingga didapat nilai kecepatan angin signifikan yang ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 4. 3 Perhitungan Kecepatan Angin Signifikan pada Tiap Musim

No	Jenis Musim	Kecepatan Angin Signifikan (UL) (m/s)
1	Musim Barat	4,73
2	Musim Timur	3,04
3	Musim Peralihan 1	2,62
4	Musim Peralihan 2	2,64

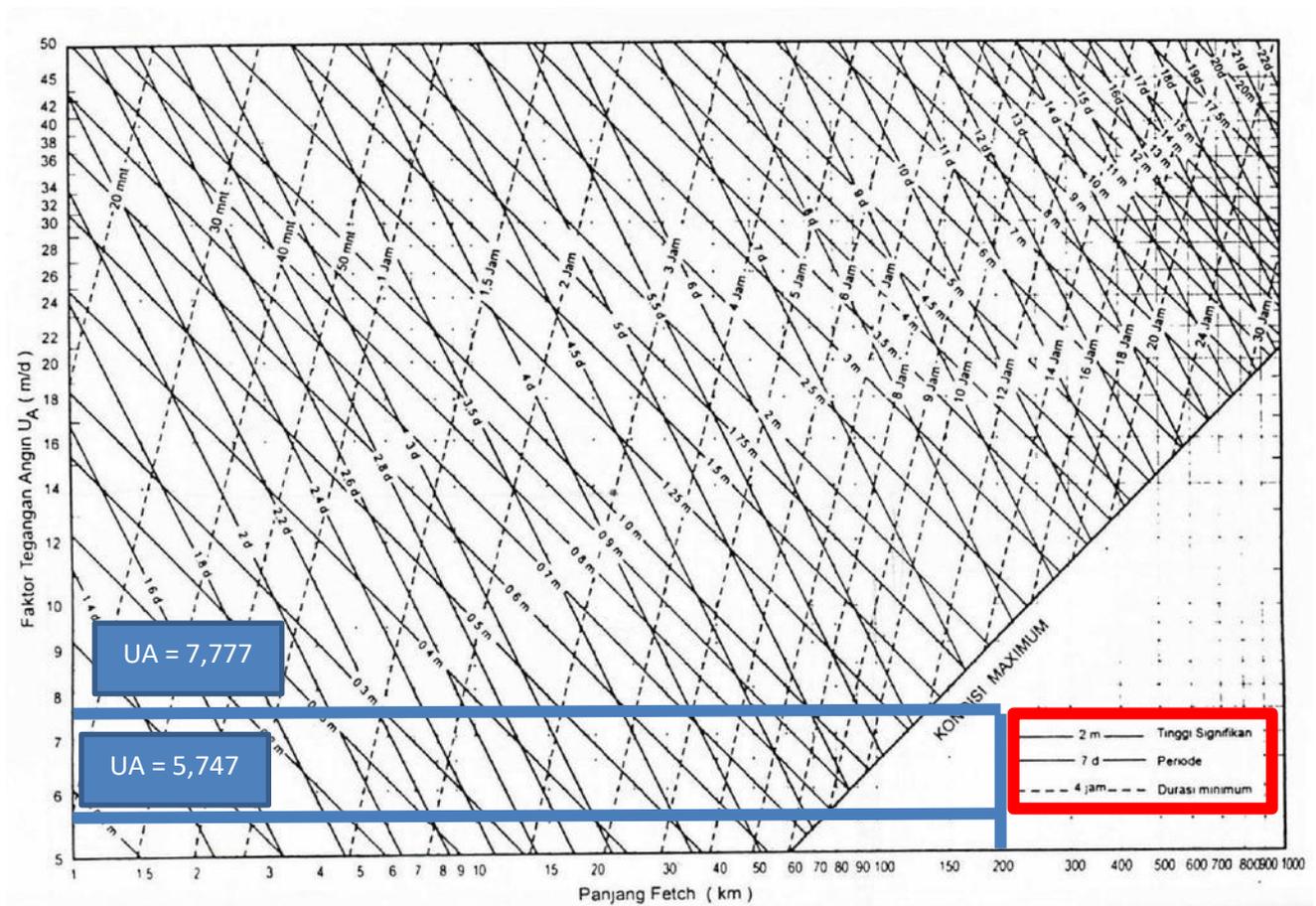
- Menghitung koefisien RL. Koefisien RL adalah koefisien hubungan antara kecepatan angin di darat dan di laut. Setelah didapat koefisien RL, lalu dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai kecepatan angin di laut dan tegangan angin

Tabel 4. 4 Perhitungan Parameter Tinggi Gelombang

No	Jenis Musim	RL	UL (m/s)	UW (m/s)	UA (m/s)
1	Musim Barat	1,48	4,73	7,0004	7,777
2	Musim Timur	1,8	3,04	5,472	5,747
3	Musim Peralihan 1	1,75	2,62	4,585	4,621
4	Musim Peralihan 2	1,7	2,64	4,488	4,51

- Perhitungan nomogram peramalan gelombang.

Perhitungan nomogram dilakukan untuk mengetahui tinggi dan periode gelombang, dimana parameter dalam perhitungan ini adalah nilai tegangan angin (UA) dan panjang fetch. Pada studi kasus Kota Semarang panjang fetch angin mencapai nilai maksimum yaitu 200km. Dari perhitungan tabel nomogram dibawah, didapat hasil bahwa perairan Semarang berada pada kondisi maksimum. Dimana setelah ditarik dari garis X dengan nilai fetch 200 dan garis Y adalah nilai UA pada musim barat dan musim timur. Terlihat bahwa proyeksi dari kedua musim tersebut, perairan Semarang berada pada kondisi maksimum. Begitupun dengan musim peralihan 1 dan 2, kondisi perairan Semarang tetap berada pada kondisi maksimum. Kotak merah pada gambar 4.10 menunjukkan besar tinggi gelombang, yaitu 2 meter pada periode 7 detik.



Gambar 4. 5 Grafik Perhitungan Nomogram Peramalan Gelombang (Sumber : Triatmodjo, 1999)

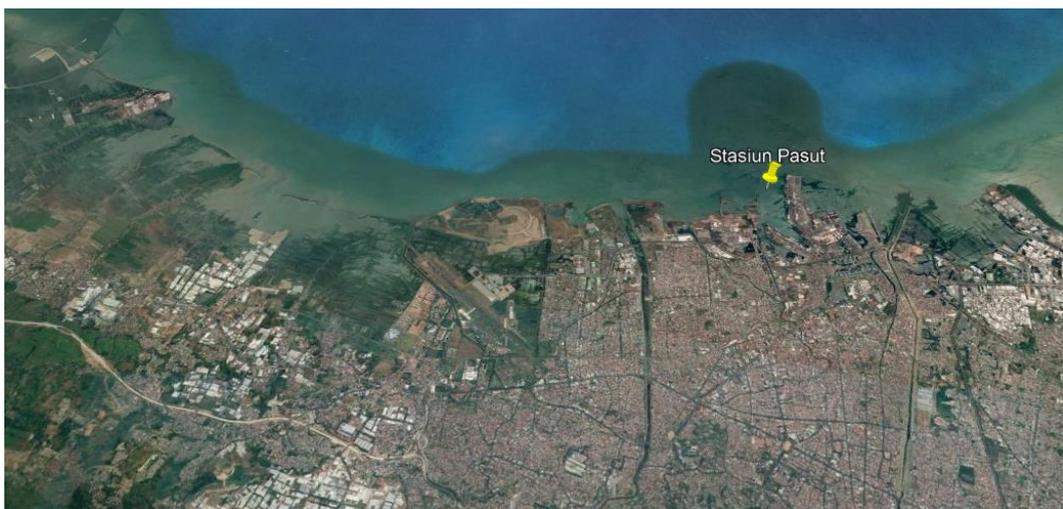
Kondisi maksimum ini dikarenakan bidang deliniasi pembangkitan gelombang berada pada fetch maksimum yaitu 200 km. Dimana, semakin panjang fetch semakin kuat pula angin berhembus untuk membangkitkan gelombang. Sehingga didapat nilai tinggi gelombang pada tiap musim selama tahun 2010-2019 adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Tinggi Gelombang dan Bobot CVI

Musim	Tinggi Gelombang (m)	Periode (s)	Score dalam CVI
Musim Barat	2	7	5
Musim Timur	2	7	5
Musim Peralihan 1	2	7	5
Musim Peralihan 2	2	7	5

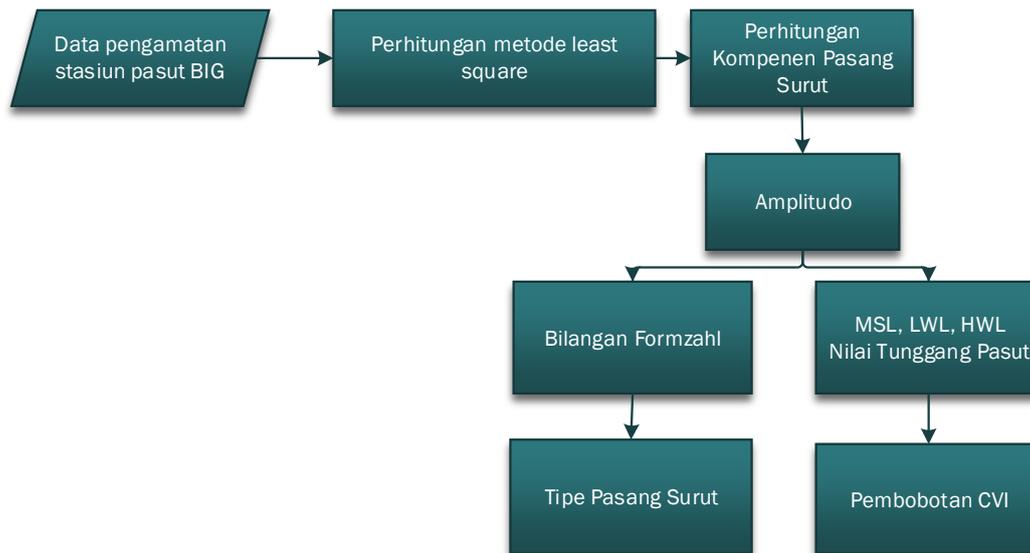
## 4.2 Pasang Surut

Fenomena laut lainnya yang memicu kenaikan tingkat kerentanan pesisir adalah pasang surut. Pasang merujuk pada naiknya muka air laut yang sering disebut dengan *flood* dan kebalikannya disebut dengan surut. Arus pasut ini berperan terhadap proses-proses di pantai seperti penyebaran sedimen dan abrasi pantai. Pasang naik akan menyebarkan sedimen ke dekat pantai, sedangkan bila surut akan menyebabkan majunya sedimentasi ke arah laut lepas.



Gambar 4. 6 Stasiun Pasut Semarang (Sumber : Google Earth)

Data pasang surut dalam penelitian ini diperoleh dari pengukuran pasang surut yang dilakukan oleh stasiun pasang surut Badan Informasi Geospasial (BIG). Stasiun pasut berada pada koordinat  $6^{\circ}56'24''\text{LS}$  dan  $110^{\circ}25'12''\text{BT}$  yang ditunjukkan pada gambar 4.6. Dimana langkah pengolahan parameter pasang surut ditunjukkan sebagaimana gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Diagram Olah Pasang Surut

Pengolahan data pasang surut dilakukan dengan metode *least square* dimana hasil dari pengolahan data pasang surut dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab, sehingga didapat data sebagaimana berikut ini,

Tabel 4. 6 Pasang Surut Tahun 2010

Bulan	Tahun	HWL (m)	LWL (m)	Tunggang Pasut (m)	CVI	Formzahl
Januari	2010	0,509	-0,509	1,018	4	1,539
Februari	2010	0,519	-0,517	1,036	4	1,497
Maret	2010	0,521	-0,521	1,042	4	2,026
April	2010	0,516	-0,515	1,031	4	1,726
Mei	2010	0,520	-0,520	1,040	4	1,837
Juni	2010	0,511	-0,511	1,022	4	1,802
Juli	2010	0,495	-0,495	0,990	5	1,735
Agustus	2010	0,504	-0,505	1,009	4	1,751
September	2010	0,514	-0,514	1,028	4	1,713
Oktober	2010	0,513	-0,513	1,027	4	1,521
November	2010	0,502	-0,501	1,003	4	1,565
Desember	2010	0,502	-0,503	1,006	4	1,524

Tabel 4. 7 Pasang Surut Tahun 2011

Bulan	Tahun	HWL (m)	LWL (m)	Tunggang Pasut (m)	CVI	Formzahl
Januari	2011	0,519	-0,519	1,039	4	1,672
Februari	2011	0,548	-0,547	1,095	4	1,855
Maret	2011	0,486	-0,486	0,972	5	3,027
April	2011	0,491	-0,491	0,981	5	1,745
Mei	2011	0,494	-0,494	0,988	5	1,762
Juni	2011	0,489	-0,490	0,979	5	1,730
Juli	2011	0,473	-0,473	0,946	5	1,621
Agustus	2011	0,480	-0,480	0,959	5	1,638
September	2011	0,479	-0,479	0,958	5	1,567
Oktober	2011	0,492	-0,493	0,985	5	1,402
November	2011	0,499	-0,499	0,998	5	1,623
Desember	2011	0,486	-0,487	0,973	5	1,502

Tabel 4. 8 Pasang Surut Tahun 2012

Bulan	Tahun	HWL (m)	LWL (m)	Tunggang Pasut (m)	CVI	Formzahl
Januari	2012	0,491	-0,491	0,982	5	1,488
Februari	2012	0,520	-0,520	1,040	4	1,639
Maret	2012	0,477	-0,477	0,954	5	2,344
April	2012	0,490	-0,491	0,980	5	1,478
Mei	2012	0,478	-0,479	0,957	5	1,522
Juni	2012	0,462	-0,462	0,924	5	1,511
Juli	2012	0,461	-0,461	0,923	5	1,544
Agustus	2012	0,472	-0,472	0,944	5	1,610
September	2012	0,478	-0,478	0,957	5	1,595
Oktober	2012	0,489	-0,490	0,979	5	1,430
November	2012	0,513	-0,513	1,025	4	1,599
Desember	2012	0,477	-0,476	0,953	5	1,467

Tabel 4. 9 Pasang Surut Tahun 2013

Bulan	Tahun	HWL (m)	LWL (m)	Tunggang Pasut (m)	CVI	Formzahl
Januari	2013	0,469	-0,469	0,937	5	1,467
Februari	2013	0,465	-0,466	0,931	5	1,520
Maret	2013	0,466	-0,466	0,932	5	1,544
April	2013	0,452	-0,452	0,904	5	1,493

Bulan	Tahun	HWL (m)	LWL (m)	Tunggang Pasut (m)	CVI	Formzahl
Mei	2013	0,457	-0,457	0,915	5	1,557
Juni	2013	0,444	-0,443	0,888	5	1,546
Juli	2013	0,454	-0,453	0,907	5	1,580
Agustus	2013	0,477	-0,478	0,955	5	1,606
September	2013	0,478	-0,478	0,955	5	1,517
Oktober	2013	0,492	-0,492	0,985	5	0,986
November	2013	0,461	-0,460	0,921	5	1,367
Desember	2013	0,445	-0,446	0,891	5	1,247

Tabel 4. 10 Pasang Surut Tahun 2014

Bulan	Tahun	HWL (m)	LWL (m)	Tunggang Pasut (m)	CVI	Formzahl
Januari	2014	0,456	-0,456	0,913	5	1,246
Februari	2014	0,471	-0,471	0,942	5	1,262
Maret	2014	0,478	-0,478	0,955	5	1,504
April	2014	0,465	-0,465	0,930	5	1,419
Mei	2014	0,467	-0,467	0,934	5	1,504
Juni	2014	0,464	-0,464	0,928	5	1,499
Juli	2014	0,450	-0,450	0,899	5	1,451
Agustus	2014	0,453	-0,453	0,906	5	1,449
September	2014	0,459	-0,459	0,918	5	1,446
Oktober	2014	0,463	-0,463	0,927	5	0,911
November	2014	0,458	-0,458	0,916	5	1,331
Desember	2014	0,456	-0,456	0,912	5	1,282

Tabel 4. 11 Pasang Surut Tahun 2015

Bulan	Tahun	HWL (m)	LWL (m)	Tunggang Pasut (m)	CVI	Formzahl
Januari	2015	0,471	-0,472	0,943	5	1,384
Februari	2015	0,506	-0,506	1,012	4	1,539
Maret	2015	0,451	-0,450	0,901	5	2,110
April	2015	0,453	-0,452	0,905	5	1,456
Mei	2015	0,445	-0,445	0,890	5	1,432
Juni	2015	0,441	-0,441	0,882	5	1,431
Juli	2015	0,431	-0,431	0,862	5	1,343
Agustus	2015	0,446	-0,446	0,893	5	1,375
September	2015	0,453	-0,453	0,905	5	1,333

Bulan	Tahun	HWL (m)	LWL (m)	Tunggang Pasut (m)	CVI	Formzahl
Oktober	2015	0,442	-0,441	0,883	5	1,083
November	2015	0,465	-0,466	0,931	5	1,354
Desember	2015	0,457	-0,458	0,915	5	1,267

Tabel 4. 12 Pasang Surut Tahun 2016

Bulan	Tahun	HWL (m)	LWL (m)	Tunggang Pasut (m)	CVI	Formzahl
Januari	2016	0,454	-0,455	0,909	5	1,388
Februari	2016	0,473	-0,472	0,945	5	1,879
Maret	2016	0,447	-0,446	0,893	5	1,317
April	2016	0,458	-0,458	0,916	5	1,352
Mei	2016	0,451	-0,452	0,903	5	1,350
Juni	2016	0,441	-0,441	0,882	5	1,420
Juli	2016	0,443	-0,443	0,886	5	1,496
Agustus	2016	0,453	-0,454	0,907	5	1,490
September	2016	0,457	-0,457	0,914	5	1,366
Oktober	2016	0,463	-0,464	0,927	5	1,458
November	2016	0,486	-0,486	0,971	5	1,373
Desember	2016	0,464	-0,463	0,927	5	1,377

Tabel 4. 13 Pasang Surut Tahun 2017

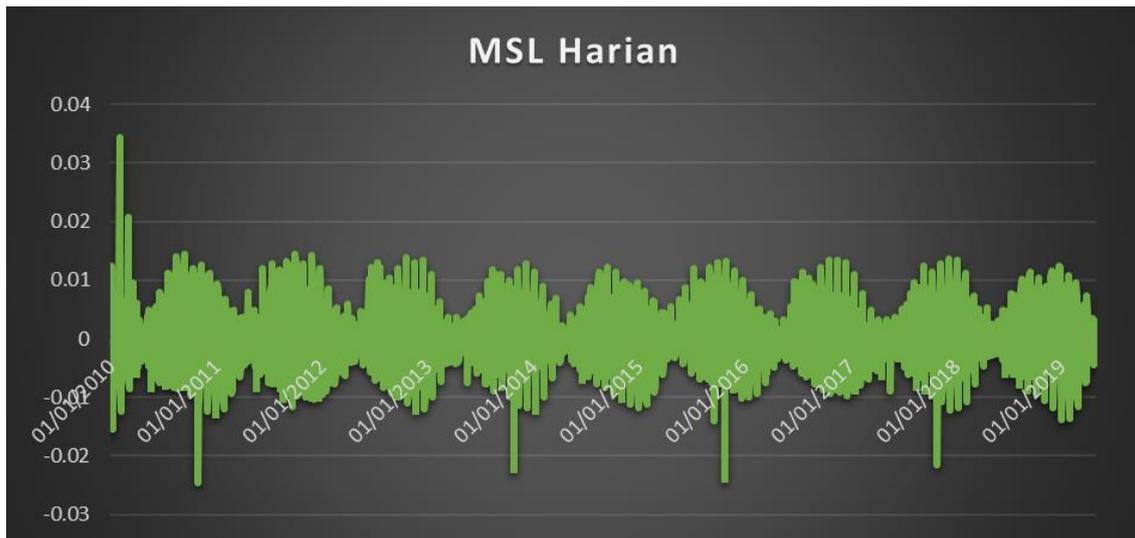
Bulan	Tahun	HWL (m)	LWL (m)	Tunggang Pasut (m)	CVI	Formzahl
Januari	2018	0,458	-0,458	1	5	1,321
Februari	2018	0,469	-0,470	1	5	2,344
Maret	2018	0,472	-0,471	1	5	1,480
April	2018	0,467	-0,467	1	5	1,588
Mei	2018	0,474	-0,474	1	5	1,654
Juni	2018	0,485	-0,485	1	5	1,593
Juli	2018	0,468	-0,468	1	5	1,588
Agustus	2018	0,469	-0,469	1	5	1,605
September	2018	0,471	-0,472	1	5	1,115
Oktober	2018	0,482	-0,483	1	5	1,493
November	2018	0,474	-0,473	1	5	1,512
Desember	2018	0,475	-0,475	1	5	1,675

Tabel 4. 14 Pasang Surut Tahun 2018

Bulan	Tahun	HWL (m)	LWL (m)	Tunggang Pasut (m)	CVI	Formzahl
Januari	2018	0,458	-0,458	1	5	1,321
Februari	2018	0,469	-0,470	1	5	2,344
Maret	2018	0,472	-0,471	1	5	1,480
April	2018	0,467	-0,467	1	5	1,588
Mei	2018	0,474	-0,474	1	5	1,654
Juni	2018	0,485	-0,485	1	5	1,593
Juli	2018	0,468	-0,468	1	5	1,588
Agustus	2018	0,469	-0,469	1	5	1,605
September	2018	0,471	-0,472	1	5	1,115
Oktober	2018	0,482	-0,483	1	5	1,493
November	2018	0,474	-0,473	1	5	1,512
Desember	2018	0,475	-0,475	1	5	1,675

Tabel 4. 15 Pasang Surut Tahun 2019

Bulan	Tahun	HWL	LWL	Tunggang Pasut	CVI	Formzahl
Januari	2019	0,492	-0,492	1	5	1,922
Februari	2019	0,541	-0,541	1	4	1,647
Maret	2019	0,504	-0,503	1	4	1,922
April	2019	0,504	-0,503	1	4	1,647



Gambar 4. 8 MSL Harian Tahun 2010-2019

Gambar 4.8 menunjukkan fluktuasi MSL harian perairan Semarang, dengan nilai MSL terendah bernilai -0,024 m sementara nilai MSL tertinggi bernilai 0,034 m. Dari pengolahan data pasang surut selama tahun 2010-2019, didapat hasil bilangan formzahl senilai 1,536. Dari bilangan formzahl tersebut didapat hasil bahwa tipe pasang surut perairan Semarang adalah *Mixed Semidurnal*. Pasang surut semi-diurnal adalah keadaan dimana dalam sehari terjadi 2 kali pasang naik dan 2 kali pasang surut secara berurutan. Periode pasang surut tersebut adalah 12 jam 54 menit.

Tipe pasang surut ini akan sangat mempengaruhi dari besaran MSL, HWL, dan LWL. Dikarenakan parameter yang digunakan untuk menghitung keempat parameter ini sama. Sementara apabila mengacu pada nilai tunggang pasang surut, diperoleh hasil bahwa rata-rata bobot CVI pada parameter pasang surut berada pada kategori sangat rentan. Sementara nilai rata-rata tunggang pasang surut yaitu 0,949 atau berada pada kategori sangat rentan dalam algoritma CVI. Hal tersebut menunjukkan bahwa parameter pasang surut sangat berperan dalam meningkatkan kerentanan pesisir Kota Semarang.

Tabel 4. 16 Pembobotan CVI Pasang Surut

Tingkat Kerentanan	1	2	3	4	5
	Tidak Rentan	Kurang Rentan	Sedang	Rentan	Sangat Rentan
Tunggang Pasut (m)	>6,0	4,0-6,0	2,0-4,0	1,0-2,0	<1,0

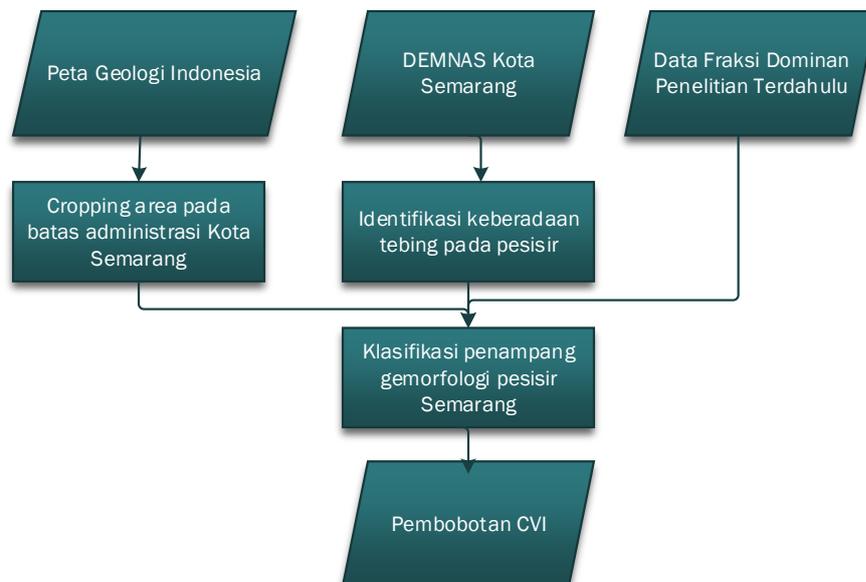
Dan hal tersebut diperkuat dengan adanya banjir rob setiap kali air laut pasang yang melanda daerah di sekitar pesisir Semarang, yang ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Banjir rob pesisir Semarang saat air laut pasang (Sumber : [www.detik.com](http://www.detik.com))

### 4.3 Geomorfologi

Geomorfologi merupakan salah satu parameter yang berperan dalam memberikan dampak terhadap indeks kerentanan pesisir. Tiap jenis bentuk lahan pesisir tersebut memiliki perbedaan geomorfologi yang juga menunjukkan daya tahan terhadap erodibilitas atau kerentanannya terhadap erosi. Dalam penelitian ini dilakukan analisa geomorfologi sebagaimana gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Diagram Pengolahan Geomorfologi

### 4.3.1 Analisa penampang geologi pesisir Semarang

Bagian utara Semarang terdiri dari aluvial yang sangat muda dengan kompresibilitas tinggi. Tanah aluvial tergolong sebagai tanah muda, yang terbentuk dari endapan halus di aliran sungai. Tanah aluvial dapat dimanfaatkan sebagai lahan pertanian karena kandungan unsur hara yang relatif tinggi. Tanah aluvial memiliki struktur tanah yang pejal dan tergolong liat atau liat berpasir dengan kandungan pasir kurang dari 50% (Sarah, 2011)

Dataran Semarang bagian utara merupakan paparan aluvial berumur holosen yang secara vertikal dicirikan oleh litologi yang tersusun oleh material pasir, lanau, lempung, lumpur, peat/gambut, pasir, gravel, konglomerat dan breksi (Sarah, 2011).

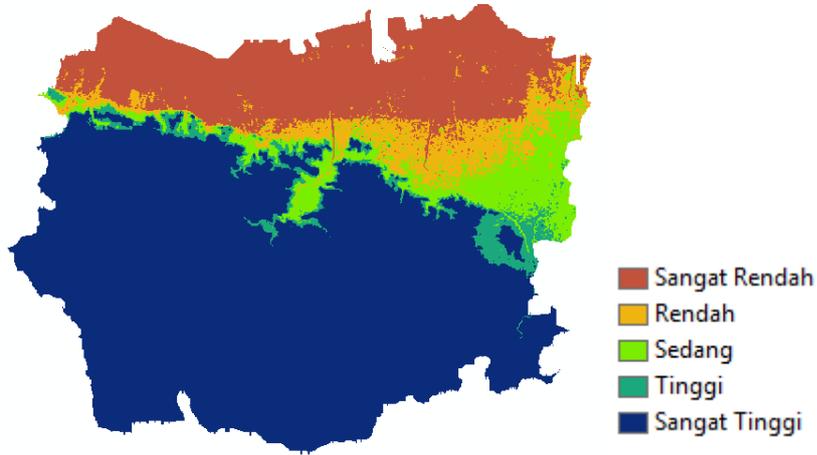
Penampang geologi pesisir Semarang dibentuk oleh endapan aluvial sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Penampang Geologi Kota Semarang ( Peta Geologi Kota Magelang dan Semarang skala 1:100.000 lembar 1408-5 dan 1409-2 Tahun 1975 disusun oleh Robert E. Thaden dkk)

Sementara untuk mengidentifikasi keberadaan tebing pada pesisir Semarang dilakukan pengolahan data DEMNAS, terlihat bahwa daerah pesisir Semarang dibentuk oleh wilayah yang sangat rendah dimana elevasi berada pada -1,8m hingga 8,5m. Hal tersebut membuktikan bahwa pesisir Semarang tidak teridentifikasi sebagai penampang

yang bertebing rendah ataupun tinggi sebagaimana ada pada pembobotan CVI pada bobot 1 sampai 3.



Gambar 4. 12 Identifikasi Keberadaan Tebing pada Pesisir Semarang

Sementara dari penelitian sebelumnya dalam (Safitri, 2019) yang telah melakukan pengujian fraksi pada 4 titik sampel yang tersebar di dalam 4 kecamatan yang ada pada pesisir Semarang, menghasilkan analisa bahwa pesisir Semarang didominasi oleh pasir.

Tabel 4. 17 Fraksi Dominan pada tiap Kecamatan (Safitri, 2019)

Kecamatan	Pantai	Pasir (%)	Lumpur (%)	T. Liat (%)	Jenis Fraksi Dominan
Tugu	Mangunharjo	97,79	1,79	0,42	Pasir
Semarang Barat	Tirang	97,99	1,67	0,34	Pasir
Semarang Utara	Baruna	96,68	2,99	2,99	Pasir
Genuk	Genuk	99,53	0,36	0,36	Pasir

Pesisir Semarang didominasi oleh elevasi tiap titik yang sangat rendah dan tidak terjal seperti tebing. Sehingga bobot kerentanan pesisir Semarang menurut parameter geomorfologi pada pesisir Semarang didominasi oleh tanah dengan jenis pasir, tambak, rawa, dan pantai yang menjadikan parameter geomorfologi Semarang berada pada tipe sangat rentan.

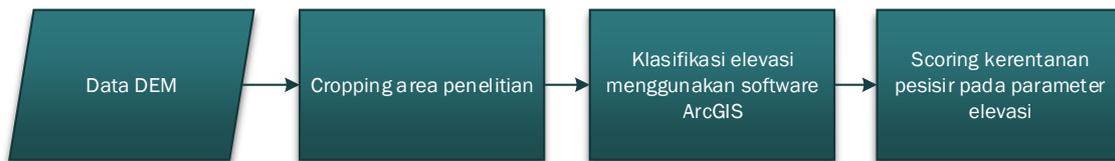
Tabel 4. 18 Pembobotan CVI pada Geomorfologi

Tingkat Kerentanan	1	2	3	4	5
	Tidak Rentan	Kurang Rentan	Sedang	Rentan	Sangat Rentan
Geomorfologi	Tebing Tinggi	Tebing Sedang	Tebing rendah, daratan alluvial	Estuarine, Laguna	Pantai berpasir, Rawa, Payau, paparan lumpur, delta, mangrove, karang

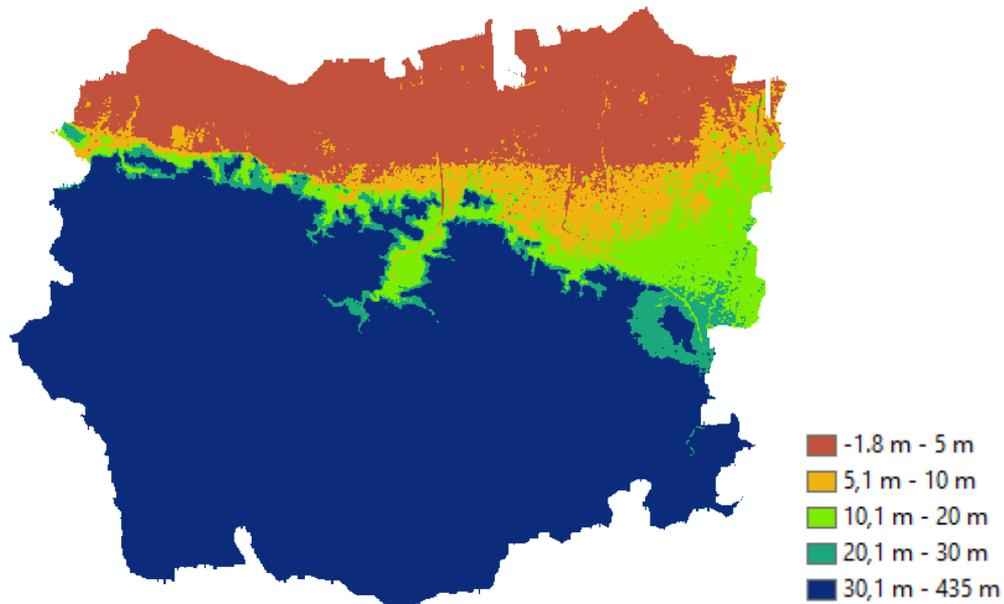
#### 4.4 Elevasi Pesisir

Perhitungan elevasi pesisir untuk memetakan kerentanan pesisir sangat penting untuk mengetahui bagaimana dampak kenaikan permukaan laut terhadap pesisir. Dimana daerah dengan elevasi yang rendah akan lebih terdampak dibanding daerah dengan elevasi yang lebih tinggi. Kajian mengenai ketinggian daerah pesisir sangat penting untuk dipelajari secara mendalam untuk mengidentifikasi dan mengestimasi luas daratan yang terancam oleh dampak kenaikan paras laut di masa yang akan datang.

Proses yang dilakukan dalam melakukan perhitungan elevasi pesisir ditunjukkan sebagaimana gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Diagram Pengolahan Elevasi



Gambar 4. 14 Ketinggian Pesisir Semarang (meter)

Setelah data DEM diproses menggunakan *software* ArcGIS untuk mendapatkan nilai elevasi, didapat hasil bahwa pesisir Semarang berada pada kategori sangat rentan. Dimana nilai elevasi pada tiap titik yang ada di pesisir Semarang hanya berkisar -1,8 m hingga 5 meter. Bahkan ada bagian di pesisir Semarang yang memiliki ketinggian dibawah muka air laut rata-rata, yang dimungkinkan daerah tersebut menjadi daerah banjir permanen yang tidak layak untuk didirikan bangunan di atasnya. Dimana skoring kerentanan ditunjukkan pada tabel 4.19.

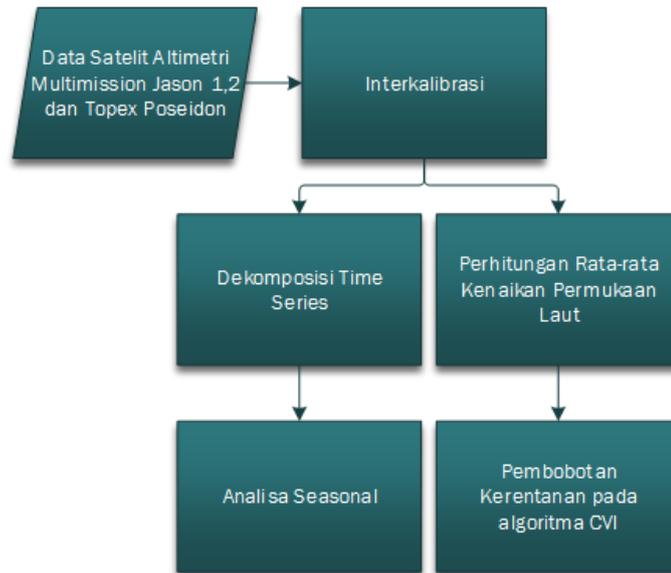
Tabel 4. 19 Pembobotan CVI pada Elevasi

Tingkat Kerentanan	1	2	3	4	5
	(Tidak Rentan)	(Kurang Rentan)	(Sedang)	(Rentan)	(Sangat Rentan)
Tinggi elavasi (m)	> 30,0	20,1 – 30,0	10,1 – 20,0	5,1 – 10,0	0,0 – 5,0

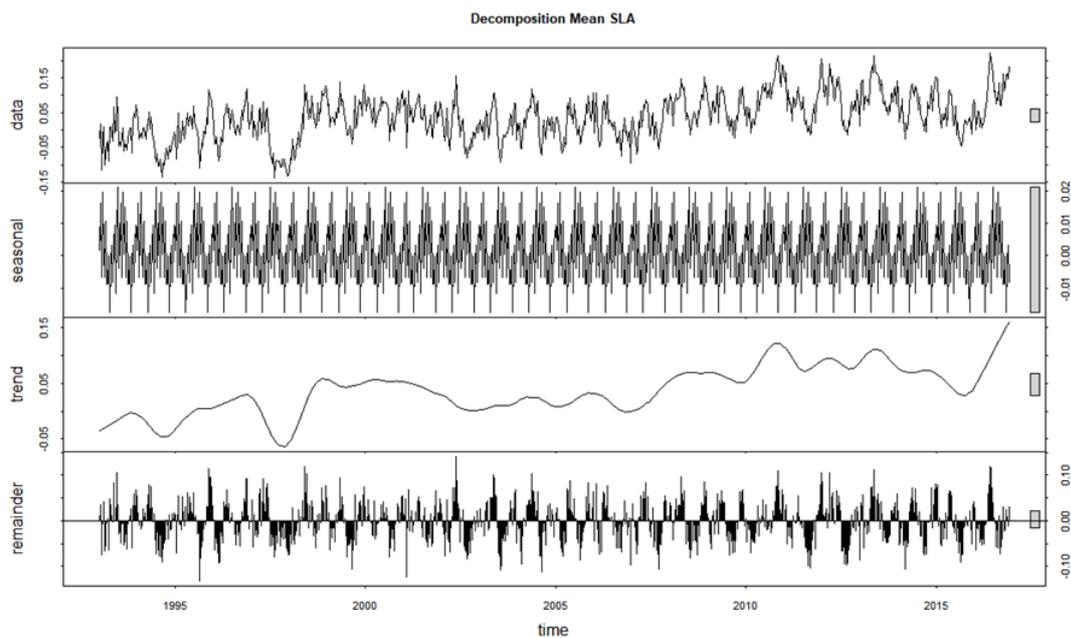
#### 4.5 *Sea Level Anomaly* (SLA)

*Sea level anomaly* atau SLA dihitung dengan memanfaatkan data model RADS. Nilai SLA merupakan tinggi permukaan laut yang diketahui sebagai representasi dari permukaan laut di bawahnya. Pengolahan tinggi permukaan laut dimulai dengan pengunduhan data satelit altrimetri melalui *database* RADS. Data yang diunduh adalah

data Satelit Altrimetri Jason 1, Jason 2, dan Topex Poseidon dari mulai tahun 1993 – 2018. Kemudian keseluruhan dari data tersebut dilakukan interkalibrasi untuk dilakukan koreksi. Koreksi kesalahan pengukuran dibagi menjadi dua jenis, yaitu koreksi *range* dan koreksi geofisika. Tahapan penelitian dalam pengolahan data untuk menghasilkan nilai SLA adalah sebagaimana gambar 4.15.

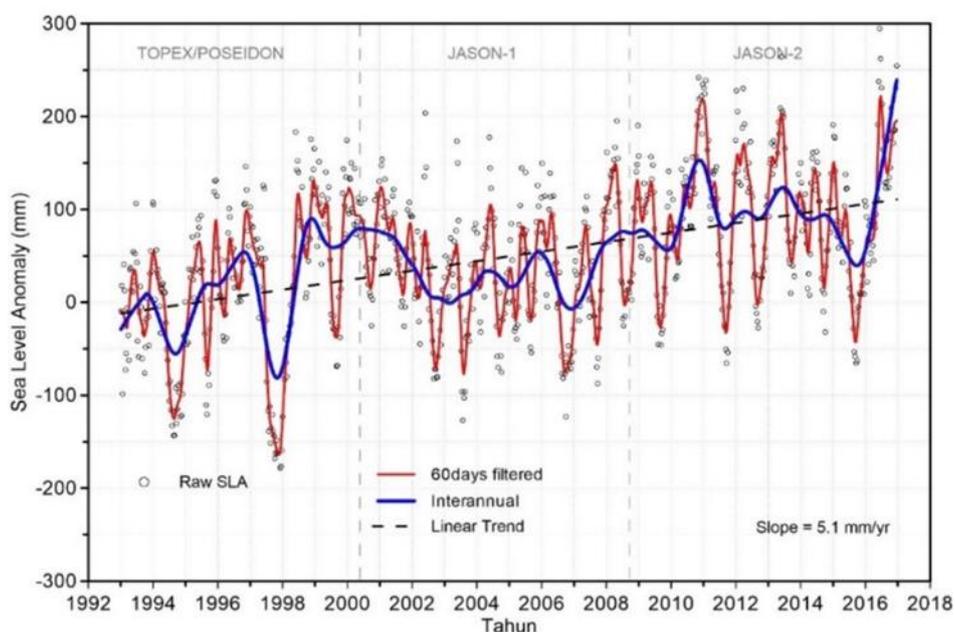


Gambar 4. 15 Diagram Pengolahan Kenaikan Muka Laut



Gambar 4. 16 Grafik Hasil Dekomposisi SLA

Data time series digambarkan dalam grafik pertama. Semua data pada grafik tersebut mempunyai satuan milimeter. Komponen pembentuk dari grafik pada baris ‘data’ adalah baris kedua ‘seasonal’, baris ketiga ‘trend’, dan baris keempat ‘remainder’.



Gambar 4. 17 Fluktuasi *Sea Level Anomaly* (Stasiun Pasut Semarang)

Setelah proses dekomposisi, terlihat bahwa kecepatan kenaikan permukaan laut setiap tahunnya adalah 5,1 mm / tahun. Apabila nilai kenaikan permukaan air laut tersebut diproyeksikan terhadap scoring CVI didapat hasil bahwa parameter kenaikan permukaan air laut di perairan Semarang berada pada kategori sangat rentan.

Tabel 4. 20 Pembobotan CVI pada Kenaikan Muka Air Laut

Tingkat Kerentanan	1	2	3	4	5
	(Tidak Rentan)	(Kurang Rentan)	(Sedang)	(Rentan)	(Sangat Rentan)
SLR per tahun (mm)	< 1,8	1,8 – 2,5	2,5 – 3,0	3,0 – 3,4	> 3,4

#### 4.6 Garis Pantai

Sebelum melakukan analisa garis pantai terlebih dahulu dilakukan pengunduhan citra satelit Sentinel, secara kebetulan waktu perekaman satelit ketika melewati Semarang berada pada di saat pasang. Sehingga, kondisi garis pantai yang digitasi adalah kondisi

garis pantai saat kondisi air laut sedang pasang. Dalam deliniasi garis pantai pada studi kasus pesisir Semarang, dibutuhkan kombinasi *band* yang baik dalam menggambarkan keberadaan tambak yang ada pada pesisir Semarang juga baik dalam membedakan daratan dan lautan. Penelitian ini menggunakan citra satelit Sentinel 2 dengan menggunakan metode digitasi *on-screen* dari kombinasi *band* SWIR-NIR-*blue* atau kombinasi band 11-8-2. Untuk mendelineasi batas antara darat dan laut yang selanjutnya diartikan sebagai garis pantai. Kombinasi *band* ini dipilih dikarenakan lebih memudahkan terkait interpretasi batas garis pantai dimana pesisir Semarang lebih dominan dibentuk oleh tambak yang berpadu antara vegetasi dan air.



Gambar 4. 18 Kombinasi Band Red-Green-Blue (4-3-2)

Kombinasi band *Red-Green-Blue* (*Natural Colour*) kurang dapat menginterpretasikan persil tambak yang ada pada area pesisir. Namun dari gambar dibawah ini 4.22 terlihat bahwa Kombinasi band SWIR-NIR-*blue* lebih jelas dalam membantu deliniasi garis pantai, dimana persil tambak yang ada pada pesisir Semarang tergambar dengan jelas sehingga memudahkan dalam interpretasi garis pantai. Hal tersebut dimungkinkan karena sensor yang ada pada band 11-8-2 sangat peka terhadap vegetasi. Karena kondisi pesisir Semarang yang didominasi oleh tambak yang terdapat percampuran tanah, vegetasi, dan air.



Gambar 4. 19 Kombinasi Band SWIR-NIR-Blue (11 – 8 – 2)



Gambar 4. 20 Penerapan Algoritma NDWI

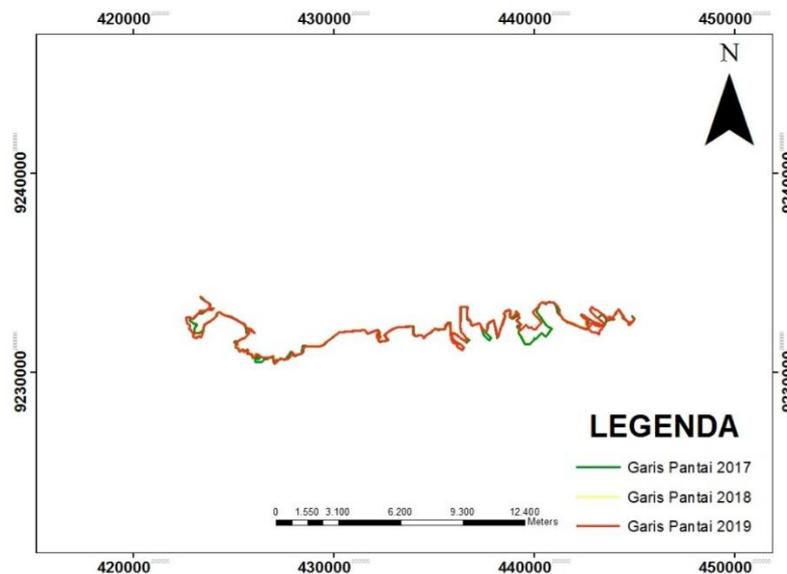
Algoritma NDWI dalam penelitian ini tidak dapat digunakan, dikarenakan berdasarkan interpretasi garis pantai, tidak jelas batas antara tambak dan lautan. Pada kasus pesisir Semarang, dari hasil perhitungan algoritma NDWI, tambak seringkali dianggap sebagai air sehingga menyulitkan interpretasi garis pantai. Atas dasar pertimbangan tersebut maka deliniasi garis pantai menggunakan kombinasi band SWIR-NIR-R (11-8-2).

Setelah dilakukan digitasi garis pantai, maka didapat luasan akresi dan erosi pada tiap kecamatan yang ditunjukkan pada tabel 4.2.1

Tabel 4. 21 Luasan Akresi Erosi

Kecamatan	Erosi (m <sup>2</sup> )	Akresi (m <sup>2</sup> )	Scoring CVI
Tugu	367.153,442	214.133	5
Semarang Barat	25.965	17.507	5
Semarang Utara	156.824	62.198	5
Genuk	226.073	1.286.029	1
Jumlah	776.015,442 m <sup>2</sup>	1.579.867 m <sup>2</sup>	Rata -rata = 4

Dari perhitungan perbedaan garis pantai tahun 2017-2019 didapat hasil bahwa luasan erosi adalah 776.015 m<sup>2</sup>, sementara untuk luasan akresi adalah 1.579.867 m<sup>2</sup>. Dari tabel diatas terlihat bahwa terjadi fluktuasi akresi dan erosi yang sangat tinggi hanya dalam rentang 3 tahun. Apabila melihat dari peta RTRW Kota Semarang, terlihat bahwa pihak pemerintah Kota Semarang sudah mengantisipasi pergerakan erosi dan akresi yang sangat fluktuatif di pesisir Semarang ini dengan mendisfungsikan lahan menjadi lahan tidak terbangun. Dimana pada RTRW Kota Semarang, area yang terdapat diluar digitasi garis pantai menjadi area tambak, konservasi, lapangan penumpukan, dan area pendaratan ikan. Sehingga untuk jangka pendek perubahan garis pantai yang sangat fluktuatif ini masih dapat ditangani oleh pihak pemerintah Kota Semarang.



Gambar 4. 21 Perubahan Garis Pantai 2017-2019

#### 4.7 Analisa Coastal Vulnerability Index (CVI)

Setelah proses perhitungan pada tiap parameter selesai, maka hasil dari perhitungan tersebut diproyeksikan terhadap tabel pembobotan CVI yang mana hasilnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 22 Pembobotan CVI pada semua Parameter

No	Parameter	Bobot / Kelas Kerentanan				
		Tidak rentan	Kurang rentan	Sedang	Rentan	Sangat rentan
		1	2	3	4	5
1	Geomorfologi Pantai	Tebing Tinggi	Tebing Sedang	Tebing rendah, daratan alluvial	Estuarine, Laguna	Pantai Berpasir, Rawa, Payau
2	Elevasi Tanah (m)	> 30,0	20,1 – 30,0	10,1 – 20,0	5,1 – 10,0	0,0 – 5,0
3	Tunggang Pasut (m)	> 6,0	4,0 – 6,0	2,0 – 4,0	1,0 – 2,0	< 1,0
4	Tinggi Gelombang (m)	< 0,55	0,55 – 0,85	0,85 – 1,05	1,05 – 1,25	> 1,25
5	Kenaikan muka laut (mm/tahun)	< 1,8	1,8 – 2,5	2,5 – 3,0	3,0 – 3,4	> 3,4
6	Perubahan garis pantai	Akresi	Akresi	Stabil	Erosi	Erosi

Keterangan Warna :



: Sangat Rentan



: Rentan

Setelah didapat *score* pada tiap kelas lalu dilakukan perhitungan sebagaimana berikut ini.

$$CVI = \sqrt{\frac{5*5*5*5*5*4}{6}} \quad (4.1)$$

Didapat nilai CVI 45,644 yang apabila diproyeksikan kedalam pembobotan akhir parameter CVI didapat bobot sangat rentan.

Tabel 4. 23 Bobot Akhir CVI

Nilai CVI	Kategori Kerentanan
<20,5	Rendah
20,5-25,5	Sedang
25,6-29	Tinggi
>29,0	Sangat Tinggi

Dari tabel 4.23 terlihat bahwa parameter yang paling berperan dalam membentuk kerentanan pesisir adalah parameter elevasi, geomorfologi, kondisi pasang surut, tinggi gelombang dan laju kenaikan muka air laut.

Secara elevasi, pesisir Semarang sangatlah rendah sehingga tingkat kerentanan dari parameter elevasi sangat rentan. Dari elevasi yang rendah ini pula yang memperparah pergerakan air dari laut. Terlebih keadaan pasang surut, tinggi gelombang, dan kenaikan muka air laut pesisir Semarang berada pada kategori yang sangat rentan sehingga hal tersebut yang sering memicu terjadinya genangan banjir rob. Dari parameter CVI, daerah yang memiliki elevasi sangat rentan adalah Kecamatan Tugu, Semarang Barat, Semarang Utara, dan Genuk.

Sementara untuk parameter perubahan garis pantai, pada pesisir Semarang sangat didominasi oleh kondisi erosi dan akresinya, dimana kondisi akresi bersamaan pula dengan kondisi erosi. Sehingga sulit apabila diproyeksikan pada tabel CVI. Namun dari hasil perhitungan, didapat bahwa luasan akresi melebihi luasan erosi. Dimana kecamatan yang berada pada kategori sangat rentan dengan luasan erosi lebih luas dibanding luasan akresi adalah Kecamatan Tugu, Semarang Utara, dan Semarang Barat.

Untuk parameter pasang surut, kerentanan yang terjadi pada setiap wilayah yang ada pada pesisir adalah seragam dikarenakan hanya digunakan 1 stasiun yang digunakan

untuk memantai pasang surut. Begitupun dengan kenaikan permukaan laut yang dianggap seragam pada cakupan pesisir Semarang. Dengan nilai kerentanan pada parameter pasang surut dan kenaikan muka air laut juga berada pada kategori sangat rentan.

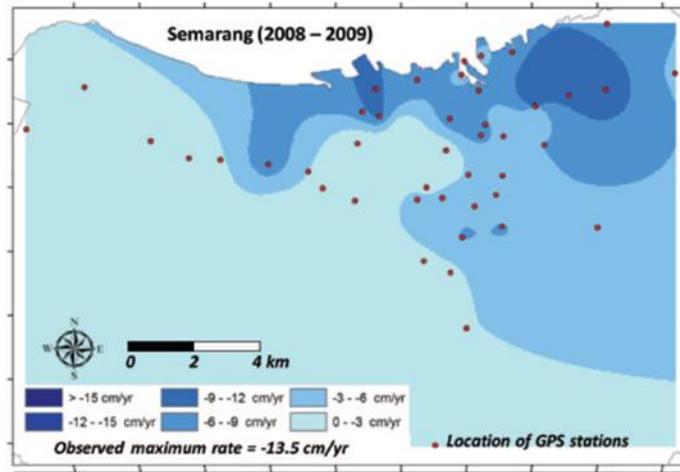
#### 4.8 Pemodelan genangan

Pemodelan genangan terdampak kenaikan muka air laut dilakukan dengan menggunakan data DEM yang kemudian diproyeksikan terhadap data penurunan muka tanah dan nilai laju kenaikan permukaan air laut. Dimana, pengolahan dalam tahap ini ditunjukkan dalam gambar 4.22.

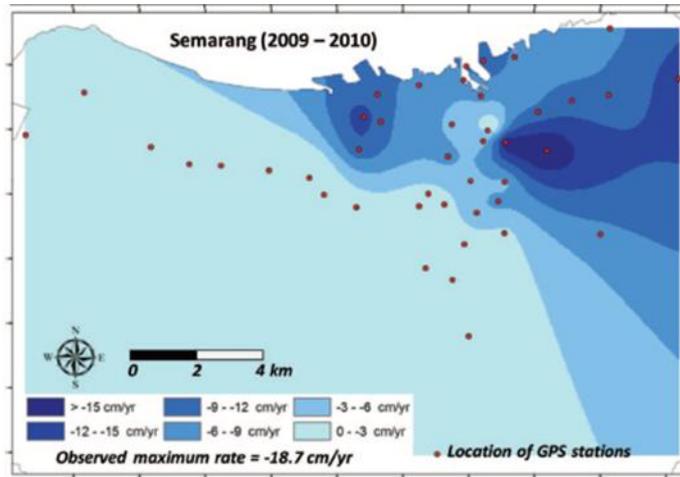


Gambar 4. 22 Diagram Pengolahan Pemodelan Area Tergenang

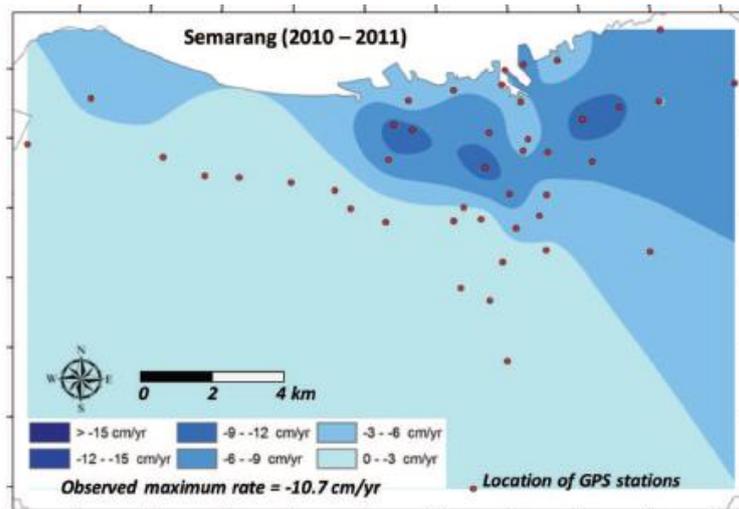
Input data dari pengolahan ini adalah data DEM yang mengandung nilai elevasi pada tiap piksel. 1 piksel didalam data DEM bekisar  $8m^2$ . Data DEM tersebut dirilis oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) pada tahun 2018. Namun, nilai elevasi dari data DEM tersebut hanya berlaku pada saat perilisan data DEM tersebut, dikarenakan kondisi pesisir Kota Semarang sendiri sangat rentan terhadap penurunan muka tanah.



Gambar 4. 23 Penurunan Muka Tanah pada Tahun 2008-2009 (Sumber: Abidin dkk (2013))



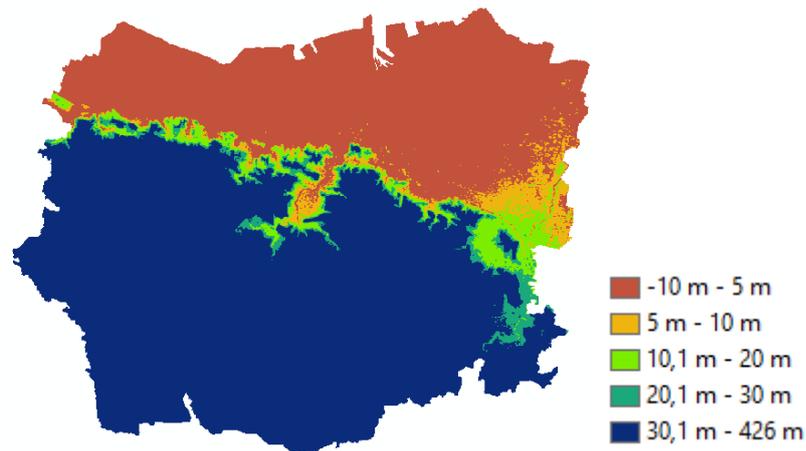
Gambar 4. 24 Penurunan Muka Tanah pada Tahun 2009-2010 (Sumber: Abidin dkk (2013))



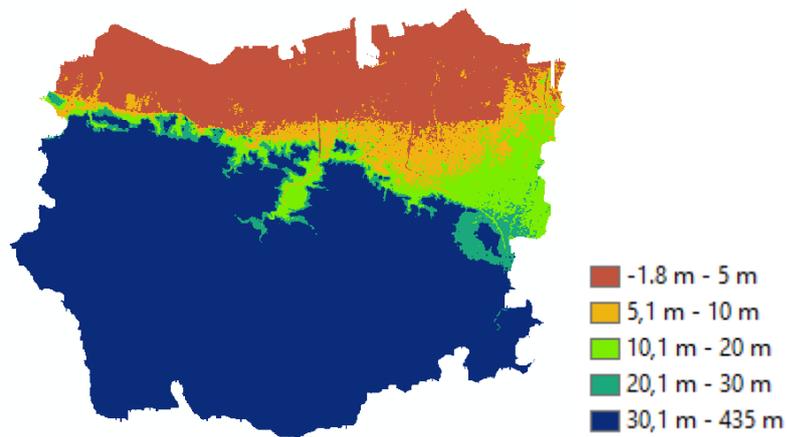
Gambar 4. 25 Penurunan Muka Tanah pada Tahun 2010-2011 (Sumber: Abidin dkk (2013))

Gambar 4.23 sampai 4.25 menunjukkan tentang pergerakan penurunan muka tanah di beberapa stasiun penelitian di Kota Semarang. Dilansir dari penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Abidin dkk (2013), didapat nilai penurunan permukaan tanah berkisar 0cm – 19cm per tahunnya. Sementara menurut Islam dkk (2017) nilai penurunan muka tanah pada pesisir Semarang berada pada kisaran 8cm – 10cm. Dengan menimbang dari hasil penelitian Abidin dkk (2013) dan Islam (2017) maka dalam penelitian ini, nilai penurunan permukaan tanah digeneralisasi senilai 9cm setiap tahunnya. Nilai tersebut diambil dengan mengambil nilai tengah dari hasil kedua penelitian tersebut. Sehingga apabila dikalkulasikan selama 100 tahun, nilai penurunan permukaan tanah mencapai 9m.

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah membuat data raster yang pada setiap pikselnya mengandung nilai 9m. Lalu setelah pembuatan data raster selesai, dilakukan pengurangan nilai elevasi menggunakan *tools raster calculator* pada *software ArcGIS* untuk data DEM yang ada terhadap data raster yang pada tiap pikselnya mengandung nilai 9. Sehingga didapat peramalan nilai elevasi pada tiap titik untuk 100 tahun kedepan sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.26.



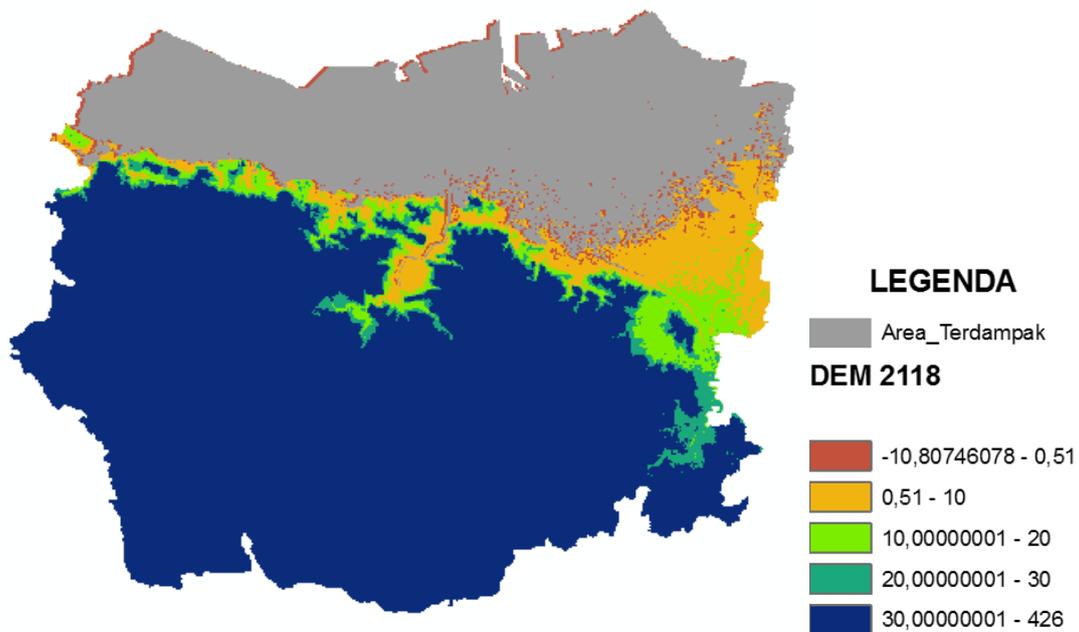
Gambar 4. 26 Pemodelan DEM Tahun 2118



Gambar 4. 27 DEM Tahun 2018

Gambar diatas adalah peramalan kondisi nilai elevasi pada tahun 2118 apabila dikaitkan terhadap nilai penurunan permukaan tanah. Dimana pada tahun 2018 nilai elevasi terendah ada pada -1,8m. Sementara pada tahun 2118 nilai elevasi terendah berkisar -10,8m.

Setelah proses pembuatan DEM tahun 2118 dilakukan maka dilakukan selanjutnya adalah menggabungkan data elevasi tahun 2118 dengan nilai kenaikan permukaan laut yang sudah diolah sebelumnya. Dari pengolahan data satelit altimetri yang telah dijabarkan sebelumnya, nilai laju kenaikan permukaan laut setiap tahun yang melanda pesisir Semarang adalah 5,1 mm yang apabila diproyeksikan untuk 100 tahun kedepan menjadi 0,51 meter.



Gambar 4. 28 Pemodelan Area Tergenang terhadap DEM 2118

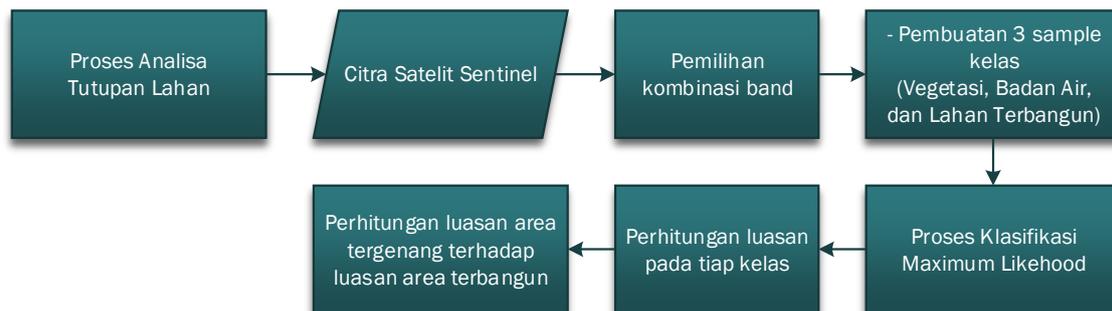
Setelah proses *overlay* selesai, didapat hasil bahwa area yang tergenang adalah Kecamatan Tugu, Semarang Barat, Semarang Utara, Genuk, Semarang Timur, dan Gayamsari. Area yang tergenang adalah berkisar 11.380 hektar. Luas Kota Semarang secara keseluruhan berkisar 38.832 hektar. Sehingga area yang tergenang hampir mencapai 29% dari seluruh luasan area Kota Semarang. Warna biru muda pada gambar 4.28 menggambarkan area yang tergenang

Tabel 4. 24 Luasan Area Tergenang

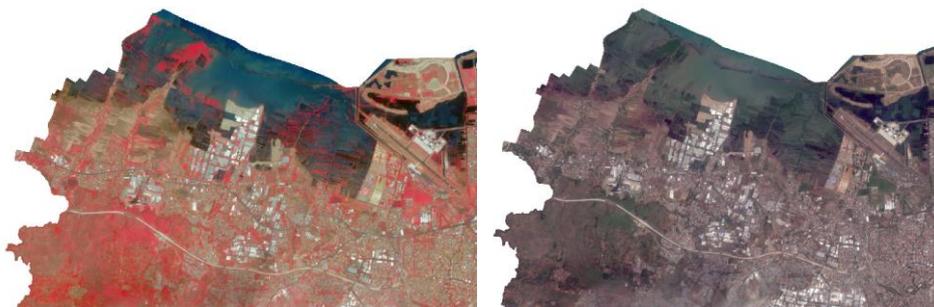
No	Kecamatan	Luasan Area Tergenang (hektar)
1	Semarang Barat	1831
2	Semarang Utara	1324
3	Semarang Timur	191
4	Gayamsari	210
5	Tugu	3599
6	Genuk	4225
	<b>Jumlah</b>	<b>11.380 hektar</b>

#### 4.8.1 Analisa Area Tergenang terhadap Tutupan Lahan

Proses pemetaan tutupan lahan dimulai dengan pengunduhan citra satelit sentinel. Waktu perekaman citra satelit adalah pada tanggal 6 September 2019. Setelah dilakukan pengunduhan, dikarenakan citra satelit sentinel 2A ini sudah terkoreksi atmosfer, maka secara langsung dilakukan kombinasi *band*. Dalam tahap ini dipilih 4 kombinasi *band* yang dicoba untuk dipilih 1 kombinasi *band* yang terbaik yang lebih dapat menginterpretasikan secara baik. Setelah itu dilakukan sampling area terhadap 3 kelas yakni vegetasi, badan air, dan lahan terbangun. Dalam tahap ini difokuskan untuk memetakan keberadaan lahan terbangun dan vegetasi.



Gambar 4. 29 Diagram Pengolahan Klasifikasi Tutupan Lahan



(a). Kombinasi *Band* 8,4,3

(b). Kombinasi *Band* 4,3,2



(c) Kombinasi *Band* 12,11,4

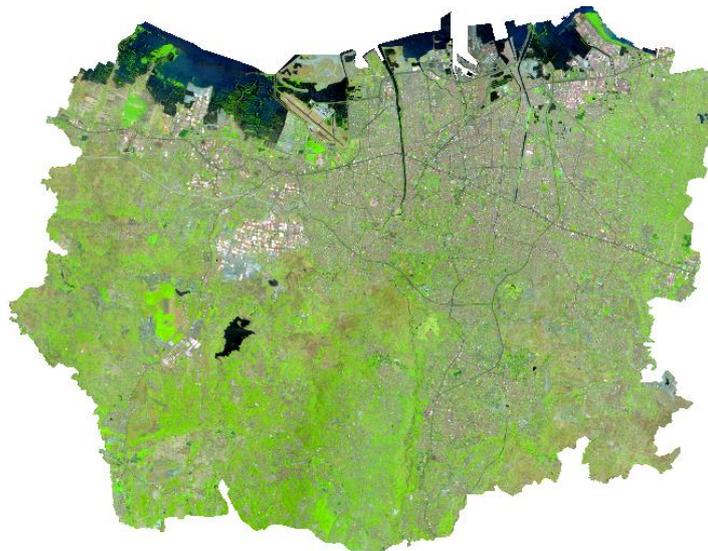
(d) Kombinasi *Band* 11,8,2

Gambar 4. 30 Tampilan Citra Dalam Berbagai Kombinasi

Tabel 4. 25 Kombinasi Band

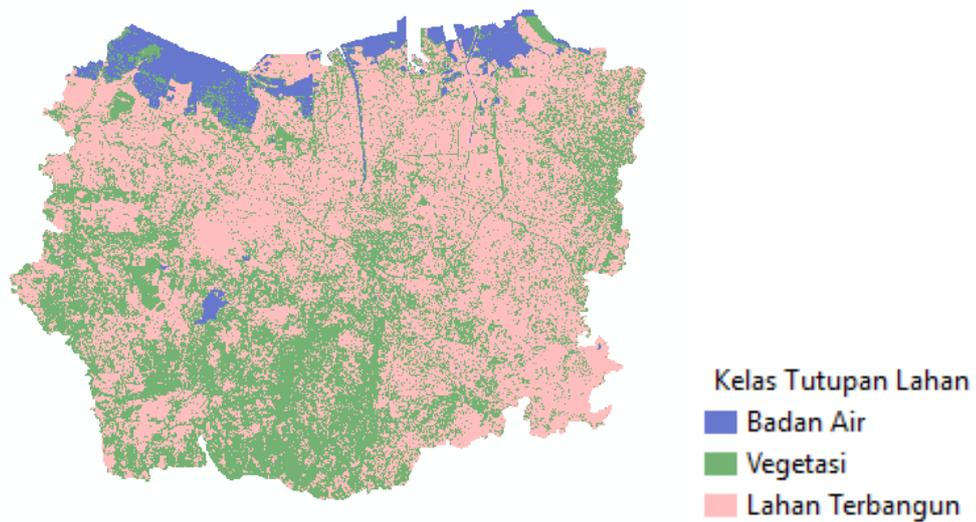
No	Aplikasi	Kombinasi <i>Band</i>
1	<i>Natural Colour</i>	<i>Red Green Blue</i> (4 3 2)
2	<i>False Colour</i>	SWIR 2 - SWIR 1 - <i>Red</i> (12 11 4)
3	<i>Vegetation (Infrared)</i>	NIR - <i>Red</i> - <i>Green</i> (8 4 3)
4	<i>Vegetation Analysis</i>	SWIR - NIR - <i>Blue</i> (11 8 2)

Setelah dilakukan kombinasi *band*, terpilih kombinasi *band* 11,8,2. Dimana kombinasi ketiga *band* tersebut yang paling baik dalam merepresentasikan ketiga kelas tutupan lahan yang diinginkan.

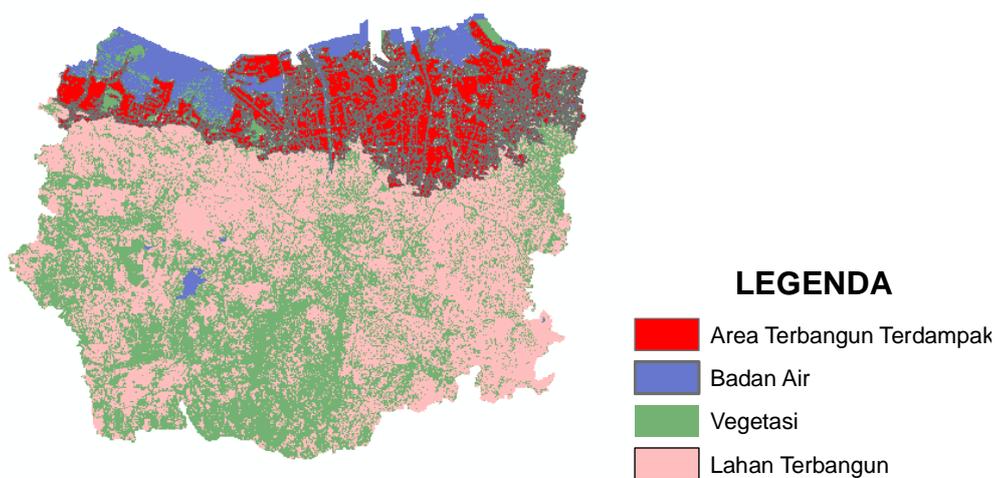


Gambar 4. 31 Citra Sentinel dengan Kombinasi *Band* 11-8-2

Kombinasi band 11-8-2 peka terhadap kesehatan vegetasi, sehingga tergambar dengan jelas perbedaan antara vegetasi dan non vegetasi. Dalam gambar 4.31, vegetasi ditunjukkan oleh warna hijau. Sementara non vegetasi ditunjukkan oleh warna selain hijau. Klasifikasi citra dilakukan dengan metode secara terbimbing dengan didahului oleh pembuatan training sample area terhadap 3 kelas yakni kelas vegetasi, badan air, dan lahan terbangun.



Gambar 4. 32 Tutupan Lahan Kota Semarang



Gambar 4. 33 Overlay Area Tergenang terhadap Tutupan Lahan

Dari gambar diatas terlihat bahwa lahan terbangun ditunjukkan dengan warna merah muda. Badan air ditunjukkan dengan warna biru. Sementara untuk vegetasi ditunjukkan dengan warna hijau. Terlihat densitas lahan terbangun yang sangat terpusat pada sebelah utara Kota Semarang atau pada bagian pesisir. Dimana, pada bagian selatan Kota Semarang lebih sedikit lahan terbangun dan didominasi oleh perbukitan karena elevasinya yang tinggi.

Tabel 4. 26 Luasan Area tiap Kelas

No	Klasifikasi	Luasan area (h)
1	Badan Air	140.020,106
2	Vegetasi	125.848,923
3	Lahan Terbangun	122.421,976

Densitas lahan terbangun yang tinggi pada lahan dengan elevasi landai dengan kondisi pasang pesisir Semarang yang sangat rentan menambah nilai kerentanan lahan Semarang. Apabila kondisi kenaikan permukaan laut dan penurunan muka tanah pada 100 tahun kedepan, diproyeksikan terhadap kondisi tutupan lahan masa terkini mengharuskan pihak pemerintah Kota Semarang mengoptimalkan tindak mitigasi bencana yang lebih baik lagi dalam menangkalkan genangan air yang terjadi.

Setelah dilakukan klasifikasi tutupan lahan terhadap 3 kelas, luasan area tergenang dioverlay terhadap lahan terbangun sehingga didapat area terbangun yang tergenang adalah 6087,012 hektar.

(Ali, 2010) dalam penelitiannya yang menghitung kerugian masyarakat yang diakibatkan oleh banjir rob mendapatkan nilai kerugian masyarakat yang tinggal pada luasan 3,43 km<sup>2</sup> mengalami total kerugian lebih dari 16 milyar. Apabila nilai tersebut dikonversikan dan diproyeksikan terhadap seluruh luasan area terbangun yang tergenang sebesar 6087,012 hektar (60,87 km<sup>2</sup>) didapat perkiraan nilai kerugian mencapai 284 milyar. Namun analisa ini mengesampingkan kondisi eksisting Kota Semarang beserta langkah tindak mitigasi bencana yang telah dilakukan.

#### **4.9 Analisa Area Tergenang terhadap UU RTRW dan Kondisi Eksisting**

Analisa dilakukan dengan membandingkan hasil survei data in situ juga pemetaan tutupan lahan menggunakan citra satelit sentinel lalu menganalisisnya terhadap Undang

Undang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Semarang untuk tahun 2011-2031 untuk didapat kesesuaian Undang-undang RTRW terhadap kondisi eksisting Kota Semarang.

#### **4.9.1 Tindak Mitigasi Bencana pada UU RTRW Kota Semarang**

Merangkum dari berita yang ada pada linimasa, didapat hipotesa bahwa kondisi Kota Semarang sangat rentan terhadap banjir rob yang diakibatkan oleh air pasang dan curah hujan yang tinggi. Menilik dari kondisi tersebut, pihak pemerintah Kota Semarang telah melakukan langkah mitigasi bencana terkait penanggulangan banjir. Hal tersebut tertuang pula pada perencanaan wilayah Kota Semarang yang tertulis pada UU RTRW Kota Semarang.

Mengacu pada Undang-Undang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Semarang pada tahun 2011-2031, pada pasal 34 tersurat bahwa pemerintah Kota Semarang sudah merencanakan juga melakukan pengembangan kualitas daerah aliran sungai untuk melakukan tindak mitigasi bencana terhadap air pasang juga banjir yang disebabkan oleh curah hujan. Pengembangan tersebut tertuang dalam pasal 34, yang terdiri dari

- a. Pembangunan DAS Banjir Kanal Barat
- b. Pembangunan DAS Banjir Kanal Timur
- c. Pembangunan DAS Babon

Pembangunan dan pengelolaan DAS ini yang dimaksudkan sebagai tindakan mitigasi terhadap zona rawan tergenang yang ada pada pesisir Semarang. Dari survey data insitu, terdapat persamaan antara kondisi eksisting terhadap UU RTRW, dimana telah terbangun daerah aliran sungai (DAS) Banjir Kanal Barat seperti terlihat pada gambar di halaman selanjutnya.



Gambar 4. 34 DAS Banjir Kanal Barat

Selain itu, didalam perencanaan tata ruang wilayah Kota Semarang, tertuang rencana pengendalian rob dan banjir, dengan langkah yang tertuang pada pasal 36, sebagaimana berikut ini:

- a. Pengembangan kolam tampung air di Kecamatan Semarang Utara
- b. Pengembangan tanggul pantai di Kecamatan Tugu, Kecamatan Semarang Barat, Kecamatan Semarang Utara dan Kecamatan Genuk
- c. Normalisasi aliran sungai di seluruh wilayah Kota Semarang
- d. Pengendalian kawasan terbangun di Kecamatan Gunungpati, Kecamatan Mijen dan Kecamatan Ngaliyan
- e. Peningkatan kualitas jaringan drainase di seluruh wilayah Kota Semarang.

Dalam pasal 73 ayat 2 rencana pengelolaan kawasan rawan bencana rob meliputi pembuatan kolam penampungan air, pengembangan stasiun pompa air pada kawasan terbangun untuk mengurangi genangan rob, pengerukan saluran drainase hingga sampai muara sungai, pembuatan tanggul pantai, penghijauan kawasan pantai, peningkatan rekayasa teknis pada lokasi tertentu seperti pembuatan bangunan pemecah ombak, tanggul, kolam retensi, dan kanal limasan.

Melihat kondisi eksisting, terdapat kesesuaian antara kondisi eksisting terhadap rencana mitigasi bencana Kota Semarang, dimana telah terbangun banyak stasiun pompa air sebagaimana ditunjukkan pada gambar di halaman setelah ini.



Gambar 4. 35 (a) Rumah pompa Bulu Drain & (b) Rumah pompa Kali Tenggang



Gambar 4. 36 Rumah Pompa Kali Sringin

Sementara itu pada pasal 75 juga tertuang bahwa telah dilakukan perencanaan pemindahan bangunan atau rumah yang ada pada kawasan banjir permanen.

Sementara pada pasal 45 hingga pasal 49 telah diatur perencanaan sistem drainase Kota Semarang. Drainase atau pengatusan adalah pembuangan massa air secara alami atau buatan dari permukaan atau bawah permukaan dari suatu tempat. Pembuangan ini dapat dilakukan dengan mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air. Irigasi dan drainase merupakan bagian penting dalam penataan sistem penyediaan air di bidang pertanian maupun tata ruang.

Dalam lingkup rekayasa sipil, drainase dibatasi sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan/atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal sesuai dengan kepentingan. Dalam tata ruang, drainase berperan penting untuk mengatur pasokan air demi pencegahan banjir. Dalam RTRW Kota Semarang, rencana sistem prasarana drainase meliputi :

- a. sistem drainase Mangkang;
- b. sistem drainase Semarang Barat;
- c. sistem drainase Semarang Tengah; dan
- d. sistem drainase Semarang Timur.

Terkait dengan kondisi wilayah Semarang yang memiliki ketinggian permukaan yang sangat landai, dalam Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Semarang, telah diatur bahwa wilayah Semarang bagian selatan yang memiliki elevasi permukaan yang lebih tinggi dibanding wilayah pesisir, direncanakan sebagai kawasan yang memberikan perlindungan terhadap kawasan bawahannya sebagaimana dimaksud dalam Pasal 58 huruf a meliputi kawasan yang memiliki kelerengan diatas 40% (empat puluh persen) dengan fungsi kawasan resapan air.

Kawasan resapan air ditetapkan dengan luas kurang lebih 433 (empat ratus tiga puluh tiga) hektar, terdiri dari :

- a. Kecamatan Tembalang
- b. Kecamatan Banyumanik
- c. Kecamatan Gunungpati
- d. Kecamatan Mijen
- e. Kecamatan Ngaliyan
- f. Kecamatan Gajahmungkur
- g. Kecamatan Semarang Selatan
- h. Kecamatan Candisari

Dimana dalam rencana akan dilakukan rehabilitasi kawasan resapan air yang telah gundul dengan melakukan reboisasi serta mengarahkan pemanfaatan ruang di kawasan resapan air untuk fungsi hutan.

Terkait dengan perlindungan kondisi pesisir Semarang yang sangat rentan, dalam rencana tata ruang wilayah Semarang, diatur mengenai perlindungan sempadan pantai. Dimana sempadan pantai alami di sepanjang pesisir pantai berjarak 100 meter dari titik pasang tertinggi; dan sempadan pantai buatan hasil reklamasi yang dilengkapi dengan dinding penahan (*break water*) ditetapkan 50 meter dari garis pantai.

Sempadan pantai alami sebagaimana dimaksud pada pasal 61 ayat (1) huruf a ditetapkan dengan luas kurang lebih 175 hektar meliputi :

- a. Kelurahan Mangkang Kulon;
- b. Kelurahan Mangunharjo;
- c. Kelurahan Mangkang Wetan;
- d. Kelurahan Randugarut; dan
- e. Kelurahan Tugurejo.

Sementara pada Sempadan pantai buatan dimaksud pada ayat (1) huruf b meliputi :

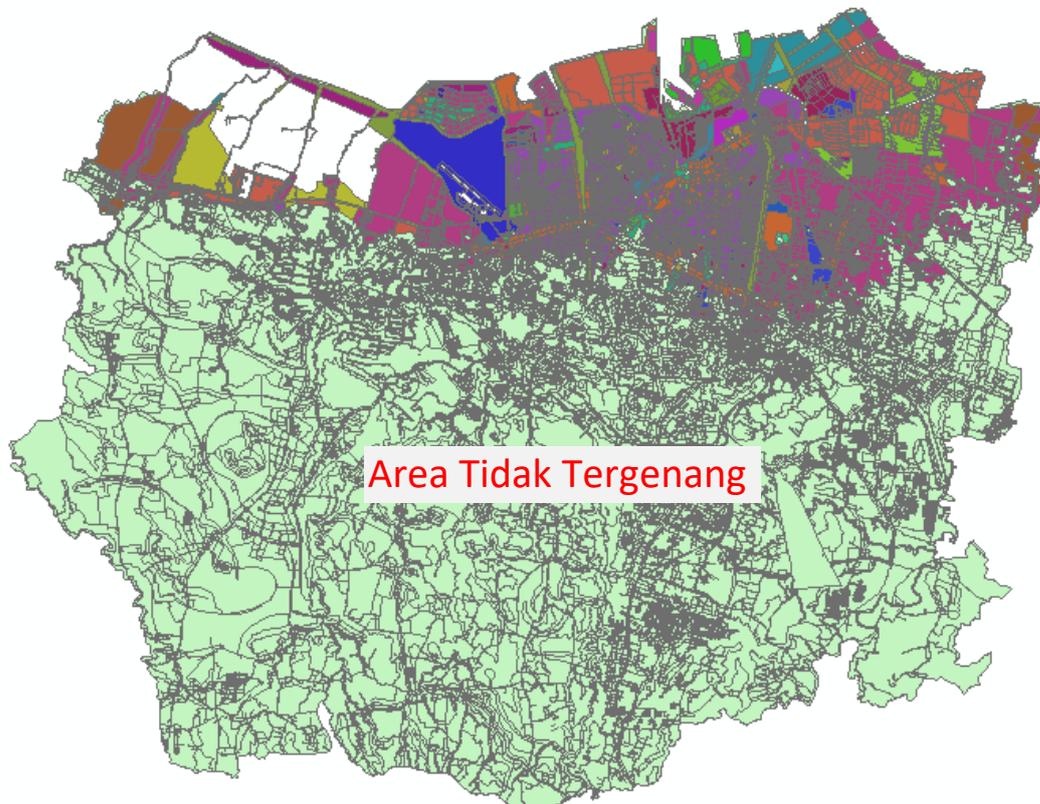
- a. Kelurahan Jerakah;
- b. Kelurahan Tambakharjo;
- c. Kelurahan Tawang Sari;
- d. Kelurahan Tawangmas;
- e. Kelurahan Panggung Lor;
- f. Kelurahan Bandarharjo;
- g. Kelurahan Tanjung Mas; dan
- h. Kelurahan Terboyo Kulon.

Dimana rencana sempadan pantai tersebut meliputi perlindungan garis pantai, penghijauan sempadan pantai, dan pengaturan pemanfaatan sempadan pantai dari hasil reklamasi. Sistem perencanaan yang diatur di dalam UU RTRW inilah yang tiap poinnya akan saling berkesinambungan dalam menurunkan angka genangan yang terjadi di Kota Semarang.

#### **4.9.2 Analisa Peta RTRW Semarang terhadap Area Tergenang**

Setelah dilakukan survei data in-situ untuk melihat kondisi eksisting wilayah Kota Semarang, diperoleh hasil bahwa genangan air yang melanda sebagian Kota Semarang dipengaruhi oleh 2 hal yakni kondisi pasang surut air laut dan curah hujan. Faktor utama

penyebab rob adalah kenaikan muka air laut yang lebih tinggi dari pada permukaan lahan / daratan di kawasan pesisir, sehingga air laut masuk menggenangi daratan, baik masuk secara langsung maupun melalui alur sungai. Namun, untuk kawasan pesisir, rob diperparah dengan adanya penurunan tanah di daerah tersebut. Pada tahap analisa di subbab ini, diawali dengan penggabungan peta RTRW Kota Semarang untuk tahun 2011-2031 terhadap area tergenang tahun 2118. Dari Gambar 4.37 terlihat bahwa area yang tidak tergenang ditunjukkan oleh warna toska. Sementara area yang tergenang ditunjukkan oleh berbagai macam warna yang menandakan zona peruntukkan area tersebut bermacam-macam. Zona peruntukkan area tergenang tersebut dapat dilihat pada gambar 4.38.



Gambar 4. 37 Peta RTRW terhadap Area Tergenang



Gambar 4. 38 Wilayah Area Tergenang

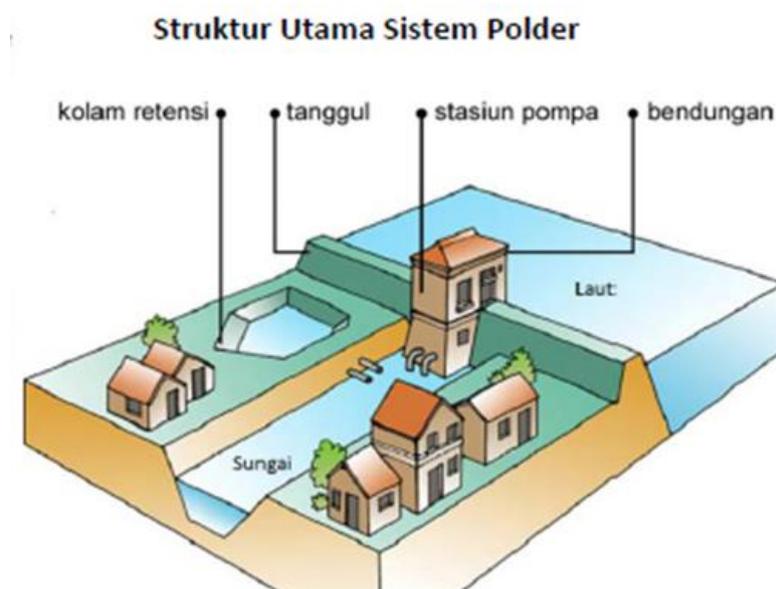
Dari gambar 4.38 terlihat bahwa zona area yang tergenang diperuntukkan untuk area pemukiman, industri, transportasi, bandara udara, terminal, pendidikan, pemakaman umum, pertanian, kesehatan. Hampir semua kategori peruntukkan zona berada dalam wilayah area tergenang.

Namun pemodelan area tergenang ini mengesampingkan tindak mitigasi yang telah dilakukan oleh pihak pemerintah Kota Semarang. Dari survey data in situ terlihat bahwa pihak pemerintah Kota Semarang telah melakukan upaya berupa pembangunan sistem polder, rumah pompa, kolam retensi, tanggul, pembangunan bangunan pemecah gelombang, pemindahan bangunan pada area tergenang permanen. Tindak mitigasi bencana tersebut, berpengaruh cukup signifikan dalam mengurangi area tergenang yang ada pada pesisir Semarang. Hal tersebut dituturkan oleh narasumber dalam penelitian ini, Bapak Ir. Hariyadi, M.T.

Sistem polder yang dikembangkan oleh pihak pemerintah Kota Semarang adalah cara penanganan banjir rob dengan bangunan fisik yang meliputi sistem drainase, kolam retensi, tanggul yang mengelilingi kawasan, serta pembangunan pompa air.

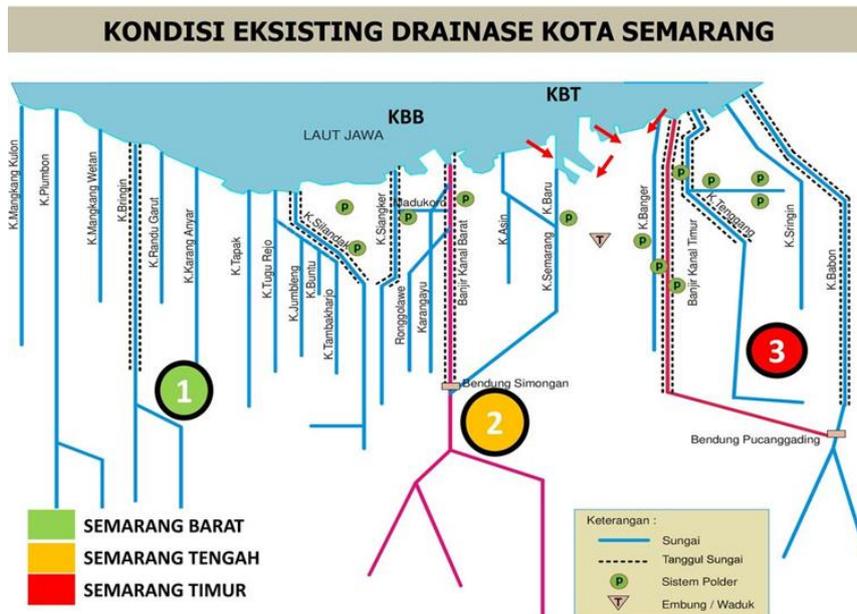


Gambar 4. 39 Polder Semarang



Gambar 4. 40 Ilustrasi Sistem Polder (Sumber : girisatrio08.wordpress.com)

Gambar 4.40 menunjukkan ilustrasi mengenai bangunan sistem polder sebagaimana yang dibangun oleh pihak Kota Semarang.



Gambar 4. 41 Kondisi Eksisting Drainase Kota Semarang (Sumber : www.pupr.go.id)

Gambar diatas menunjukkan kondisi drainase kota Semarang yang meliputi beberapa sistem polder dan 3 Banjir Kanal di DAS Barat, Timur, dan Kali Babon. Sementara untuk penanganan permanen, sejak tahun 2017, Kementerian PUPR melalui BBWS Pemali Juana bekerjasama dengan Pemerintah Kota Semarang tengah menyelesaikan beberapa infrastruktur pengendali banjir.

Lokasi kegiatan Detail Desain Tanggul Laut Rob Semarang adalah pada wilayah Kota Semarang Timur Batas Lokasi Kegiatan adalah sebagai berikut :

- Bagian Utara dibatasi oleh Laut Jawa
- Bagian Timur dibatasi oleh Sungai Babon
- Bagian Selatan dibatasi oleh Sungai Pedurungan
- Bagian Barat dibatasi oleh KBT dan Jalan Tol

Diantaranya pembangunan tanggul sepanjang 2.170 meter, normalisasi dan perbaikan parapet Kali Tenggang dan Sringin, pembuatan kolam retensi Banjardowo berkapasitas 30.000 m<sup>3</sup>, pembuatan kolam retensi Kaligawe berkapasitas 66.000 m<sup>3</sup>, pembuatan pintu muara Kali Tenggang dan pompa kapasitas 6 x 2 m<sup>3</sup>/detik, pembuatan pintu muara Kali Sringin dan pompa kapasitas 5 x 2 m<sup>3</sup>/detik. Sebelumnya tahun 2016, Kementerian PUPR telah menyelesaikan Polder Banger sehingga banjir dan rob di

Pelabuhan Semarang hingga Semarang Tengah relatif bisa tertangani. (PUPR Semarang, 2017)



Gambar 4. 42 Kolam Retensi Kota Semarang terbangun

Pusat Litbang SDA (2002) dalam analisisnya menyimpulkan bahwa pada daerah rendah yang topografinya relatif landai, saluran-saluran yang ada sulit mengalirkan air, sehingga perlu adanya sistem pompa, akan tetapi saluran drainase dan sistem pompa pada kenyataannya di lapangan tidak dapat mengikuti perkembangan kota. Hal ini disebabkan oleh:

- a. Ada beberapa saluran drainase yang merupakan alih fungsi dari saluran irigasi, sehingga arah aliran menjadi terbalik, dan dimensi saluran dari hulu ke hilir bertolak belakang karena masih seperti fungsi awalnya. sebagai contoh terjadi pada beberapa Sub Sistem Drainase di Tawang Mas
- b. Sistem drainase yang pengeluarannya tidak berfungsi dengan baik, sehingga air berputar-putar tidak bisa langsung keluar, contohnya: pada Sub Sistem Anjasmoro dan Karang Ayu. Aliran air yang berputar akibat buka tutup pintu air sering kali menimbulkan konflik dalam masyarakat.
- c. Pengadaan pompa dan saluran yang hanya menyelesaikan permasalahan sesaat, hanya setempat dan tidak menyeluruh, contohnya pada Sub Sistem Kota Lama.
- d. Adanya land subsidence yang tidak merata memperparah keadaan. Kondisi terparah adalah di daerah Banger, dan di bagian hilir Banjir Kanal Barat.

Sistem drainase yang buruk menjadi penyebab utama banjir di Kota Semarang, dimana kondisi banjir sebagian besar disebabkan oleh kurangnya saluran drainase, menumpuknya sampah pada saluran air, juga pembangunan yang mengganggu saluran drainase. Hal ini terjadi terutama di kota-kota dengan tingkat pembangunan tinggi dan berada di kawasan pesisir seperti Kota Semarang. Guna memperbaiki kondisi tersebut serta mengantisipasi kemungkinan terjadinya permasalahan banjir dan rob yang semakin kompleks, maka diperlukan penanganan secara permanen agar banjir dan rob bisa ditanggulangi secara jangka panjang.

Merangkum dari berita linimasa dan survei data insitu, masih terjadi genangan di beberapa area. Menurut narasumber saat dilakukan survei data insitu, genangan tersebut sudah jauh berkurang dibandingkan sebelumnya. Sehingga masih perlu dilakukan pengoptimalan lagi terkait tindakan mitigasi bencana yang telah dilakukan oleh pihak Kota Semarang seperti menambah lokasi rumah pompa, pengoptimalan pengelolaan daerah aliran sungai, pembangunan tanggul-tanggul pemecah gelombang. Namun tindak mitigasi tersebut sangat perlu dilakukan oleh kedua belah pihak yakni pemerintah dan masyarakat. Masyarakat dalam hal ini sebaiknya mengurangi sampah, membuang sampah pada tempatnya sehingga sistem drainase tidak terganggu, begitupun dengan para pelaku industri yang biasanya melakukan pembuangan limbah di sungai.



Gambar 4. 43 Genangan Air di Kecamatan Genuk pada Desember 2019



Gambar 4. 44 Genangan Air di sekitar Terminal Terboyo pada 8 Januari 2020

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

Setelah dilakukan penelitian, maka didapat kesimpulan sebagaimana berikut ini :

1. Parameter yang paling berperan dalam membentuk kerentanan pesisir Kota Semarang adalah parameter elevasi, kondisi pasang surut, geomorfologi, tinggi gelombang dan kenaikan permukaan air laut. Elevasi pesisir Semarang sangatlah landai dengan kondisi geomorfologi yang dibentuk oleh endapan aluvial dan pasir. Dan nilai tunggang pasang surut berada pada nilai 0,9 meter yang apabila diproyeksikan terhadap tabel CVI berada pada kategori sangat rentan. Hal tersebut dibuktikan dengan terjadinya banjir rob apabila sedang kondisi pasang. Laju kenaikan permukaan air laut perairan Semarang mencapai 5,1mm/tahun sehingga berada pada kategori sangat rentan. Begitupun dengan kondisi tinggi gelombang yang berada pada kategori sangat rentan dikarenakan bidang deliniasi pembangkitan gelombang di utara Kotara Semarang yang berada pada tingkat maksimum yaitu 200 km.
2. Dari pengolahan pemodelan area tergenang untuk 100 tahun kedepan, didapat hasil bahwa area yang mungkin tergenang adalah Kecamatan Tugu, Semarang Barat, Semarang Utara, Genuk, Semarang Timur, dan Gayamsari. Area yang tergenang adalah berkisar 11.380 hektar, dengan luasan terbangun yang tergenang adalah 6087,012 hektar dan taksiran biaya kerugian mencapai 284 milyar. Namun hitungan tersebut dengan mengabaikan kondisi eksisting Kota Semarang yang saat ini sudah melakukan tindak mitigasi bencana dengan membangun rumah pompa, kolam retensi, pembuatan tanggul di banyak titik untuk mereduksi daerah terdampak banjir rob.
3. Kondisi eksisting pada pesisir Semarang memiliki densitas lahan terbangun yang sangat padat apabila dibandingkan dengan daerah dengan elevasi yang lebih tinggi. Densitas lahan terbangun yang sangat tinggi tersebut memperparah terjadinya penurunan muka tanah yang mencapai 19 cm pada setiap tahunnya. Dari kondisi eksisting Semarang, zona dengan wilayah sangat rentan masih digunakan untuk kawasan pendidikan, industri, pemukiman, bandar udara,

konservasi, pendaratan ikan, tambak, dan lahan pertanian. Namun menanggapi hal tersebut, pihak pemerintah Kota Semarang sudah melakukan tindakan mitigasi berupa pembangunan kolam retensi penampungan air, tanggul, pompa air, pengelolaan daerah aliran sungai, dan pemindahan bangunan pada lahan banjir permanen. Dan melalui survei data insitu yang dilakukan, ditarik kesimpulan bahwa tindakan mitigasi yang dilakukan telah berdampak sangat baik dalam mengurangi genangan yang diakibatkan oleh kondisi pasang ataupun curah hujan yang tinggi meskipun hingga saat ini masih terdapat area tergenang yang diakibatkan oleh curah hujan ataupun kondisi pasang air laut.

Sementara saran yang dapat ditulis setelah melakukan penelitian ini adalah :

1. Dengan kondisi fisik pesisir Semarang yang sangat rentan, pihak Kota Semarang sebaiknya tetap mengoptimalkan tindakan mitigasi yang telah berjalan. Pengoptimalan mencakup perawatan kolam retensi, tanggul, rumah pompa, dan daerah aliran sungai, agar genangan dapat semakin tereduksi. Selain itu perlu dioptimalkan lagi terkait partisipasi dari masyarakat dengan tidak membuat sampah di sungai, mengolah limbah, agar tidak terjadi pemburukan sistem drainase yang diakibatkan oleh penyumbatan saluran akibat sampah.
2. Untuk zona dengan kerentanan sangat tinggi dan terancam tergenang menurut permalan area tergenang tahun 2118, yang masih difungsikan sebagai zona pemukiman dan perindustrian baiknya dialih fungsikan sebagai zona konservasi sebagaimana yang telah dilakukan oleh pihak Semarang sebelumnya dalam memindahkan bangunan pada lahan banjir permanen.
3. Menyikapi kondisi lahan terbangun yang sangat padat pada pesisir Semarang, sebaiknya pemerintah Kota Semarang segera memindahkan bangunan pada lahan yang lebih aman atau setidaknya tidak memberikan izin terkait izin mendirikan bangunan pada lahan yang sangat rentan. Hal tersebut juga didukung dengan kondisi laju penurunan muka tanah pesisir Semarang yang sangat tinggi sehingga memicu penurunan elevasi bangunan secara berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., Sidiq, T. P., & Fukuda, Y. (2013). Land subsidence in coastal city of Semarang (Indonesia): Characteristics, impacts and causes. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 4(3), 226–240. <https://doi.org/10.1080/19475705.2012.692336>
- Affandi, I. D., & Taufik, I. M. (2011). ANALISA PERUBAHAN MUKA AIR LAUT ( SEA LEVEL RISE ) TERKAIT DENGAN FENOMENA PEMANASAN GLOBAL ( GLOBAL WARMING ) ( Studi Kasus : Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya ).
- Ali, M. (2012). Kerugian Bangunan Perumahan Akibat Rob dan Arah Kebijakan Penanganannya Di Kelurahan Bandarharjo Kota Semarang. Tesis.
- Arief, M., & Winarso, G. (2011). Kajian Perubahan Garis Pantai Menggunakan Data Satelit Landsat Di Kabupaten Kendal. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 8(January), 71–80.
- Ariyanta, E. W., Wahyudi, & Sambodho, K. (2007). Studi Naiknya Muka Air Laut Di Kawasan Pesisir Semarang. *Its*, 1(1), 1–10.
- Braakmann-Folgmann, Anne, Ribana Roscher, Susanne Wenzel, Bernd Uebbing dan Jurgen Kusche. (2017). Sea Level Anomaly Prediction Using Recurrent Neural Networks. University of Bonn arXiv:1710.07099v1.
- Carter, R. (1988). *Coastal Environments*. London: Academic Press
- Church, Clark, Cazenave (2013). Sea-Level Rise by 2100
- Cipollini, Paolo, Calafat, F. M., Jevrejeva, S., Melet, A., dan Prandi, P. (2017). Monitoring Sea Level in the Coastal Zone with Satellite Altimetry and Tide Gauges. *Surveys in Geophysics* 38(1): 33–57. DOI: 10.1007/s10712-016-9392-0.

- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, L. W. (2003). Cutter. Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, Vol. 84, pp. 242–261.
- Dahuri, R. (2001). Pengelolaan ruang wilayah pesisir dan lautan seiring dengan pelaksanaan otonomi daerah.
- Dahuri, R., Rais, J., Ginting, S. P., & Sitepu, M. J. (2008). Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Dean, R. S., & Dalrymple, R. A. (2002). *Coastal Processes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ekaputri, D., Pratiwi, R. A., Kandia, P., Ramadhanny, N., & Poetri, H. (n.d.). Pemantauan Kenaikan Muka Air Laut dengan Satelit Altimetri, (15108012).
- Gornitz, V., and Kanciruk, P. *Assessment of global coastal hazards from sea level rise*. United States: N. p., (1989). Web.
- Hamuna, B., Sari, A. N., & Alianto, A. (2018). Kajian Kerentanan Wilayah Pesisir Ditinjau dari Geomorfologi dan Elevasi Pesisir Kota dan Kabupaten Jayapura, Provinsi Papua. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 6(1)
- Handoko, E. Y. (2004). Satelit Altimetri Dan Aplikasinya Dalam Bidang Kelautan, 137–144.
- Handoko, E., Fernandes, M., & Lázaro, C. (2017). Assessment of Altimetric Range and Geophysical Corrections and Mean Sea Surface Models—Impacts on Sea Level Variability around the Indonesian Seas. *Remote Sensing*, 9(2), 102. doi:10.3390/rs9020102
- Hearn (1999). Wave-breaking hydrodynamics within coral reef systems and the effect of changing relative sea level, *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 1043(C12):30007-3002
- Islam, L. J. F., Prasetyo, Y., & Sudarsono, B. (2017). Analisis Penurunan Muka Tanah (Land Subsidence) Kota Semarang Menggunakan Citra Sentinel-1 Berdasarkan

Metode DInSAR pada Perangkat Lunak SNAP. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 6(April), 29–36.

- Karunia (2017). Estimasi Kerugian Ekonomi Masyarakat akibat Banjir Rob di Pemukiman Kecamatan Genuk Kota Semarang. IPB.
- Kumar, T. S., Beach, W. P., Mahendra, R. S., Nayak, S., Radhakrishnan, K., & Sahu, K. C. (2010). *Coastal Vulnerability Assessment for Orissa State , East Coast of India*. 523–535. <https://doi.org/10.2112/09-1186.1>
- Lapan, A. N. (2015). Analisis Pola Perubahan Garis Pantai Pesisir Semarang dan Sekitarnya Berdasarkan Citra Satelit Landsat Multitemporal, (Noor 2006), 753–763.
- Marfai, M. A., Pratomoatmojo, N. A., Hidayatullah, T., Nirwansyah, A. W., & Gomareuzzaman, M. (2011). Model Kerentanan Wilayah Pesisir Berdasarkan Perubahan Garis Pantai dan Banjir Pasang (Studi Kasus : Wilayah Pesisir Pekalongan).
- Moko, G. I., & Wiweka. (2012). Evaluasi Perubahan Lingkungan Wilayah Pesisir Surabaya Timur Sidoarjo Dengan Menggunakan Citra Satelit Multitemporal. *Ecolab*, 6(1), 23–37.
- National Research Council. (1987). *Management of Technology: The Hidden Competitive Advantage*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18890>.
- Nerem, R.S., M. Ablain, A. Cazenave, John Church, dan Eric Leuliette. 2001. A 25-Year Satellite Altimetry-Based Global Mean Sea Level Record. In *Satellite Altimetry over Oceans and Land Surfaces*, eds. Detlef Stammer and Anny Cazenave. Boca Raton: CRC Press, 187-209 ISBN-13 978-1-4987-4345-47.
- NOAA. 2018. Monthly Sea Level Anomalies. Revised 8 August 2018. <https://tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/anomaly/mapmonth.html>

- Pendleton, E. A., Thieler, E. R., & Williams, S. J. (2005). Coastal Vulnerability Assessment of Gateway National Recreation Area (GATE) to Sea Level Rise. Retrieved from Virginia, USA.
- Ramadhany, A. S., Ds, A. A., & Subardjo, P. (2012). Daerah Rawan Genangan Rob di Wilayah Semarang. *Journal Of Marine Research*, 1, 174–180. Retrieved from <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jmr>
- Ristianto. (2011). Kerentanan Wilayah Pesisir Terhadap Kenaikan Muka Laut (Studi Kasus Wilayah Pesisir Utara Jawa Barat), xiii+122. Anthoni, D. J. (2000). *Oceanography : Dunes and Beaches*. Dipetik 08 23, 2018, dari Seafriends: <http://www.seafriends.org.nz/oceano/beach.html>
- Rositasari, R., Setiawan, W. B., Supriadi, I. H., Hasanuddin, & Prayuda, B. (2011). Kajian dan Prediksi Kerentanan Pesisir Terhadap Perubahan Iklim: Studi Kasus di Pesisir Cirebon. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 3(1), 52–64.
- Safitri, F., Suryanti, S., & Febrianto, S. (2019). Analisis Perubahan Garis Pantai Akibat Erosi Di Pesisir Kota Semarang. *Geomatika*, 25(1), 37. <https://doi.org/10.24895/jig.2019.25-1.958>
- Satriadi, A. (2017). Peramalan Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan Di Perairan Dangkal (Studi Kasus Perairan Semarang). *Buletin Oseanografi Marina*, 6(1), 17. <https://doi.org/10.14710/buloma.v6i1.15737>
- Sihombing, W. ., Suntoyo, & Sambodho, K. (2012). Kajian Kenaikan Muka Air Laut di Kawasan. *Jurnal Teknik ITS*, 1, 6–9.
- Suhelmi. (2012). Kajian dampak land subsidence terhadap peningkatan luas genangan rob di Kota Semarang: Impact of land subsidence on inundated area extensivication at Semarang City. *Ilmiah Geomatika*, 18(1), 9–16.
- Susanto, K. E., & Mardiatno, D. (2010). Proyeksi Kenaikan Permukaan Laut dan Dampaknya Terhadap Banjir Genangan Kawasan Pesisir.

Triatmodjo (1999). Teknik Pantai. Yogyakarta : Beta Offset

UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 24 TAHUN 2007  
TENTANG PENANGGULANGAN BENCANA

USGS. (t.thn.). *Landsat 8 Band Designations*. Dipetik 08 30, 2018, dari USGS: Van Bemelen, R. (1949). *The Geology of Indonesia Vol IA, General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes, 2nd. Netherland*.

Wibowo, Y. A. (2012). *Dinamika Pantai (Abrasi dan Sedimentasi)*. Universitas Hang Tuah , Oseanografi, Surabaya.

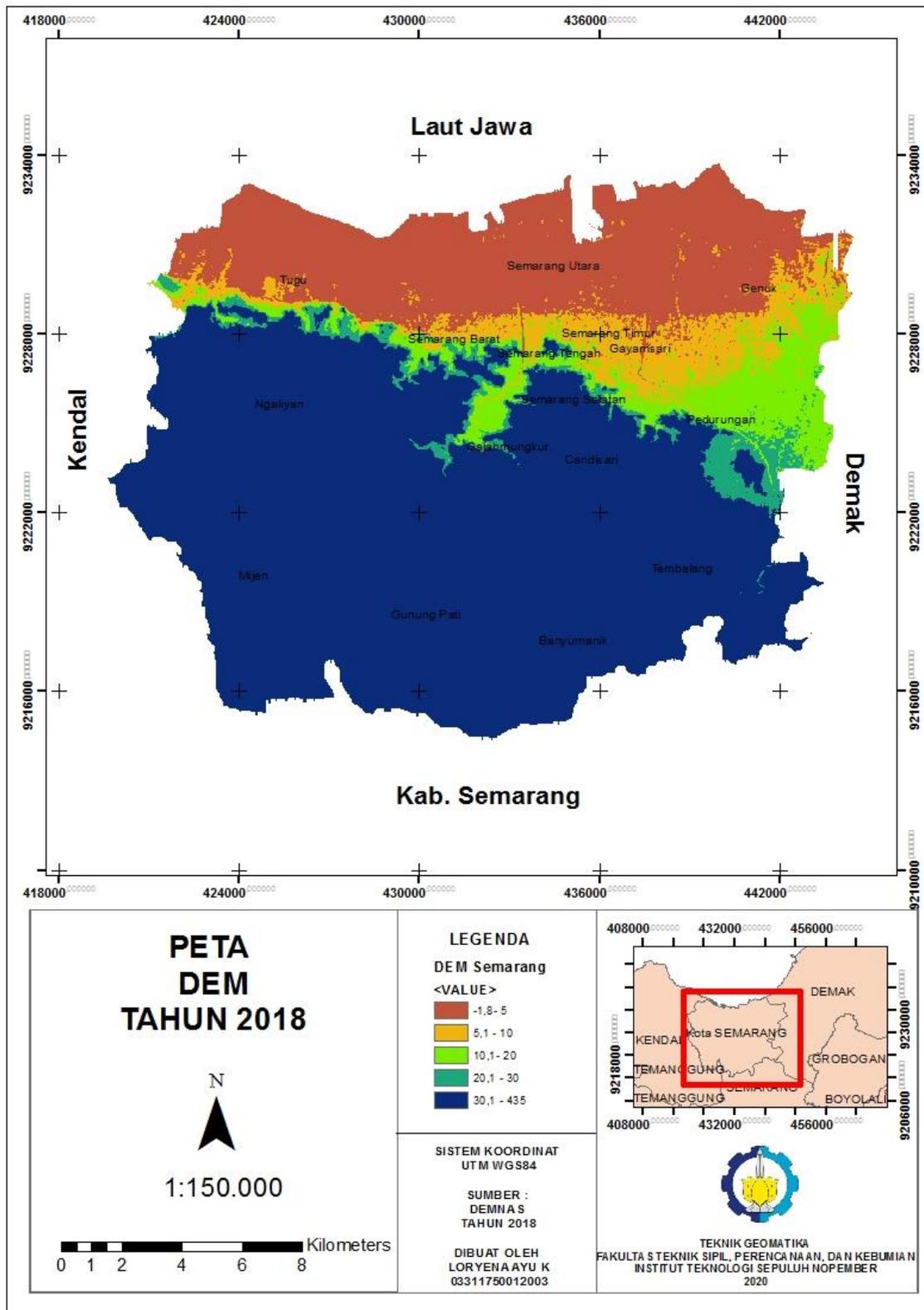
<https://www.wwf.or.id/?29541/Laporan-IPCC-ke-5-Kelompok-Kerja-I> diakses pada tanggal 8 Januari 2020 06.59

<https://www.pupr.go.id> diakses pada tanggal 8 Januari 2020 06.59

<https://www.pupr.go.id>. Banjir Rob Genangi Semarang. Angling Adhitya Purbaya – detikNews (2017). diakses pada tanggal 8 Januari 2020 06.59

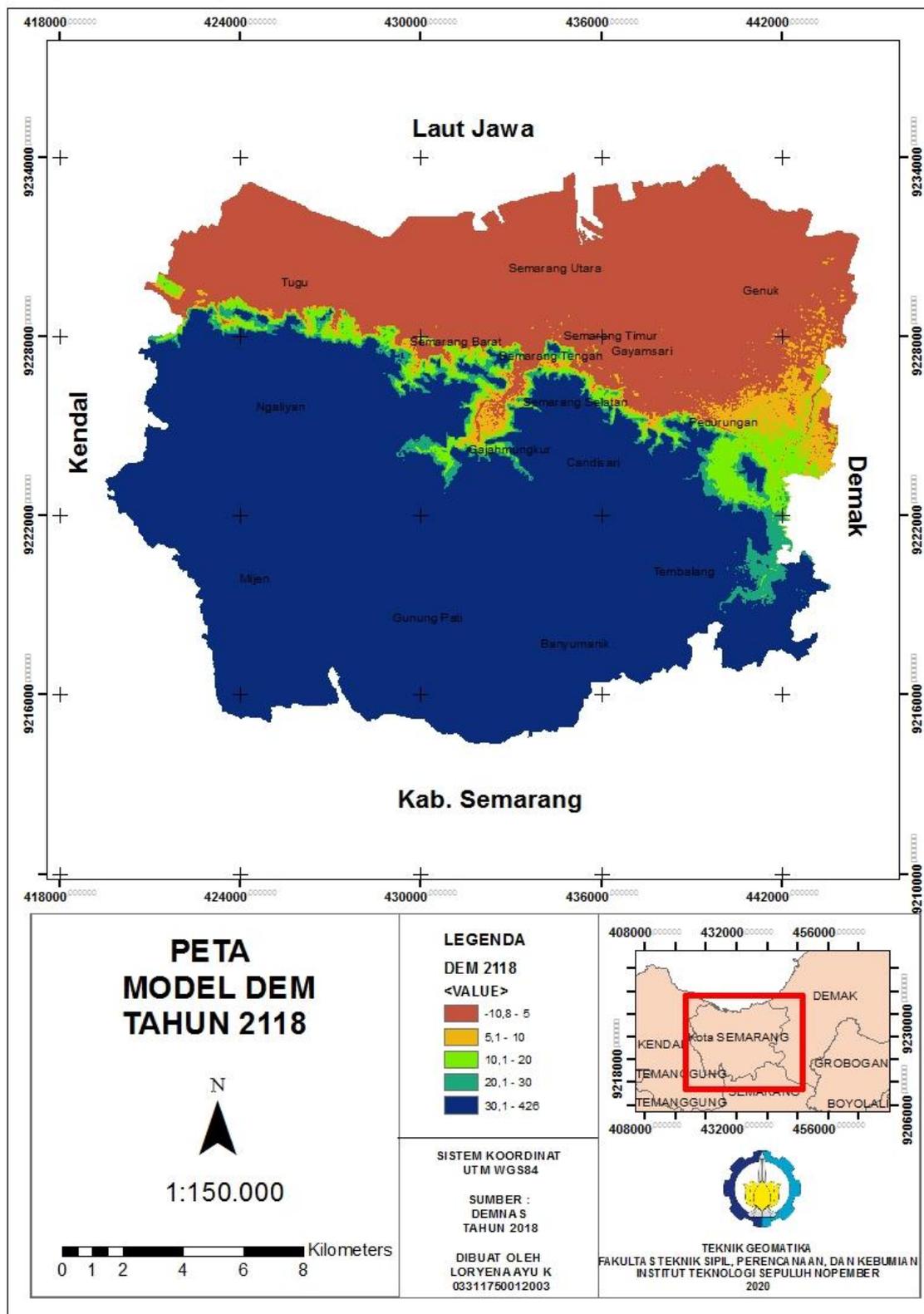
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# LAMPIRAN



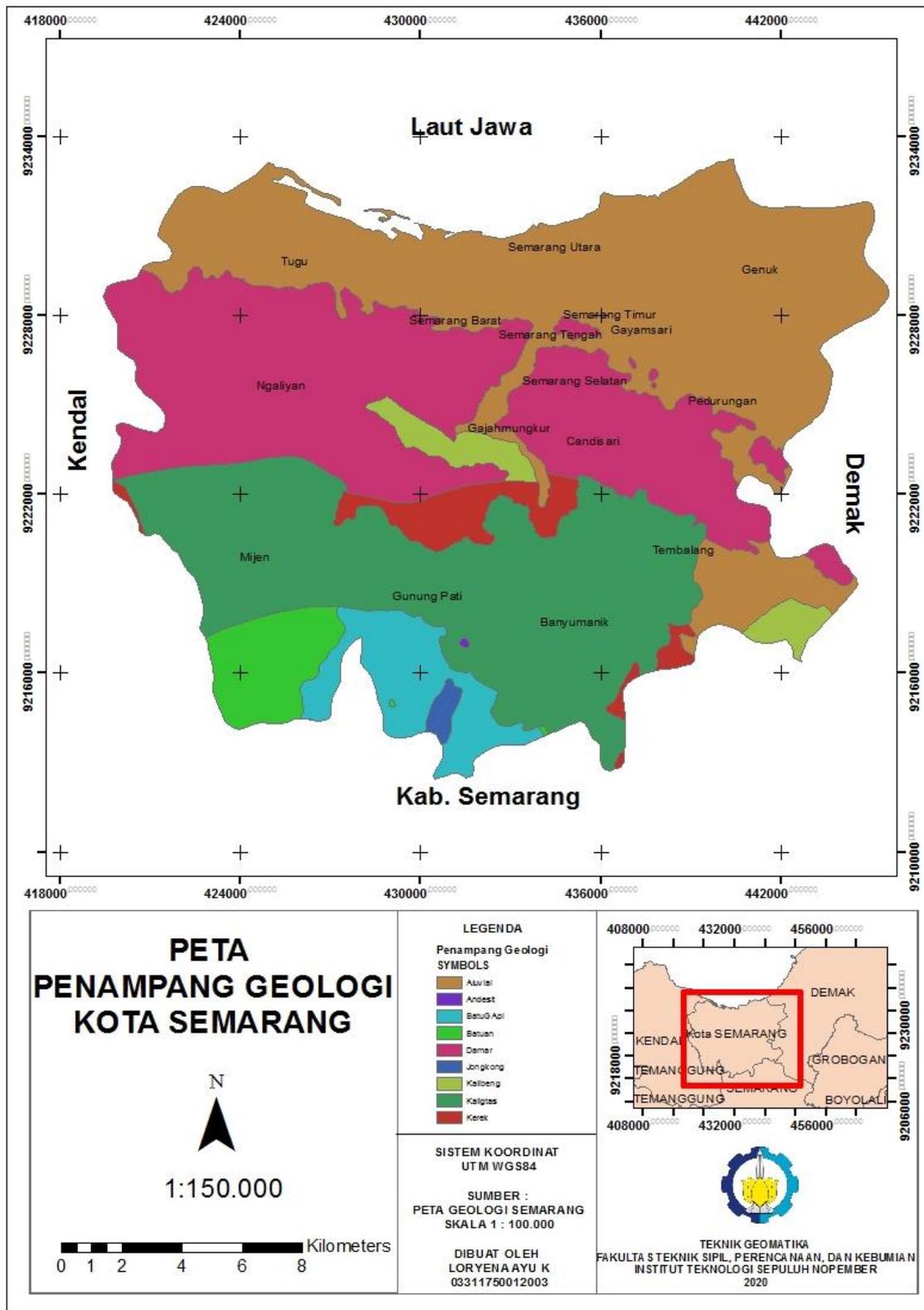
DEM Semarang Tahun 2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



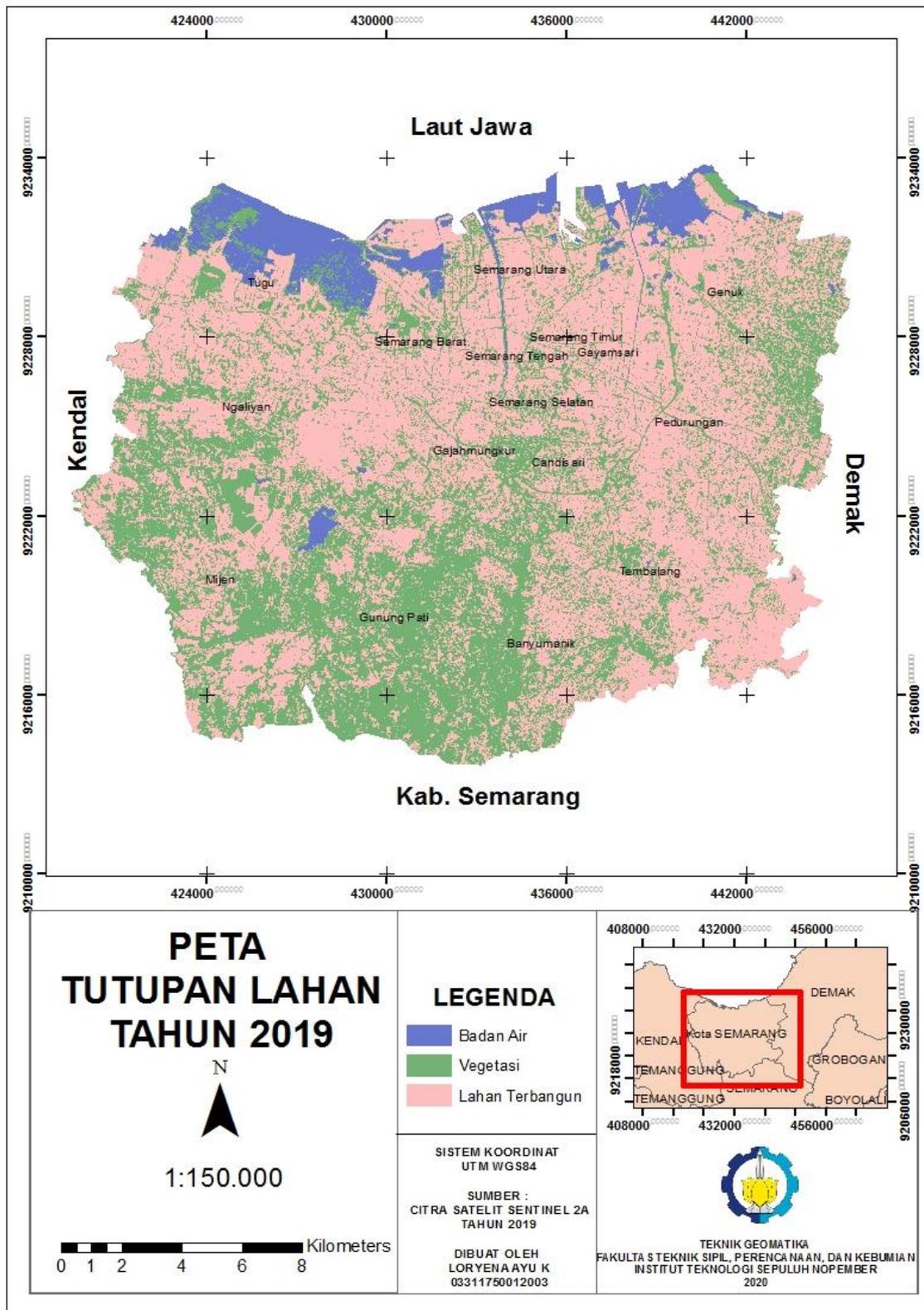
Peta Pemodelan DEM Semarang Tahun 2118

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



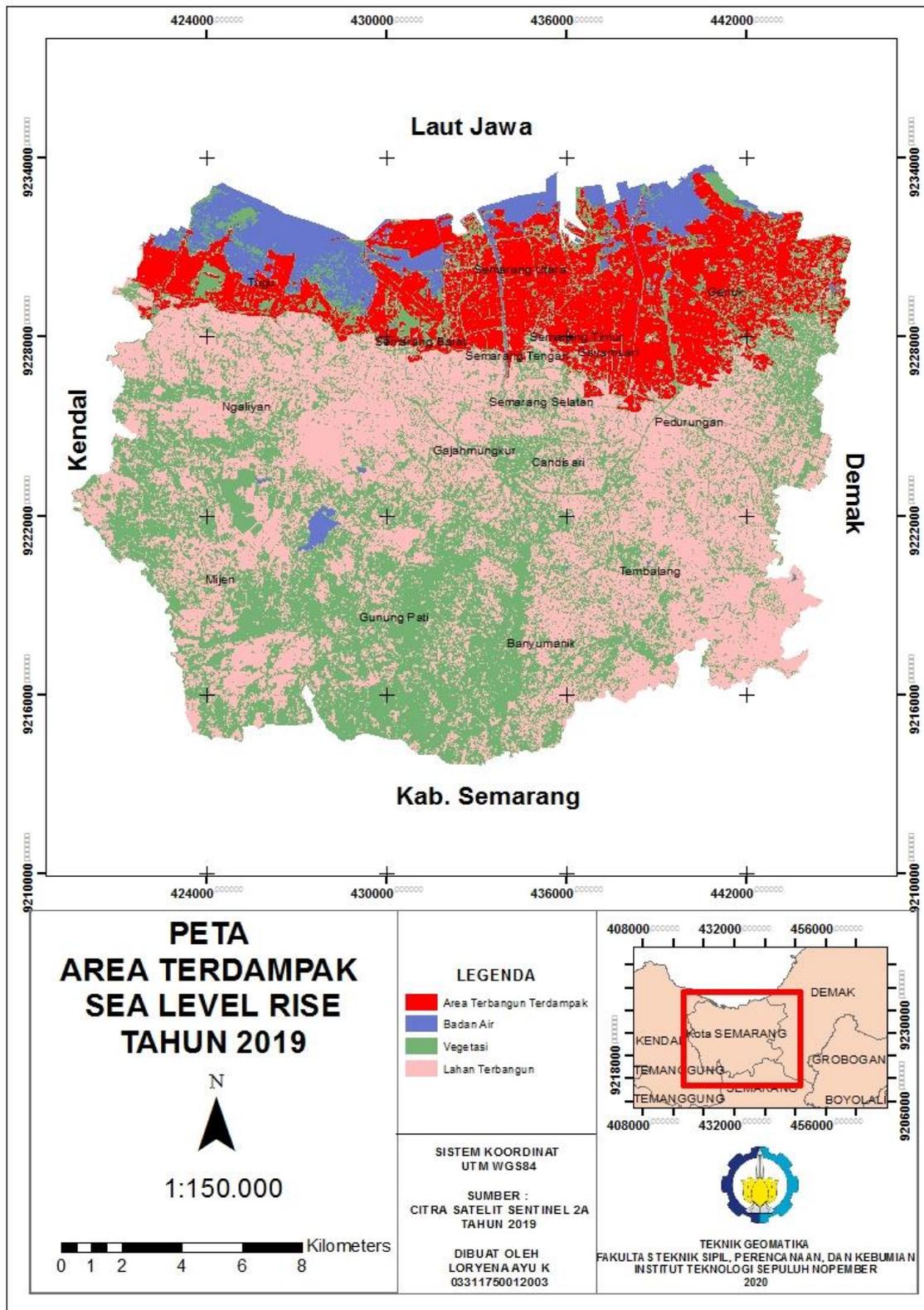
Peta Penampang Geologi Kota Semarang

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



Peta Tutupan Lahan Kota Semarang Tahun 2019

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



Peta Overlay Lahan Terbangun dengan Area Tergenang

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



Rumah terdampak penurunan muka tanah



Pabrik Terdampak Rob dan penurunan muka tanah

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



Rumah Terdampak penurunan muka tanah sehingga elevasi jalan berada diatas elevasi rumah



Bangunan terdampak rob

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



Rumah Pompa Semarang



Rumah Pompa Bulu Drain

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



Mercusuar yang terbangun sejak abad 18 dan terdampak penurunan permukaan tanah hampir 2 meter.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



Dokumentasi Survey Data In situ

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



Penulis Loryena Ayu Karondia, lahir di Kabupaten Kebanjahe pada tanggal 12 September 1993. Penulis merupakan anak kedua dari 4 bersaudara. Penulis menjalani pendidikan formal di TK Kuncup Harapan Bogor, SD Kesatuan Bogor, SMPN 6 Kediri, dan SMAN 1 Kediri. Sebelum melanjutkan jenjang magister, terlebih dahulu penulis menyelesaikan jenjang sarjana di Jurusan Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama di jenjang sarjana, penulis aktif dalam kegiatan himpunan mahasiswa geomatika (Himage) sebagai sekretaris divisi bidang Kewirausahaan juga aktif dalam BEM Fakultas sebagai anggota Departemen Seni dan Olahraga. Pada saat jenjang sarjana, penulis memiliki ketertarikan dalam bidang penelitian penginderaan jauh khususnya dalam perairan dan menyelesaikan tugas akhir dengan judul “VALIDASI ALGORITMA ESTIMASI *TOTAL SUSPENDED SOLID* DAN *CHL-A* MENGGUNAKAN CITRA SATELIT AQUA MODIS DAN TERRA MODIS DENGAN DATA INSITU (Studi Kasus : Laut Utara Pulau Jawa)”. Sementara dalam jenjang magister, penulis lebih berkecimpung dalam penelitian terkait pesisir, oseanografi, dan penginderaan jauh dan menyelesaikan thesis dengan judul “STUDI KERENTANAN WILAYAH PESISIR UTARA PULAU JAWA SEBAGAI DAMPAK KENAIKAN PERMUKAAN LAUT (Studi Kasus : Pesisir Semarang). Penulis dapat dihubungi melalui email [loryenayu@gmail.com](mailto:loryenayu@gmail.com).

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*