

**PERAN PERENCANAAN TATA RUANG DALAM MENGURANGI
DAMPAK KENAIKAN PERMUKAAN LAUT DI PROVINSI LAMPUNG**

(Tesis)

Oleh

**ANDRE VANBUDI
NPM 2220051016**



**PROGRAM STUDI MAGISTER PERENCANAAN WILAYAH DAN KOTA
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PERAN PERENCANAAN TATA RUANG DALAM MENGURANGI DAMPAK KENAIKAN PERMUKAAN LAUT DI PROVINSI LAMPUNG

Oleh

ANDRE VANBUDI

Perubahan iklim yang memicu kenaikan muka air laut global merupakan ancaman serius bagi wilayah pesisir, termasuk Provinsi Lampung. Dampak kumulatifnya diperparah oleh faktor lokal seperti penurunan permukaan tanah. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) Memetakan penurunan permukaan tanah di Provinsi Lampung, (2) Memproyeksikan area genangan akibat kenaikan muka air laut, dan (3) Mengkaji peran rencana tata ruang dalam mengurangi dampak dan estimasi kerugian ekonomi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas wilayah yang mengalami penurunan tanah ($1.383,25 \text{ km}^2$) lebih besar daripada yang mengalami kenaikan ($873,83 \text{ km}^2$), dengan penurunan ekstrem terjadi di Lampung Timur dan Lampung Selatan. Pada skenario kenaikan muka air laut SSP2-4.5 tahun 2043 ($0,1492 \text{ m}$), total $267,60 \text{ km}^2$ area diproyeksikan tergenang, terutama di Kabupaten Tulang Bawang dan Lampung Timur. Analisis lebih lanjut mengungkapkan bahwa kebijakan tata ruang yang berlaku justru meningkatkan kerentanan ekonomi secara keseluruhan terhadap ancaman ini, meskipun dampaknya bervariasi di setiap kabupaten. Temuan ini menyoroti perlunya peninjauan ulang kebijakan tata ruang yang lebih responsif terhadap risiko iklim untuk memitigasi kerugian ekonomi di masa depan.

Kata kunci: Perubahan Iklim, Kenaikan Muka Air Laut, Penurunan Tanah, Genangan, Tata Ruang, Provinsi Lampung.

ABSTRACT

PERAN PERENCANAAN TATA RUANG DALAM MENGURANGI DAMPAK KENAIKAN PERMUKAAN LAUT DI PROVINSI LAMPUNG

By

ANDRE VANBUDI

Climate change-induced global sea level rise poses a serious threat to coastal areas, including Lampung Province, Indonesia. Its cumulative impact is exacerbated by local factors such as land subsidence. This study aims to: (1) Map land subsidence in Lampung Province, (2) Project the inundation area due to sea level rise, and (3) Assess the role of spatial planning in reducing impacts and estimating economic losses. The results indicate that the area experiencing land subsidence (1,383.25 km²) is larger than the area experiencing uplift (873.83 km²), with extreme subsidence occurring in East Lampung and South Lampung. Under the SSP2-4.5 sea level rise scenario for 2043 (0.1492 m), a total of 267.60 km² of area is projected to be inundated, primarily in Tulang Bawang and East Lampung regencies. Further analysis reveals that the current spatial planning policy actually increases the overall economic vulnerability to this threat, although its impact varies across regencies. These findings highlight the need for a review of spatial policies to be more responsive to climate risks in order to mitigate future economic losses.

Key words: Climate Change, Sea Level Rise, Land Subsidence, Inundation, Spatial Planning, Lampung Province.

**PERAN PERENCANAAN TATA RUANG DALAM MENGURANGI
DAMPAK KENAIKAN PERMUKAAN LAUT DI PROVINSI LAMPUNG**

Oleh

ANDRE VANBUDI

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER PERENCANAAN WILAYAH DAN KOTA
Pada**

**Program Studi Magister Perencanaan Wilayah dan Kota
Program Pascasarjana Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI MAGISTER PERENCANAAN WILAYAH DAN KOTA
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Tesis

: PERAN PERENCANAAN TATA RUANG
DALAM MENGURANGI DAMPAK
KENAIKAN PERMUKAAN LAUT DI
PROVINSI LAMPUNG

Nama Mahasiswa

: Andre Vanbudi

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2220051016

Program Studi

: Magister Perencanaan Wilayah dan Kota

Fakultas

: Program Pascasarjana Multidisiplin

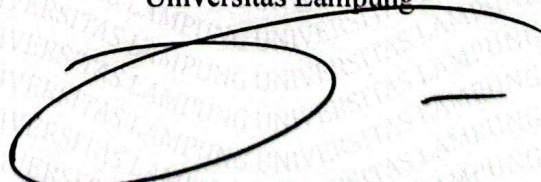
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Prof. Dr. Ir. M. Irfan Affandi, M.Si.
NIP. 19640724 198902 1 002


Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.
NIP. 19750515/200212 1 007

2. Koordinator Program Studi Magister Perencanaan Wilayah dan Kota
Universitas Lampung


Prof. Dr. Ir. M. Irfan Affandi, M.Si.
NIP. 19640724 198902 1 002

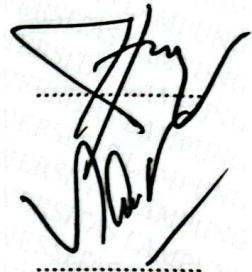
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr. Ir. M. Irfan Affandi, M.Si.



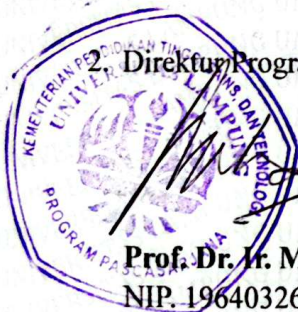
Sekretaris : Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.



Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Abdullah Aman Damai, M.Sc.



Anggota : Prof. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si.



2. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP. 19640326 198902 1 001

Tanggal Lulus Ujian Tesis: 08 Januari 2026

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tesis dengan judul **“PERAN PERENCANAAN TATA RUANG DALAM MENGURANGI DAMPAK KENAIKAN PERMUKAAN LAUT DI PROVINSI LAMPUNG”** adalah karya saya sendiri tidak melakukan penjiplakan ataupun pengutipan atas karya penulisan lain dengan cara tidak sesuai etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik ataupun yang biasa disebut *plagiarism*.
2. Hal intelektual atas karya ini akan diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya, saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 08 Januari 2026
Yang membuat pernyataan,




Andre Vanbudi
NPM. 2220051016

RIWAYAT HIDUP

Andre Vanbudi lahir di Sridadi pada tanggal 13 Agustus 1999. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dengan adik laki-laki bernama Rico Plan Kanova, merupakan anak kandung dari pasangan Bapak Agung Budiman dan Ibu Nimsiyati. Saat ini, penulis berdomisili di Jalan Ahmad Yani, Kalisari, Wonosobo, Kabupaten Tanggamus, Lampung.

Pendidikan formal penulis dimulai di TK PGRI 1 Wonosobo, kemudian dilanjutkan ke SD Negeri 2 Banjar Negro (lulus tahun 2011), dilanjutkan ke SMP Negeri 2 Wonosobo (lulus tahun 2014), dan SMA Negeri 1 Kotaagung (lulus tahun 2017). Pada tahun 2022, penulis menyelesaikan pendidikan jenjang Sarjana (S1) dan meraih gelar Sarjana (S.Si) pada Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Lampung.

Pada tahun 2022, penulis melanjutkan studi pada Program Studi Magister Perencanaan Wilayah dan Kota di Universitas Lampung. Sebagai syarat kelulusan, penulis menyusun tesis yang berjudul “Peran Perencanaan Tata Ruang dalam Mengurangi Dampak Kenaikan Permukaan Laut di Provinsi Lampung”.

MOTTO

"A'udzubillah himinas syaitonirrojim bismillahirrohmanirrohim"

"Aku berlindung kepada Allah dari setan yang terkutuk, dengan menyebut nama
Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang."

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya, tesis ini saya persembahkan kepada pembaca yang membutuhkan informasi dari karya ini.

SANWACANA

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillahirabbil Alamin segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayat, inayah dan keberkahan-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Peran Perencanaan Tata Ruang dalam Mengurangi Dampak Kenaikan Permukaan Laut di Provinsi Lampung”. Penulis menyadari dalam penyelesaian tesis ini tidak akan dapat terealisasi dan terwujud dengan baik tanpa adanya dukungan, bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada kesempatan ini dengan segala ketulusan hati penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si. selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung.
3. Prof. Dr. Ir. Muhammad Irfan Affandi, M.Si. selaku Ketua Program Studi Magister Perencanaan Wilayah dan Kota sekaligus dosen pembimbing utama atas ketulusan hati serta memiliki kesabaran dalam memberikan arahan, bimbingan, masukan, motivasi, saran, nasehat, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama proses penyempurnaan tesis.
4. Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T. selaku dosen pembimbing kedua atas ketulusan hati serta memiliki kesabaran dalam memberikan arahan, bimbingan, masukan, motivasi, saran, nasehat, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama proses penyempurnaan tesis, serta telah banyak membantu dalam terselenggaranya berbagai kegiatan saya selama menjadi mahasiswa.

5. Dr. Ir. Abdullah Aman Damai, M.Sc. selaku dosen penguji utama atas ketulusan hati dalam memberikan masukan, arahan, saran, serta ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama proses penyempurnaan tesis.
6. Prof. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si. selaku dosen penguji kedua yang sudah memberikan banyak ilmu pengetahuan, saran, kritik, serta semangat dalam proses penyempurnaan tesis.
7. Seluruh dosen pengajar dan staf administrasi Magister Perencanaan Wilayah dan Kota Universitas Lampung atas bantuan serta ilmu dan pelajaran yang bermanfaat dalam proses pembelajaran dan penyelesaian akademik.
8. Teman-teman seperjuangan Angkatan 2022 di Magister Perencanaan Wilayah dan Kota Universitas Lampung atas semangat berjuang dan bantuan yang diberikan kepada penulis selama ini.

Dengan keterbatasan pengalaman dan ilmu, penulis menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan untuk itu penulis mengharapkan masukan, kritik dan saran demi menyempurnakan tesis ini. Akhir kata penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua. *Aamiin Allahumma Aamiin.*

Bandar Lampung, 08 Januari 2026

Andre Vanbudi

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.4.1. Manfaat bagi Pemerintah Daerah (Provinsi dan Kabupaten/Kota)	4
1.4.2. Manfaat bagi Masyarakat	5
1.4.3. Manfaat Akademis dan Peneliti Selanjutnya	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. <i>Literature Review</i>	6
2.2. Penurunan Tanah	8
2.3. Kenaikan Permukaan Laut (<i>Sea Level Rise</i>)	10
2.3.1. Definisi dan Faktor Penyebab	11
2.3.2. Faktor Regional yang Mempengaruhi SLR	11
2.3.3. Dampak Kenaikan Permukaan Laut di Wilayah Pesisir	12
2.4. Proyeksi Sea Level Rise (SLR)	13
2.5. Perencanaan Tata Ruang dan Adaptasi Perubahan Iklim	14
2.6. Peran Perencanaan Tata Ruang untuk Adaptasi Perubahan Iklim	15
2.7. Kerangka Pemikiran	16
III. METODOLOGI	19
3.1. Bahan dan Metode	19
3.2. Konsep Dasar dan Definisi Operasional	21
3.2.1. Konsep Dasar	21
3.2.2. Definisi Operasional Variabel	23
3.3. Daerah Penelitian	26
3.4. Pemetaan Penurunan Tanah	26
3.5. Pemetaan Proyeksi Genangan Akibat Kenaikan Muka Air Laut	29
3.5.1. Penggunaan Model Elevasi Digital	29
3.5.2. Penentuan Skenario Kenaikan Muka Laut	30
3.5.3. Mengembangkan Model Genangan Pesisir	34
3.6. Estimasi Kerusakan dari Perbandingan Valuasi Kerugian Ekonomi	34

3.6.1. Genangan terhadap Eksisting dan Rencana	34
3.6.2. Valuasi Kerugian Ekonomi	35
3.6.3. Perbandingan Valuasi Kerugian Ekonomi	37
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1. Rencana Tata Ruang Provinsi Lampung.....	39
4.1.1. Tujuan Penataan Ruang.....	39
4.1.2. Isu Strategis.....	40
4.1.3. Perencanaan Penanggulangan Bencana	40
4.1.4. Bencana Kenaikan Muka Air Laut di RTRW	41
4.2. Batas Administrasi	42
4.3. Deformasi.....	44
4.4. Proyeksi SLR	47
4.5. Proyeksi Genangan akibat SLR	49
4.5.1. Validasi Data Genangan	57
4.5.2. Analisis Setiap Skenario	58
4.5.3. Temuan Penting Lintas Skenario	60
4.5.4. Perubahan Genangan Jangka Pendek (2023 ke 2043)	61
4.6. Dampak Genangan akibat SLR.....	62
4.6.1. Dampak terhadap Penggunaan Lahan.....	62
4.6.2. Dampak terhadap Pola Ruang RTRW	63
4.6.3. Dampak terhadap Struktur Ruang RTRW	64
4.6.4. Dampak terhadap Bangunan dan Fasilitas	64
4.6.5. Dampak terhadap Kawasan Strategis.....	65
4.7. Analisis Komparatif Dampak Genangan	65
4.7.1. Jebakan Status Quo Sektor Ekonomi Utama (Perikanan).....	66
4.7.2. Kesenjangan Implementasi dan Risiko Sosial Permukiman.....	67
4.7.3. Ambisi Lingkungan Ideal yang Terancam	67
4.7.4. <i>Lost Opportunity</i> Kawasan Strategis.....	68
4.7.5. Konektivitas Lokal dan Regional.....	68
4.8. Valuasi Kerugian Ekonomi	80
4.8.1. Keterbatasan Data <i>Baseline</i>	80
4.8.2. Proyeksi Valuasi Tahun 2043 Semua Kategori	81
4.8.3. Skala dan Sektor Risiko di Tingkat Provinsi.....	89
4.8.4. Analisis Spasial-Sektoral Kerugian.....	90
4.8.5. Analisis Valuasi Kerugian Ekonomi Agregat akibat SLR.....	92
4.9. Valuasi Kerugian Ekonomi Sektoral.....	123
4.9.1. Valuasi Nilai Guna Langsung Lahan.....	123
4.9.2. Valuasi Kawasan Lindung.....	124
4.9.3. Valuasi Pemukiman.....	124
4.9.4. Valuasi Pertanian.....	125
4.9.5. Valuasi Perikanan.....	126
4.9.6. Valuasi Perkebunan	127
4.9.7. Valuasi Industri.....	127
4.9.8. Valuasi Pariwisata	128
4.9.9. Valuasi Pertambangan	129
4.9.10. Proyeksi Nilai Guna Langsung Tahun 2043	130
4.9.11. Valuasi Kerugian Ekonomi Nilai Guna Langsung Lahan	132
4.10. Perbandingan Hasil Valuasi	134

4.10.1. Tipe Adaptif (Transfer Risiko)	136
4.10.2. Tipe Maladaptif (Akumulasi Risiko)	138
4.11. Rekomendasi Strategis Penataan Ruang Adaptif terhadap SLR.....	139
4.11.1. Kenaikan Muka Air Laut.....	140
4.11.2. Rekomendasi Perbaikan Rencana	142
4.11.3. Rekomendasi Penanganan Permukiman	143
4.11.4. Rekomendasi Penyesuaian Rencana Infrastruktur	144
4.11.5. Rekomendasi Pengendalian Pemanfaatan Ruang	144
4.11.6. Strategi Adaptasi Bencana.....	145
4.11.7. Strategi Mitigasi Risiko Bencana.....	146
4.11.8. Rekomendasi Kebijakan dan Tata Kelola	147
V. PENUTUP.....	148
5.1. Kesimpulan	148
5.2. Saran 148	
5.2.1. Saran untuk pemerintah daerah dan pembuat kebijakan.....	149
5.2.2. Saran untuk Masyarakat.....	149
5.2.3. Saran Akademis dan Penelitian Selanjutnya	149
DAFTAR PUSTAKA.....	151
LAMPIRAN.....	156

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian lain yang menjadi acuan.....	7
2. Sumber data.....	19
3. Proyeksi kenaikan permukaan laut skenario SSP	32
4. Kategori atau sektor lahan.....	36
5. Luas Kabupaten/Kota di Provinsi Lampung	43
6. Besaran proyeksi deformasi 2018-2043 Provinsi Lampung	46
7. Proyeksi SLR global berdasarkan skenario SSP	47
8. Proyeksi SLR Lampung berdasarkan skenario SSP.....	47
9. Perubahan luas genangan akibat SLR	50
10. Luas genangan akibat SLR SSP1-1.9.....	52
11. Luas genangan akibat SLR SSP1-2.6.....	53
12. Luas genangan akibat SLR SSP2-4.5.....	54
13. Luas genangan akibat SLR SSP3-7.0.....	55
14. Luas genangan akibat SLR SSP5-8.5.....	56
15. Luas genangan akibat SLR terhadap penggunaan lahan Kabupaten/Kota.....	74
16. Luas genangan akibat SLR terhadap pola ruang Kabupaten/Kota.....	75
17. Luas genangan akibat SLR terhadap struktur ruang Kabupaten/Kota	76
18. Luas genangan akibat SLR terhadap bangunan dan fasilitas Kabupaten/Kota	77
19. Luas genangan akibat SLR terhadap kawasan strategis Kabupaten/Kota	79
20. Proyeksi valuasi penggunaan lahan	85
21. Valuasi kerugian akibat SLR Provinsi Lampung	95
22. Valuasi kerugian akibat SLR Kota Bandar Lampung	97
23. Valuasi kerugian akibat SLR Kabupaten Lampung Selatan	99
24. Valuasi kerugian akibat SLR Kabupaten Lampung Tengah.....	101

25. Valuasi kerugian akibat SLR Kabupaten Lampung Timur	103
26. Valuasi kerugian akibat SLR Kabupaten Mesuji	105
27. Valuasi kerugian akibat SLR Kabupaten Pesawaran	107
28. Valuasi kerugian akibat SLR Kabupaten Pesisir Barat	109
29. Valuasi kerugian akibat SLR Kabupaten Tanggamus	111
30. Valuasi kerugian akibat SLR Kabupaten Tulang Bawang	113
31. Valuasi kerugian ekonomi akibat SLR.....	115
32. Perbandingan kerugian tanpa perencanaan dengan perencanaan.....	116
33. Proyeksi luas genangan akibat SLR berdasarkan klasifikasi lahan	117
34. Valuasi lahan tergenang akibat SLR tanpa perencanaan berdasarkan klasifikasi lahan	118
35. Valuasi lahan tergenang akibat SLR dengan perencanaan berdasarkan klasifikasi lahan	120
36. Valuasi ekonomi perubahan lahan berdasarkan klasifikasi lahan	122
37. Data proyeksi kenaikan muka laut global	165
38. Data proyeksi kenaikan muka laut regional Lampung.....	167
39. Asumsi dan perhitungan valuasi lahan	169

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran.....	17
2. Kerangka metode penelitian.....	20
3. Proses analisis InSAR	28
4. Proyeksi kenaikan permukaan laut skenario SSP	32
5. Peta batas administrasi Kabupaten/Kota di Provinsi Lampung	43
6. Peta proyeksi deformasi 2018-2043 Provinsi Lampung	45
7. Peta proyeksi DEM Provinsi Lampung 2043.....	45
8. Grafik perubahan luas genangan akibat SLR.....	50
9. Peta genangan akibat SLR SSP1-1.9	52
10. Peta genangan akibat SLR SSP1-2.6	53
11. Peta genangan akibat SLR SSP2-4.5.....	54
12. Peta genangan akibat SLR SSP3-7.0	55
13. Peta genangan akibat SLR SSP5-8.5	56
14. Peta penggunaan lahan Provinsi Lampung	69
15. Peta genangan akibat SLR terhadap penggunaan lahan.....	69
16. Peta bangunan dan fasilitas Provinsi Lampung	70
17. Peta genangan akibat SLR terhadap bangunan dan fasilitas.....	70
18. Peta pola ruang Provinsi Lampung	71
19. Peta genangan akibat SLR terhadap pola ruang.....	71
20. Peta struktur ruang Provinsi Lampung.....	72
21. Peta genangan akibat SLR terhadap struktur ruang	72
22. Peta kawasan strategis Provinsi Lampung	73
23. Peta genangan akibat SLR terhadap kawasan strategis.....	73
24. Peta batas administrasi Kabupaten/Kota di Provinsi Lampung	174
25. Peta proyeksi deformasi 2018-2043 Provinsi Lampung	175

26. Peta proyeksi DEM Provinsi Lampung 2043.....	176
27. Peta genangan akibat SLR SSP1-1.9	177
28. Peta genangan akibat SLR SSP1-2.6	178
29. Peta genangan akibat SLR SSP2-4.5	179
30. Peta genangan akibat SLR SSP3-7.0	180
31. Peta genangan akibat SLR SSP5-8.5	181
32. Peta penggunaan lahan Provinsi Lampung	182
33. Peta genangan akibat SLR terhadap penggunaan lahan.....	183
34. Peta bangunan dan fasilitas Provinsi Lampung	184
35. Peta genangan akibat SLR terhadap bangunan dan fasilitas.....	185
36. Peta pola ruang Provinsi Lampung	186
37. Peta genangan akibat SLR terhadap pola ruang.....	187
38. Peta struktur ruang Provinsi Lampung.....	188
39. Peta genangan akibat SLR terhadap struktur ruang	189
40. Peta kawasan strategis Provinsi Lampung	190
41. Peta genangan akibat SLR terhadap kawasan strategis.....	191

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Daftar istilah, singkatan, dan akronim	157
2. Data proyeksi kenaikan muka laut global dan regional Lampung	165
3. Nilai lahan	169
4. Album peta	173

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Laporan kajian (*assessment report*, AR6) dari *intergovernmental panel on climate change* (IPCC) mengenai basis saintifik (*physical science basis*) mengungkapkan proses rekonstruksi iklim purba (*paleo-climate*) dari deret waktu perubahan suhu permukaan bumi sejak tahun 1 Masehi dan dikombinasi dengan hasil observasi sejak tahun 1850-2020 M mempertegas fakta bahwa suhu rata-rata permukaan atmosfer secara global telah mengalami kenaikan sejak tahun 1900-an. Kenaikan suhu permukaan bumi atau yang dikenal sebagai pemanasan global meningkat lebih dari 1°C pada kurun waktu 2010-2019 relatif terhadap kurun waktu 1850-1900 (IPCC, 2023). Hasil simulasi menunjukkan bahwa faktor aktivitas manusia semakin signifikan terhadap faktor alam dalam peningkatan gas rumah kaca.

Pemanasan global akibat peningkatan gas rumah kaca dalam beberapa dekade ini mengakibatkan iklim di bumi berubah secara gradual serta kejadian cuaca dan iklim ekstrem semakin intensif, di mana pengaruh aktivitas manusia menjadi faktor penentu kelanjutan perubahannya di masa mendatang. Pemanasan global di atmosfer dapat memicu atau mendorong perubahan iklim yang berdampak pada lautan, misalnya dalam bentuk kenaikan muka laut (*sea-level rise*, SLR). Secara total perubahan relatif muka air laut di suatu wilayah merupakan kombinasi antara fenomena global tersebut yang dapat dipicu oleh ekspansi termal air laut serta mencairnya gletser dan es di kutub utara dan kutub selatan, serta fenomena di tingkat lokal atau regional misalnya penurunan muka tanah (IPCC, 2022).

Pengaruh perubahan iklim atmosfer pada lautan juga disebutkan IPCC (2022), di mana pada iklim atmosfer, curah hujan rata-rata global pada wilayah daratan dan

laut telah meningkat sejak 1950 yang berakibat pada penurunan salinitas (kadar garam) di level kedalaman dekat permukaan lautan, emisi karbon dioksida di atmosfer juga berdampak pada proses pengasaman (*acidification*) di permukaan laut secara global, di samping itu kandungan oksigen di dekat permukaan laut juga berkurang sejak pertengahan abad 20. Pada skala global, suhu di bawah permukaan laut (kedalaman 0-700 m) mengalami pemanasan sejak 1970-an, dampaknya berkontribusi pada kenaikan permukaan laut global sekitar 0,20 (0,15 ke 0,25) m antara 1901 dan 2018, dengan laju rata-rata kenaikannya adalah 1,3 (0,6 ke 2,1) mm per tahun antara 1901 dan 1971, lalu semakin meningkat menjadi 1,9 (0,8 ke 2,9) mm per tahun antara 1971 dan 2006, dan peningkatan berlanjut menjadi 3,7 (3,2 4,2) mm per tahun antara 2006 dan 2018 (IPCC, 2023).

Pengaruh perubahan iklim terhadap kenaikan permukaan air laut global adalah melalui proses ekspansi termal dari massa air laut dan penambahan massa air laut akibat pencairan massa es di kedua kutub bumi. Laporan IPCC (2022) mengobservasi dan mengestimasi bahwa ekspansi termal global sebesar 0,89 (0,84-0,94) mm per tahun pada kurun 1993-2015. Faktor kedua yang menyebabkan terjadinya kenaikan permukaan air laut global adalah pencairan es di kedua kutub estimasi 0,77 (0,72-0,82) mm per tahun.

Selain penjabaran mengenai faktor-faktor fisik perairan secara umum, kenaikan permukaan air laut juga bergantung pada faktor lokal atau regional yang umumnya didorong oleh level permukaan air laut relatif (*relative sea level*), di mana salah satu faktornya adalah aktivitas manusia di kawasan tersebut. Aktivitas manusia dapat berpengaruh besar terhadap kenaikan permukaan laut relatif, misalnya akibat turunnya permukaan tanah dari proses pengambilan air tanah secara berlebihan dan/atau pembebanan oleh bangunan yang melebihi daya dukung geologinya. Penurunan permukaan tanah dapat menyebabkan tingkat kenaikan permukaan air laut relatif melebihi tingkat kenaikan permukaan laut global yang disebabkan oleh perubahan iklim, khususnya di wilayah delta dan wilayah perkotaan (IPCC, 2023). Upaya untuk mengurangi dampak kenaikan permukaan air laut global akibat iklim di masa depan adalah dengan mengelola dan mengurangi penurunan tanah akibat antropogenik.

Faktor antropogenik terutama peningkatan lahan terbangun di wilayah pesisir dapat menaikkan keterpaparan terhadap bahaya perubahan iklim. Diperlukan strategi adaptasi perubahan iklim sebagai tindakan untuk menyesuaikan diri dan mengantisipasi dampak negatif perubahan iklim. Rencana tata ruang yang berfungsi mengarahkan konfigurasi infrastruktur serta guna lahan masa mendatang agar menjauh dari zona yang terpapar bahaya terkait iklim dapat berperan penting sebagai perangkat adaptasi perubahan iklim (Suroso dan Firman, 2018). Seiring dengan meningkatnya intensitas bahaya perubahan iklim maka diperlukan strategi adaptasi perubahan iklim yang mampu meningkatkan kapasitas adaptif wilayah pesisir dan laut. Dalam konteks ini, perencanaan tata ruang dapat berperan sebagai perangkat yang sangat efektif untuk mengatur distribusi spasial dan temporal aktivitas manusia yang adaptif terhadap perubahan iklim di masa depan. Pengelolaan tersebut dititikberatkan pada pemerintah melalui dokumen perencanaan (RTRW). Oleh karena itu, perlu melihat bagaimana peran perencanaan tata ruang dalam mengurangi paparan terhadap dampak kenaikan permukaan laut.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang didapatkan rumusan masalah bahwa perubahan iklim diyakini berdampak pada kenaikan permukaan air laut global. Kenaikan permukaan laut global perlu ditambah dengan faktor lokal lainnya untuk menghitung dampak kumulatif bencana. Hal ini karena satu faktor perubahan iklim saja mungkin tidak menghasilkan dampak yang signifikan, namun dampak yang beragam dapat mengakibatkan fenomena bencana yang besar. Perubahan permukaan laut disebabkan oleh kombinasi tiga komponen utama, yaitu rata-rata kenaikan permukaan laut global, kenaikan muka laut yang terjadi secara regional yang terkadang berbeda dengan rata-rata global, dan pergerakan tanah secara vertikal yang terjadi secara lokal. Perubahan iklim akan berdampak pada faktor fisik lain yang mempengaruhi pesisir. Perubahan iklim tidak hanya akan menimbulkan ancaman baru terhadap pesisir, namun akan berdampak terhadap ancaman pesisir yang sudah ada.

Provinsi Lampung yang memiliki wilayah pesisir cukup luas rentan terhadap bahaya kenaikan muka air laut lokal. Kenaikan muka air laut lokal akan menyebabkan wilayah pesisir tergenang. Banjir di wilayah pesisir berdampak langsung terhadap hilangnya lahan dan lahan terbangun juga berdampak langsung terhadap aktivitas manusia di wilayah tersebut. Untuk memproyeksi area genangan dampak kenaikan muka air laut harus terlebih dahulu memproyeksikan penurunan permukaan tanah yang terjadi di Provinsi Lampung. Setelah mendapatkan proyeksi penurunan tanah dan proyeksi kenaikan muka laut maka perlu dilakukan pemetaan proyeksi genangan akibat kenaikan muka air laut. Rencana tata ruang yang berfungsi mengarahkan konfigurasi infrastruktur serta guna lahan masa mendatang agar menjauh dari zona yang terpapar bahaya terkait iklim dapat berperan penting sebagai perangkat adaptasi perubahan iklim. Diperlukan estimasi kerusakan dari perbandingan valuasi kerugian ekonomi akibat genangan untuk melihat sejauh mana rencana tata ruang mengurangi kerugian ekonomi dari paparan kerusakan genangan kenaikan muka air laut.

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka ditentukan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Memetakan penurunan permukaan tanah yang terjadi di Provinsi Lampung.
2. Memetakan proyeksi genangan dari kenaikan muka air laut di Provinsi Lampung.
3. Mengkaji peran penataan ruang dalam mengurangi dampak dan estimasi paparan kerusakan akibat kenaikan muka air laut.

1.4. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan yang dirumuskan, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi nyata ke berbagai pihak.

1.4.1. Manfaat bagi Pemerintah Daerah (Provinsi dan Kabupaten/Kota)

Mendukung perumusan kebijakan tata ruang dan regulasi lingkungan:

1. Menyediakan peta zonasi bahaya *sea level rise* sehingga pemerintah memiliki acuan spasial yang kuat untuk menetapkan zona lindung atau zona penyangga dalam RTRW dan RDTR.
2. Memberikan lokasi-lokasi yang mengalami penurunan tanah, dapat digunakan pemerintah sebagai justifikasi untuk menerbitkan regulasi pembatasan ekstraksi air tanah dan percepatan penyediaan air perpipaan.
3. Menghasilkan peta zona genangan permanen yang bermanfaat bagi dinas terkait untuk melakukan pengetatan atau moratorium perizinan pembangunan baru di kawasan berisiko tinggi.
4. Memberikan gambaran area prioritas yang membutuhkan intervensi infrastruktur agar anggaran mitigasi bencana dapat dialokasikan lebih efektif dan tepat sasaran.

1.4.2. Manfaat bagi Masyarakat

Manfaat ini dirancang untuk mendukung kesiapan dan ketahanan sosial:

1. Memberikan informasi visual mengenai estimasi ketinggian dan luasan genangan di masa depan, sehingga masyarakat di kawasan terdampak dapat mempersiapkan adaptasi sejak dini.
2. Menunjukkan korelasi nyata antara kerusakan lingkungan dengan peningkatan risiko ancaman bahaya, sehingga dapat memotivasi partisipasi masyarakat dalam menjaga ekosistem pesisir sebagai pelindung alami.

1.4.3. Manfaat Akademis dan Peneliti Selanjutnya

Manfaat untuk menjadi data dasar bagi pengembangan riset lanjutan:

1. Menyediakan data bagi peneliti selanjutnya untuk dapat menghitung nilai kerugian ekonomi akibat bencana yang lebih mendetail.
2. Menjadi studi rujukan bagi penelitian selanjutnya yang ingin mengembangkan model hidrodinamik yang lebih kompleks.
3. Penggunaan data yang dapat digunakan sebagai pembanding untuk studi *time-series* jangka panjang berikutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Literature Review*

Acuan utama dalam analisis perubahan iklim dan kenaikan muka air laut global merujuk pada laporan penilaian keenam (AR6) IPCC yang diterbitkan pada tahun 2023. Secara spesifik, publikasi *ocean, cryosphere and sea level change (contribution of working group i)* menjadi rujukan kunci, yang menyoroti bahwa sekitar 60% hingga 70% garis pantai global diproyeksikan mengalami kenaikan muka air laut regional dalam kisaran $\pm 20\%$ dari rata-rata global. Hal ini didukung oleh IPCC AR6 *sea level projections* oleh Garner *et al.* (2021), yang menyediakan kumpulan data proyeksi permukaan laut global dan regional yang komprehensif terkait laporan tersebut.

Dalam konteks regional Indonesia, penelitian yang menjadi acuan utama adalah studi oleh Suroso dan Firman (2018) di *ocean and coastal management*. Penelitian mereka di sepanjang pantai utara Jawa menggunakan model genangan berbasis SIG untuk memetakan tingkat bahaya pesisir. Studi ini menemukan total lahan rawan banjir seluas 55,220 ha, yang berpotensi menyebabkan kerugian ekonomi masif sebesar 246,6 miliar USD. Temuan ini penting karena menunjukkan bahwa rencana tata ruang yang ada bahkan dapat meningkatkan risiko bahaya iklim, sehingga studi ini berkontribusi besar pada metode penilaian peran perencanaan dalam mengurangi dampak kenaikan muka air laut.

Untuk aspek metodologi pemetaan penurunan tanah, acuan diambil dari penelitian Osmanoglu *et al.* (2016) di *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*. Studi kasus di Mexico City berfokus pada *time series analysis of InSAR* dan berhasil mengembangkan algoritme untuk mengukur tingkat penurunan tanah. Sebagai referensi pembandingan lain dalam pengukuran deformasi wilayah,

digunakan pula penelitian Kalaitzis *et al.* (2023) di Sindos, Yunani. Studi ini menggunakan metode *spirit leveling* dan temuannya menunjukkan adanya perpindahan vertikal total (penurunan) hingga sekitar -15 mm, mengkonfirmasi kecenderungan penurunan yang jelas di area tersebut.

Tabel 1. Penelitian lain yang menjadi acuan

No	Deskripsi Penelitian	
1	Judul	: <i>The role of spatial planning in reducing exposure towards impacts of global sea level rise case study: Northern coast of Java, Indonesia</i>
	Penulis	: Djoko Santoso Abi Suroso, Tommy Firman
	Jurnal	: <i>Ocean and Coastal Management</i> 153 (2018) 84–97
	Metode	: Studi ini memetakan tingkat bahaya pesisir untuk tahun dasar 2010 menggunakan model genangan berbasis SIG.
	Lokasi	: Sepanjang pantai utara Jawa
	Hasil	: Total lahan rawan banjir seluas 55,220 ha, berpotensi menyebabkan kerugian ekonomi sebesar 246,6 miliar USD. Menunjukkan bahwa rencana tata ruang bahkan dapat meningkatkan risiko bahaya terkait iklim dan menyebabkan kerugian ekonomi yang lebih besar.
	Kontribusi	: Menjadi acuan utama dalam sebagian besar metode penilaian peran perencanaan dalam mengurangi dampak kenaikan muka air laut.
2	Judul	: <i>Time series analysis of InSAR data: Methods and trends</i>
	Penulis	: Batuhan Osmanoglu, Filiz Sunar, Shimon Wdowinski, Enrique Cabral-Cano
	Jurnal	: <i>ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing</i> (2015)
	Metode	: <i>Time series analysis of InSAR</i>
	Lokasi	: <i>Mexico City</i>
	Hasil	: Algoritme dikembangkan untuk analisis deret waktu data InSAR menggunakan contoh kumpulan hasil untuk mengukur tingkat penurunan tanah
	Kontribusi	: Acuan dalam metode pemetaan penurunan tanah
3	Judul	: <i>Ocean, Cryosphere and Sea Level Change. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis.</i>
	Penulis	: <i>Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
	Tahun	: 2021
	Penerbit	: <i>Cambridge University Press, 1211–1362.</i>
	Lokasi	: Global
	Hasil	: Sekitar 60% (SSP1-1.9) hingga 70% (SSP5-8.5) garis pantai global memiliki proyeksi kenaikan muka air laut relatif.
	Kontribusi	: Menjadi acuan utama dalam melihat perubahan iklim dan dampaknya terhadap kenaikan muka air laut global.

No	Deskripsi Penelitian	
4	Judul	: <i>IPCC AR6 Sea Level Projections</i>
	Penulis	: Garner, G. G., T. Hermans, R. E. Kopp, A. B. A. Slangen, T. L. Edwards, A. Levermann, S. Nowicki, M. D. Palmer, C. Smith, B. Fox-Kemper, H. T. Hewitt, C. Xiao, G. Aðalgeirsdóttir, S. S. Drijfhout, T. L. Edwards, N. R. Golledge, M. Hemer, G. Krinner, A. Mix, D. Notz, S. Nowicki, I. S. Nurhati, L. Ruiz, J-B. Sallée, Y. Yu, L. Hua, T. Palmer, B. Pearson,
	Tahun	: 2021
	Versi	: <i>Version 20210809</i>
	Lokasi	: Global
	Hasil	: Kumpulan data ini berisi proyeksi permukaan laut yang terkait dengan Laporan Penilaian Keenam Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim. Kumpulan data ini berisi kumpulan sampel lengkap untuk proyeksi global, serta ringkasan proyeksi permukaan laut relatif .
	Kontribusi	: Menjadi acuan dalam proyeksi kenaikan muka air laut global dan regional.
5	Judul	: <i>Mapping and monitoring subtle ground deformation in Sindos, Greece, with high precision digital leveling</i>
	Penulis	: Kalaitzis, P., Mouratidis, A., Vladenidis, P., Ampatzidis, D., Moshopoulos, G., Domakinis, C., Pantazopoulou, Z., Karadimou, G., Perivolioti, T.-M., Terzopoulos, D., Giataganas, E., Foumelis, M., Soulakellis, N., Katsampalos, K.-V
	Jurnal	: <i>AUC Geographica</i> 58(1), 3–17
	Metode	: <i>Spirit leveling</i>
	Lokasi	: <i>Sindos, Greece</i>
	Hasil	: Temuan menunjukkan perpindahan vertikal total hingga sekitar –15 mm, sedangkan kelanjutan dari kecenderungan penurunan keseluruhan yang jelas daripada pengangkatan.
	Kontribusi	: Menjadi referensi lain dalam pengukuran deformasi di suatu wilayah

Sumber: Analisis, 2025

Penelitian ini menggabungkan beberapa metode yang sudah dilakukan peneliti lain di lokasi yang berbeda-beda. Dalam Tabel 1 terdapat judul-judul penelitian sebelumnya yang telah dilakukan penulis lain berkaitan dengan penelitian ini.

2.2. Penurunan Tanah

Penurunan muka tanah merupakan jenis bahaya geologi yang umumnya tidak terlihat secara langsung, biasanya memerlukan pengamatan setidaknya selama beberapa tahun untuk mengidentifikasinya. Meskipun demikian, bencana yang

diakibatkan mungkin sangat berdampak, terutama jika terjadi pada kondisi tertentu. Misalnya, ketika terjadi di pusat kota pesisir dataran rendah, delta yang berpenduduk, atau kawasan lindung pesisir. Salah satu faktor yang menyebabkan penurunan muka tanah adalah pemompaan air dan minyak yang tidak terkendali dari bawah tanah, yang khususnya meningkat pada abad kedua puluh dan telah menyebabkan kerugian ekonomi dan budaya yang signifikan (Bolt *et al.*, 1977).

Perubahan iklim dan kenaikan muka air laut yang terkait diperkirakan akan memperburuk dampak bahaya geohazard penurunan muka tanah pesisir tersebut di tahun-tahun mendatang (Elias *et al.*, 2020). Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa gabungan kenaikan muka air laut akibat iklim dan pergerakan tanah vertikal, termasuk penurunan tanah akibat alam dan manusia di dataran rendah sedimen, memiliki dampak yang lebih tinggi (hingga empat kali lebih cepat), dalam hal kenaikan muka air laut relatif rata-rata, di wilayah pesisir (Nicholls *et al.*, 2021).

Contohnya adalah wilayah yang dataran Thessaloniki, Yunani utara, tempat beberapa penelitian telah mendeteksi perpindahan tanah vertikal sejak tahun 1960-an. Terutama tepi timur di sekitar garis pantai, wilayah Sindos–Kalochoi yang lebih luas merupakan wilayah yang paling menarik dan karenanya menjadi fokus sebagian besar penelitian. Perbandingan antara data perataan tanah sebelumnya dan data *global navigation satellite system* (GNSS) menunjukkan bahwa bagian dataran Thessaloniki, terutama yang dekat dengan muara sungai Galikos dan Axios modern, telah mengalami penurunan tanah hingga 4 m dalam 50 tahun terakhir (Psimoulis *et al.*, 2007). Sebagian besar peneliti menyoroti eksploitasi air tanah yang berlebihan sebagai penyebab utama fenomena penurunan tanah. Akan tetapi, sejumlah pakar menyarankan interpretasi alternatif, seperti pemadatan lapisan sedimen dangkal dan deformasi sinsedimen delta (Stiros, 2001), erosi pantai dan kenaikan muka air laut, kombinasi faktor alam dan antropogenik (Psimoulis *et al.*, 2007) dan pemadatan endapan lanau-lempung yang tidak terkonsolidasi. Meskipun eksploitasi air tanah di daerah tersebut dimulai pada awal tahun 1960-an untuk memfasilitasi pembangunan industri, penurunan tanah

tidak diperhatikan sampai tahun 1965, secara tidak langsung, yang terwujud sebagai aliran masuk air laut yang progresif (Raspini *et al.*, 2014). Pada tahun 1969, selama periode curah hujan yang intensif, air laut mencapai rumah-rumah di selatan desa (Mouratidis *et al.*, 2011). Penelitian sebelumnya telah memanfaatkan arsip data radar apertur sintetis (SAR) satelit ERS (1991–2000), untuk menerapkan pengukuran konvensional dan Interferometri SAR (InSAR) penyebar permanen (PS), serta bagian yang setara dari data *envisat advanced* SAR (ASAR) (2002–2010) untuk pemrosesan InSAR standar dan yang telah dikembangkan.

2.3. Kenaikan Permukaan Laut (*Sea Level Rise*)

Kenaikan permukaan laut (*sea-level rise*/SLR) merupakan salah satu indikator utama dan konsekuensi paling signifikan dari perubahan iklim antropogenik. *Intergovernmental panel on climate change* (IPCC) menegaskan dengan keyakinan tinggi bahwa permukaan laut rata-rata global (*global mean sea level*/GMSL) meningkat dengan laju yang belum pernah terjadi sebelumnya dalam setidaknya 3.000 tahun terakhir, didorong oleh pemanasan global akibat emisi gas rumah kaca (IPCC, 2023).

Dalam konteks manajemen pesisir, penting untuk membedakan antara GMSL dan kenaikan permukaan laut relatif (*relative sea-level rise*/RSLR). GMSL mencerminkan perubahan volume total lautan, sedangkan RSLR adalah perubahan ketinggian permukaan laut relatif terhadap permukaan tanah lokal, yang mencakup efek pergerakan tanah vertikal seperti subsidensi (Tay *et al.*, 2022).

GMSL, atau Permukaan laut rata-rata global, merujuk pada rata-rata ketinggian permukaan laut di seluruh dunia. Ini adalah metrik iklim fundamental yang mengukur perubahan volume total air di cekungan samudra, didorong oleh faktor-faktor seperti pemuatan air dan penambahan massa dari es yang mencair. Sebaliknya, RSL, atau permukaan laut relatif, adalah ketinggian permukaan laut lokal yang diukur relatif terhadap daratan di lokasi tertentu. RSL adalah apa yang secara langsung dialami oleh komunitas pesisir dan ekosistem. RSL merupakan

fungsi gabungan dari GMSL ditambah faktor-faktor regional dan lokal yang signifikan. Faktor-faktor ini mencakup *vertical land motion* (VLM), atau pergerakan vertikal daratan (seperti penurunan muka tanah atau subsidensi), serta variabilitas dinamis oseanografi regional, seperti perubahan arus dan suhu laut. Perbedaan ini sangat krusial, karena di banyak wilayah pesisir yang rentan, laju RSL dapat jauh melampaui laju GMSL, terutama akibat faktor-faktor non-iklim seperti subsidensi.

2.3.1. Definisi dan Faktor Penyebab

Kenaikan GMSL adalah hasil dari dua proses fisik utama yang terkait dengan pemanasan global, ekspansi termal air laut (peningkatan *sterik*) dan penambahan massa air ke lautan dari pencairan es di daratan (peningkatan *eustatik*).

Ekspansi termal (*thermal expansion*) terjadi ketika lautan menyerap panas dari atmosfer. Lautan telah menyerap lebih dari 90% kelebihan panas dalam sistem iklim bumi, menyebabkan air memuai dan volumenya bertambah (IPCC, 2022). Selama periode 1971–2018, ekspansi termal menyumbang sekitar 50% dari kenaikan permukaan laut yang diamati, meskipun dominasi ini mulai bergeser ke arah pencairan es dalam dekade terakhir (IPCC, 2023).

Kontribusi massa (*barystatic*) berasal dari pencairan gletser pegunungan dan tudung es (*ice sheets*) di Greenland dan Antartika. Data satelit menunjukkan percepatan kehilangan massa es yang signifikan. Antara tahun 2006 dan 2018, kontribusi dari pencairan gletser dan tudung es secara kolektif telah melampaui kontribusi ekspansi termal sebagai pendorong utama kenaikan permukaan laut (Garner *et al.*, 2021). Ketidakstabilan dinamis pada lapisan es Antartika (*marine ice sheet instability*) menjadi sumber ketidakpastian terbesar untuk proyeksi kenaikan ekstrem di masa depan (IPCC, 2023).

2.3.2. Faktor Regional yang Mempengaruhi SLR

Distribusi kenaikan permukaan laut tidak seragam di seluruh dunia. RSL akan sangat bervariasi karena kombinasi faktor regional yang dipengaruhi oleh:

1. Dinamika oseanografi, perubahan densitas air (sterik) dan sirkulasi arus laut menyebabkan anomali tinggi muka air laut di wilayah tertentu (Adhikari *et al.*, 2016).
2. *Gravitational fingerprints*, hilangnya massa es yang besar mengubah medan gravitasi bumi, menyebabkan redistribusi air laut menjauh dari lapisan es yang mencair. Hal ini mengakibatkan kenaikan muka air laut yang lebih tinggi dari rata-rata global di wilayah tropis yang jauh dari kutub (*far-field*), seperti Indonesia (Adhikari *et al.*, 2019).
3. Subsiden tanah, di banyak kota pesisir Asia, penurunan muka tanah akibat ekstraksi air tanah yang berlebihan menjadi faktor dominan yang memperparah RSLR. Studi oleh Tay *et al.* (2022) menunjukkan bahwa laju subsidensi di beberapa kota pesisir jauh melampaui laju kenaikan GMSL iklim, meningkatkan risiko genangan secara drastis.

2.3.3. Dampak Kenaikan Permukaan Laut di Wilayah Pesisir

Kenaikan RSL yang sedang berlangsung dan diproyeksikan memiliki konsekuensi fisik yang mendalam dan beragam bagi wilayah pesisir di seluruh dunia. Dampak langsung SLR adalah peningkatan frekuensi dan intensitas banjir. Wilayah pesisir dataran rendah menghadapi risiko inundasi permanen (hilangnya lahan) dan inundasi temporer berupa banjir rob (*nuisance flooding*) yang semakin sering terjadi saat pasang tinggi. Kenaikan kecil pada RSL dapat melipatgandakan frekuensi kejadian banjir ekstrem secara eksponensial (IPCC, 2022).

Kenaikan muka air laut mengubah dinamika sedimen pantai, memicu erosi dan mundurnya garis pantai. Model klasik *bruun rule* memprediksi bahwa garis pantai akan mundur sebagai respons terhadap kenaikan muka air laut untuk mempertahankan profil keseimbangan, meskipun validitas universal model ini diperdebatkan karena kompleksitas transportasi sedimen *longshore* (Rosati *et al.*, 2013). Erosi ini mengancam infrastruktur pesisir dan ekosistem alami.

SLR mengganggu keseimbangan hidrostatik antara air tawar dan air asin di akuifer pesisir. Fenomena ini diperparah oleh ekstraksi air tanah berlebih, yang

menarik antarmuka air asin lebih jauh ke daratan (*saltwater intrusion*), mencemari sumber air minum dan irigasi.

SLR menaikkan garis dasar (*baseline*) air laut, yang memungkinkan gelombang badai (*storm surge*) merambat lebih jauh ke daratan dengan daya rusak yang lebih besar. Studi menunjukkan bahwa SLR dapat mengamplifikasi ketinggian banjir akibat badai, mengubah kejadian badai 100 tahunan menjadi kejadian yang jauh lebih sering terjadi pada pertengahan abad ini (Little *et al.*, 2015).

2.4. Proyeksi Sea Level Rise (SLR)

Di tengah iklim yang semakin memanas, permukaan air laut di seluruh dunia telah meningkat dan diproyeksikan akan terus meningkat di masa mendatang. Proyeksi kenaikan permukaan laut di masa mendatang sangat penting bagi para perencana dan pembuat kebijakan pesisir yang mencoba memahami dan memperhitungkan dampak permukaan laut pada masyarakat. Pemahaman sains, menentukan proyeksi mana yang akan digunakan, dan memiliki akses ke proyeksi dan data dasar tersebut merupakan tantangan yang harus diatasi oleh para pemangku kepentingan.

Intergovernmental panel on climate change (IPCC) adalah badan Perserikatan Bangsa-Bangsa yang bertugas mengkaji ilmu pengetahuan terkait perubahan iklim. IPCC dibentuk untuk menyediakan penilaian ilmiah berkala bagi para pembuat kebijakan tentang perubahan iklim, implikasinya, dan potensi risiko di masa mendatang. Sebagai bagian dari upaya ini, IPCC mensurvei dan menyaring literatur ilmiah serta memberikan proyeksi konsensus tentang permukaan laut di masa mendatang di seluruh dunia dalam berbagai kemungkinan skenario masa depan. Literasi terbaru dari pekerjaan IPCC, laporan penilaian ke-6 dari kelompok kerja I, dirilis pada 9 Agustus 2021.

Alat proyeksi muka air laut NASA memungkinkan pengguna untuk memvisualisasikan dan mengunduh data proyeksi muka air laut dari Laporan Penilaian ke-6 IPCC (AR6). Tujuan dari alat ini adalah untuk menyediakan akses

dan visualisasi yang mudah dan lebih baik terhadap proyeksi konsensus yang terdapat dalam laporan. Memungkinkan khalayak umum dan ilmuwan untuk mengakses informasi yang terdapat dalam AR6.

Alat ini memungkinkan pengguna untuk melihat proyeksi permukaan laut global dan regional dari tahun 2020 hingga 2150, beserta perbedaan proyeksi ini tergantung pada skenario masa depan atau tingkat pemanasan. Pengguna dapat mengklik titik di mana saja di lautan untuk mendapatkan proyeksi IPCC tentang permukaan laut untuk lokasi tersebut. Kontribusi dari berbagai proses fisik terhadap kenaikan permukaan laut di masa depan juga disediakan, yang menunjukkan proses mana yang akan menjadi pendorong utama permukaan laut di masa depan untuk lokasi tertentu. Terakhir, pengguna dapat mengunduh data proyeksi permukaan laut dari IPCC 6th AR6 dalam berbagai format. Proyeksi yang ditunjukkan dalam alat ini konsisten dengan yang ada dalam Laporan Penilaian IPCC ke-6 dan informasi dalam alat ini ditautkan langsung ke laporan.

2.5. Perencanaan Tata Ruang dan Adaptasi Perubahan Iklim

Fenomena perubahan iklim sangat erat kaitannya dengan tata ruang terutama di wilayah yang memiliki keterpaparan yang tinggi, salah satunya pada wilayah pesisir. Konfigurasi spasial serta cara pengembangan maupun penggunaan lahan memiliki dampak signifikan pada kerentanan wilayah terhadap dampak perubahan iklim (Davidse *et al.*, 2015). Oleh karena itu, diperlukan strategi adaptasi perubahan iklim yang dapat meningkatkan kemampuan suatu sistem untuk menyesuaikan diri terhadap perubahan sehingga mampu mengurangi dampak negatif dan memanfaatkan peluang yang ada (Burton *et al.*, 2002). Salah satu strategi adaptasi yang dapat dilakukan yaitu integrasi perubahan iklim ke dalam perencanaan tata ruang.

Pada dasarnya, inti dari perencanaan adalah pengetahuan tentang kondisi saat ini dan orientasi untuk perbaikan masa depan sambil menghindari masalah yang muncul. Perencanaan tata ruang dapat berperan sebagai perangkat yang paling efektif dalam memberikan panduan tentang pola ruang dan struktur ruang yang

adaptif terhadap perubahan di masa depan. Mengintegrasikan isu perubahan iklim ke dalam rencana tata ruang menjadi langkah tepat untuk mengurangi kerentanan perubahan iklim dan meningkatkan ketahanan terutama di wilayah perkotaan (Kumar dan Geneletti, 2015).

Namun, kondisi kontradiktif di mana perencanaan tata ruang justru meningkatkan kerentanan terhadap dampak perubahan iklim dapat terjadi apabila kesadaran perencanaan terhadap risiko perubahan iklim masih rendah sehingga perencanaan yang dihasilkan hanya memprioritaskan pertumbuhan ekonomi dan pada akhirnya melemahkan upaya adaptasi perubahan iklim. Perencanaan penggunaan lahan yang tidak memadai justru akan meningkatkan paparan terhadap bencana akibat perubahan iklim dan menyebabkan kerugian yang lebih besar. Perencanaan tata ruang sebagai basis pembangunan seharusnya dapat memfasilitasi adaptasi perubahan iklim dengan mengarahkan pembangunan tata ruang dan infrastruktur di masa depan jauh dari zona yang terpapar bahaya perubahan iklim.

Suroso & Firman (2018) mendapatkan temuan menarik bahwa rencana tata ruang ternyata justru dapat meningkatkan risiko perubahan iklim di Pesisir Utara Pulau Jawa. Studi tersebut membuat model bahaya pesisir kumulatif atas beberapa komponen misalnya kenaikan muka air laut, pasang tertinggi, gelombang, dan variabilitas ENSO.

2.6. Peran Perencanaan Tata Ruang untuk Adaptasi Perubahan Iklim

Hingga saat ini, semakin banyak pengakuan bahwa perencanaan tata ruang mempunyai peran penting dalam mengatasi sumber dan dampak perubahan iklim. Kebutuhan untuk mengintegrasikan adaptasi perubahan iklim ke dalam perencanaan tata ruang telah disadari. Adaptasi terhadap perubahan iklim didefinisikan sebagai penyesuaian sistem alam atau manusia sebagai respons terhadap rangsangan iklim aktual atau yang diharapkan atau dampaknya, yang mengurangi dampak buruk atau memanfaatkan peluang yang menguntungkan. Carter & Sherriff (2011) berpendapat bahwa dalam kaitannya dengan respons adaptasi, peran utama perencanaan tata ruang adalah untuk membuat zona wilayah

perkotaan, mengizinkan atau melarang penggunaan lahan tertentu. Oleh karena itu, perencanaan tata ruang dapat meningkatkan kapasitas adaptasi suatu kota melalui konservasi lahan, yang berperan dalam adaptasi dan mengurangi paparan pembangunan terhadap bahaya yang disebabkan oleh perubahan iklim.

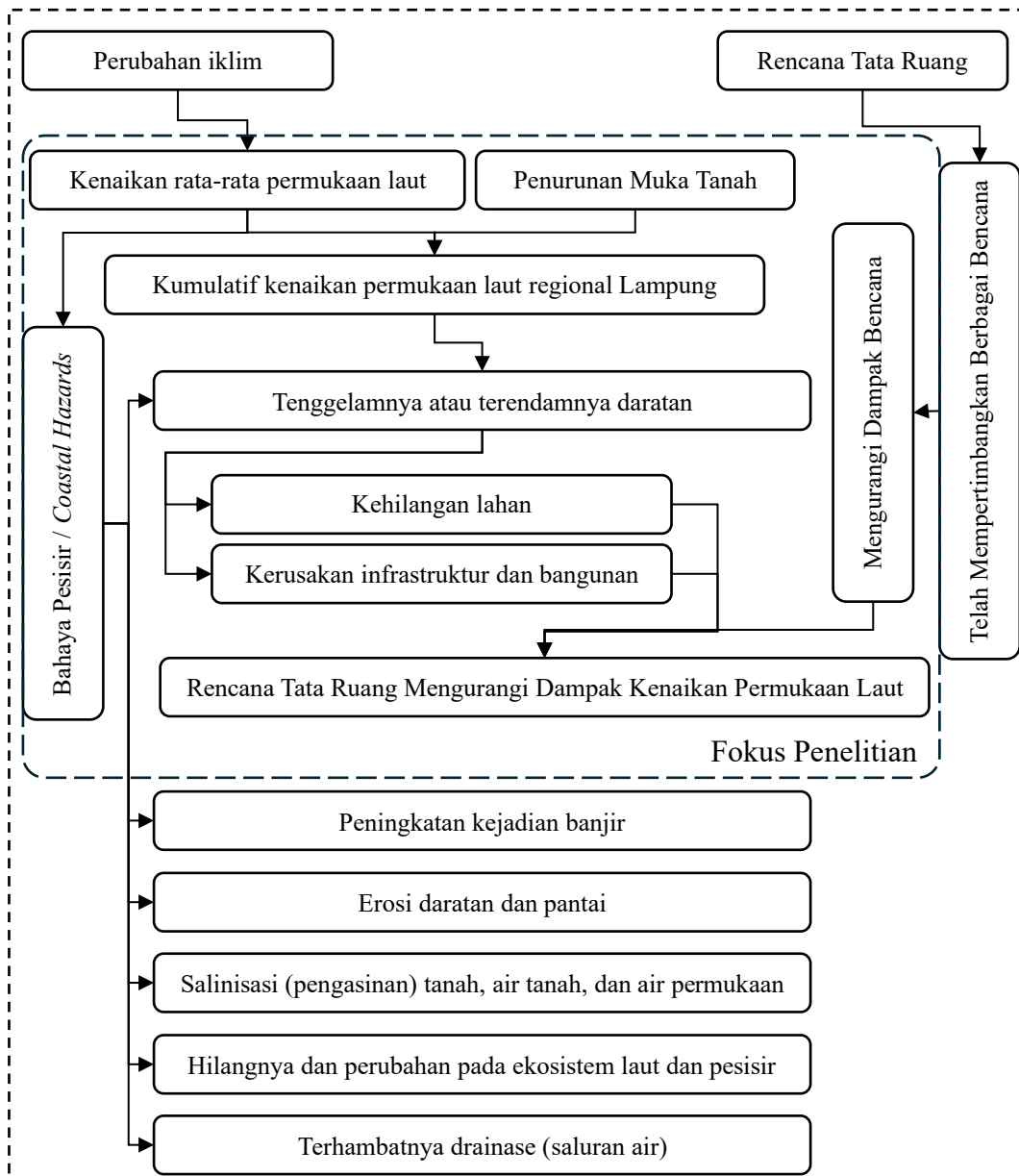
Rencana tata ruang dapat memberikan panduan mengenai bentuk perkotaan di masa depan sebagai respons terhadap dampak perubahan iklim. Roggema (2009), menyatakan bahwa perencanaan tata ruang dapat menjadi alat yang sangat ampuh untuk membentuk wilayah tahan iklim secara spasial. Selain itu, inti dari praktik perencanaan adalah pengetahuan tentang kondisi saat ini dan orientasi berkelanjutan untuk mencari perbaikan di masa depan sambil menghindari masalah yang muncul. Hal ini menyoroti potensi perencanaan untuk beradaptasi terhadap dampak perubahan iklim (Hurlimann dan March, 2012).

Konfigurasi tata ruang kota-kota besar dan kecil serta cara penggunaan dan pengembangan lahan mempunyai dampak yang signifikan terhadap kerentanan kota terhadap dampak perubahan iklim dan akan menjadi hal penting dalam melakukan respons adaptif terhadap perubahan ini (Davidse *et al.*, 2015). Lebih jauh lagi, Hurlimann dan March (2012) menemukan bahwa perencanaan penggunaan lahan telah diidentifikasi sebagai alat yang paling efektif untuk mengurangi paparan dan sensitivitas terhadap peristiwa cuaca ekstrem dalam banyak hal.

2.7. Kerangka Pemikiran

Kerangka penelitian berisi topik dan fokus penelitian yang dikaji disajikan pada Gambar 1. Untuk memahami respons terhadap SLR yang disebabkan oleh perubahan iklim, dua aspek permukaan laut penting untuk diperhatikan terlebih dahulu mengetahui kenaikan GMSL dan kombinasi perubahan permukaan laut rata-rata. Kenaikan GMSL yang disebabkan oleh perubahan iklim, ekspansi termal air laut dan penambahan massa laut, yang terakhir terutama disebabkan oleh penurunan massa es daratan. Namun, respons terhadap SLR bersifat lokal dan karenanya selalu berdasarkan RSL yang dialami di lokasi tertentu. GMSL

dimodifikasi secara regional oleh proses iklim dan secara lokal oleh berbagai faktor, beberapa didorong atau dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Yang paling relevan untuk menanggapi SLR adalah penurunan permukaan laut antropogenik, yang dapat menyebabkan laju kenaikan RSL yang melebihi laju SLR yang disebabkan oleh iklim dengan urutan besaran tertentu, khususnya di wilayah delta dan dekat kota.



Gambar 1. Kerangka pemikiran
Sumber: Analisis, 2025

Di wilayah yang mengalami penurunan ini, satu respons yang tersedia untuk mempersiapkan SLR yang disebabkan oleh iklim di masa mendatang adalah mengelola dan mengurangi penurunan permukaan laut antropogenik. Kombinasi perubahan bertahap permukaan laut rata-rata dengan peristiwa seperti pasang surut, gelombang pasang, dan ombak menyebabkan dampak pesisir. Peristiwa di pesisir yang jarang terjadi saat ini akan menjadi lebih sering terjadi di masa mendatang, yang berarti bahwa untuk banyak lokasi, titik awal utama untuk perencanaan dan pengambilan keputusan pesisir adalah informasi tentang peristiwa saat ini dan di masa mendatang.

Salah satu respons penting untuk mempersiapkan SLR di masa mendatang adalah meningkatkan sistem pengamatan (pengukur pasang surut, pelampung gelombang, dan teknik penginderaan jarak jauh), karena di banyak tempat di seluruh dunia frekuensi dan intensitas peristiwa saat ini tidak dipahami dengan baik karena kurangnya data pengamatan. Enam permasalahan utama yang dihadapi pesisir dataran rendah, adalah: (i) terendamnya daratan secara permanen akibat permukaan laut atau air pasang; (ii) banjir yang lebih sering dan hebat; (iii) peningkatan erosi; (iv) hilangnya dan perubahan ekosistem; (v) salinisasi tanah, air tanah dan air permukaan; dan (vi) terhambatnya drainase.

III. METODOLOGI

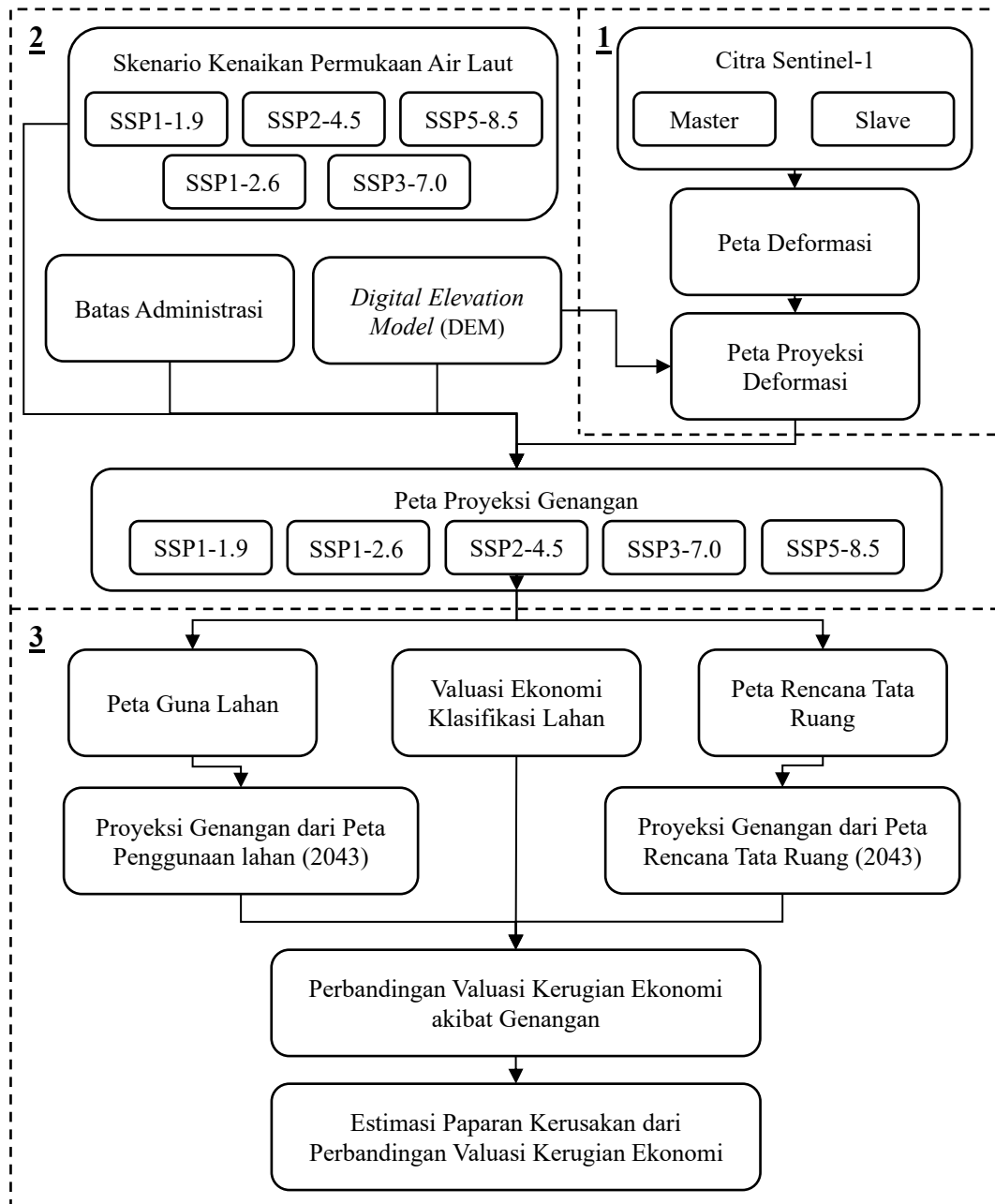
3.1. Bahan dan Metode

Penelitian menggunakan *geographic information system* (GIS) sebagai metode utama. Church (2002) menjelaskan GIS dirancang untuk menyimpan, mengambil, memanipulasi, menganalisis, dan memetakan data geografis. Elemen utama SIG adalah penggunaan sistem referensi lokasi sehingga data tentang lokasi tertentu dapat dianalisis dalam hubungannya dengan lokasi lain. SIG dapat digunakan untuk mendukung penelitian dan aplikasi yang melibatkan sejumlah bidang akademis termasuk perencanaan penggunaan lahan. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang tersedia secara *open source* dan data hasil *literature review* dari penelitian yang telah dilakukan peneliti lain.

Tabel 2. Sumber data

Data	Sumber
Proyeksi kenaikan muka air laut	<i>Sea Level Projection Tool</i> (NASA) (https://sealevel.nasa.gov/)
Citra satelit sentinel-1 tahun 2018-2023	<i>Alaska Satellite Facility</i> (ASF) (https://search.asf.alaska.edu/)
Batas administrasi tahun 2022	Badan Informasi Geospasial (BIG) (https://geoservices.big.go.id/)
Model Elevasi Digital (DEM Nasional)	Badan Informasi Geospasial (BIG) (https://tanahair.indonesia.go.id/)
Penggunaan lahan tahun 2019	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) (https://spatial.phl.menlhk.go.id/)
RTRW Provinsi Lampung tahun 2023-2043	Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional (ATR/BPN) (https://gistaru.atrbpn.go.id/)
Bangunan dan fasilitas tahun 2020	<i>Open Street Map</i> (OSM) (https://www.openstreetmap.org/)
Valuasi ekonomi lahan	Tinjauan literatur dan asumsi

Sumber: Analisis, 2025



Gambar 2. Kerangka metode penelitian
Sumber: Analisis, 2025

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain aplikasi komputer ArcMap 10.8 dari esri, *sentinel application platform* (SNAP) versi 11.0., dan microsoft excel. Sumber data yang digunakan dalam kajian berasal dari berbagai sumber dijabarkan pada Tabel 2. Penelitian GIS ini dibagi menjadi tiga tahap utama. Pertama, pemetaan proyeksi penurunan tanah dengan metode InSAR. Kedua, pemetaan proyeksi genangan akibat kenaikan muka air laut dengan model bak

mandi (*bathtub model*). Ketiga, estimasi kerusakan dari perbandingan valuasi kerugian ekonomi akibat genangan. Kerangka metode penelitian diilustrasikan pada Gambar 2.

3.2. Konsep Dasar dan Definisi Operasional

Untuk memastikan konsistensi interpretasi dan validitas konstruksi penelitian, diperlukan penetapan konsep dasar teoretis dan definisi operasional yang ketat bagi setiap variabel utama. Definisi ini diturunkan dari literatur dalam bidang oseanografi fisik, geodesi satelit, dan perencanaan wilayah dan kota.

3.2.1. Konsep Dasar

Penelitian ini menggunakan terminologi yang spesifik merujuk pada Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang. Perbedaan ini krusial untuk mendudukan posisi penelitian. Perencanaan tata ruang (*spatial planning*) didefinisikan sebagai suatu proses untuk menentukan struktur ruang dan pola ruang yang meliputi penyusunan dan penetapan rencana tata ruang. Dalam judul penelitian, istilah ini merujuk pada fungsi manajemen dan intervensi kebijakan publik yang bertujuan mengatur distribusi aktivitas manusia untuk mitigasi bencana. Rencana tata ruang (*spatial plan*) didefinisikan sebagai hasil atau produk dari perencanaan tata ruang. Ini adalah dokumen legal berbentuk peta dan aturan yang mengikat.

Perubahan iklim dan kenaikan muka air laut (*sea level rise*) mengacu pada konsensus ilmiah terbaru dari *intergovernmental panel on climate change* (IPCC) dalam laporan penilaian keenam (AR6). Kenaikan muka air laut dipahami sebagai fenomena global yang didorong oleh dua mekanisme utama: ekspansi termal volume air laut akibat pemanasan global (*thermosteric*) dan penambahan massa air akibat pencairan gletser dan lapisan es di daratan (*barystatic*). Penelitian ini menggunakan *relative sea level* (RSL). RSL adalah tinggi muka laut yang dirasakan secara lokal relatif terhadap permukaan tanah di pesisir tertentu. Dalam konteks mitigasi bencana, RSL adalah indikator yang paling relevan karena merepresentasikan ancaman riil genangan terhadap infrastruktur pesisir.

Penurunan muka tanah (*land subsidence*) didefinisikan sebagai pergerakan permukaan bumi ke arah bawah (vertikal negatif) relatif terhadap datum referensi geodetik yang stabil. Di wilayah pesisir yang tersusun atas endapan aluvial kuartar seperti di Provinsi Lampung, fenomena ini dihipotesiskan terjadi akibat interaksi kompleks antara faktor alamiah seperti konsolidasi alamiah sedimen muda (*natural compaction*) dan aktivitas tektonik dengan faktor antropogenik yang mempercepat proses tersebut. Penurunan tanah dalam penelitian ini diposisikan sebagai variabel penguat (*amplifier*) yang secara signifikan memperparah dampak kenaikan muka air laut global, menciptakan efek risiko ganda (*compound risk*).

Genangan pesisir (*coastal inundation*) didefinisikan sebagai kondisi hidrologis di mana lahan yang sebelumnya kering (berada di atas garis pasang tertinggi) menjadi terendam air laut secara permanen. Dalam studi ini, genangan dibedakan dari banjir pasang surut (*tidal flooding* atau rob) yang bersifat sementara. Fokus utama adalah pada transformasi permanen garis pantai ke arah daratan (*shoreline retreat*) akibat kenaikan elevasi muka air laut relatif yang melebihi elevasi topografi lahan. Model genangan yang digunakan mengasumsikan konektivitas hidrologis, di mana air laut hanya akan menggenangi area rendah yang memiliki jalur hubungan langsung dengan laut, menghindari kesalahan klasifikasi pada cekungan endorheik di pedalaman.

Skenario jalur sosio-ekonomi bersama (*shared socioeconomic pathways - SSP*) dari IPCC AR6 untuk memproyeksikan kondisi iklim masa depan. SSP merepresentasikan narasi alternatif tentang perkembangan sosio-ekonomi global yang mungkin terjadi hingga tahun 2100, yang mencakup asumsi tentang pertumbuhan populasi, perkembangan ekonomi, teknologi, dan kebijakan lingkungan. Skenario ini digunakan untuk memodelkan emisi gas rumah kaca yang kemudian diterjemahkan menjadi proyeksi pemanasan global dan kenaikan muka air laut.

Valuasi ekonomi aset spasial mengintegrasikan ekonomi lingkungan ke dalam perencanaan tata ruang. Nilai lahan tidak hanya dipandang sebagai komoditas

pasar saat ini, tetapi sebagai aset strategis yang memiliki potensi nilai masa depan (*future value*). Valuasi dilakukan untuk mengestimasi *damage exposure* atau paparan kerusakan, yaitu total nilai moneter dari aset fisik dan fungsi lahan yang berisiko hilang akibat genangan.

3.2.2. Definisi Operasional Variabel

Perencanaan tata ruang (*spatial planning*) istilah perencanaan dipilih karena penelitian ini bertujuan mengevaluasi fungsi sistemik dan intervensi kebijakan. Perencanaan dipandang sebagai sebuah instrumen aktif (*tool*) atau mekanisme pengaturan yang bekerja untuk mengarahkan pembangunan. Judul ini merefleksikan pertanyaan apakah sistem perencanaan kita berhasil bertindak sebagai instrumen mitigasi bencana. Meskipun konsep penelitiannya adalah mengevaluasi kinerja perencanaan (sistem/proses), variabel operasional yang diukur dan dianalisis secara teknis dalam penelitian ini adalah produk konkret, yaitu dokumen rencana tata ruang wilayah (RTRW) Provinsi Lampung tahun 2023-2043. Dokumen RTRW (khususnya peta pola ruang dan struktur ruang) diperlakukan sebagai representasi fisik dari kebijakan perencanaan yang akan di-*overlay* dengan peta ancaman bencana untuk mengukur efektivitas secara kuantitatif.

Peran perencanaan tata ruang (*role of spatial planning*) merupakan kapasitas intervensi kebijakan spasial dalam mengatur distribusi aktivitas manusia dan aset pembangunan untuk meminimalkan risiko bencana. Diukur sebagai selisih (*delta*) nilai kerugian ekonomi antara skenario tanpa perencanaan (menggunakan data *land use* eksisting) dengan skenario perencanaan (menggunakan data pola ruang RTRW Provinsi Lampung 2023-2043).

Mengurangi dampak (*reducing impact*) merupakan upaya mitigasi dan adaptasi untuk memperkecil konsekuensi negatif fisik dan ekonomi akibat bencana. Terhindar-nya aset fisik (bangunan, infrastruktur) dan lahan produktif dari zona bahaya genangan melalui mekanisme zonasi (pengaturan peruntukan lahan) yang

ditetapkan dalam dokumen legal RTRW. Indikator berupa luas area (ha) atau jumlah unit aset.

Kenaikan muka air laut relatif (*relative sea level rise* - RSLR) merupakan penjumlahan vektor antara kenaikan eustatik global (berdasarkan skenario IPCC AR6) dan laju penurunan tanah vertikal lokal di pesisir Lampung. Indikator berupa nilai elevasi air laut (meter) di atas referensi *mean sea level* (MSL) pada tahun target 2043, 2050, dan 2100.

Penurunan permukaan tanah (*land subsidence*) merupakan nilai deformasi vertikal rata-rata tahunan (*mean vertical velocity*) yang diekstraksi dari pengolahan fase sinyal radar satelit Sentinel-1 menggunakan teknik DInSAR (*differential interferometric synthetic aperture radar*). Satuan ukur milimeter per tahun (mm/tahun) atau meter per tahun (m/tahun).

Proyeksi genangan (*inundation area*) merupakan wilayah daratan yang diprediksi akan terendam air laut secara permanen di masa depan apabila elevasi tanahnya lebih rendah dari proyeksi elevasi muka air laut. Piksel-piksel pada peta digital (DEM) yang memiliki nilai ketinggian lebih kecil atau sama dengan nilai kenaikan muka air laut relatif pada tahun proyeksi, dengan syarat piksel tersebut memiliki konektivitas hidrologis langsung ke laut. Satuan ukur hektar (ha) atau kilometer persegi (km²).

Penggunaan lahan eksisting (*existing land use*) merupakan klasifikasi tutupan lahan pada tahun dasar yang bersumber dari peta tutupan lahan kementerian lingkungan hidup dan kehutanan (KLHK). Sebagai *baseline* untuk menghitung kerugian ekonomi riil saat ini jika terjadi bencana.

Bangunan dan fasilitas (*buildings and facilities*) merupakan data vektor titik (*point*) atau poligon (*footprint*) yang merepresentasikan lokasi unit bangunan (rumah, sekolah, tempat ibadah) dan fasilitas umum (pasar, terminal) yang bersumber dari *Open Street Map* (OSM) tahun 2020.

Pola ruang (*spatial pattern*) merupakan distribusi peruntukan ruang dalam suatu wilayah yang meliputi peruntukan ruang untuk fungsi lindung dan peruntukan ruang untuk fungsi budi daya (Pasal 1 UU 26/2007). Ini adalah rencana masa depan. Poligon zonasi dalam Peta RTRW Provinsi Lampung 2023-2043 yang menetapkan fungsi legal suatu area. Kawasan lindung adalah area yang ditetapkan untuk perlindungan ekosistem. Kawasan budi daya adalah area yang ditetapkan untuk kegiatan produksi. Sebagai pembanding (komparator) terhadap penggunaan lahan eksisting untuk melihat apakah rencana tata ruang bersifat adaptif atau maladaptif.

Struktur ruang (*spatial structure*) merupakan susunan pusat-pusat permukiman dan sistem jaringan prasarana dan sarana yang berfungsi sebagai pendukung kegiatan sosial ekonomi masyarakat yang secara hierarkis memiliki hubungan fungsional (Pasal 1 UU 26/2007). Data vektor garis (*line*) dan titik (*point*) dalam peta RTRW Lampung yang merepresentasikan rencana jaringan infrastruktur vital.

Kawasan strategis (*strategic areas*) merupakan wilayah yang penataannya diprioritaskan karena mempunyai pengaruh sangat penting dalam lingkup provinsi terhadap ekonomi, sosial, budaya, dan/atau lingkungan. Area yang didelineasi khusus dalam RTRW Provinsi Lampung sebagai pusat pertumbuhan ekonomi baru atau kawasan kritis lingkungan.

Valuasi kerugian ekonomi (*economic loss valuation*) merupakan proses mengonversi dampak kerusakan fisik pada aset lingkungan dan bangunan menjadi nilai moneter. Perhitungan *direct use value* (nilai guna langsung) dari lahan yang hilang, dihitung dengan mengalikan luas area tergenang (km^2) dengan nilai pasar/nilai ganti rugi wajar (Rp/ km^2) per kategori penggunaan lahan. Satuan ukur rupiah (IDR).

Nilai masa depan (*future value* - FV) merupakan Nilai aset saat ini yang diproyeksikan ke waktu berakhirnya periode peraturan RTRW Provinsi Lampung

(2043) di masa depan dengan memperhitungkan tingkat pertumbuhan nilai atau inflasi.

3.3. Daerah Penelitian

Penelitian ini berfokus pada pesisir Provinsi Lampung. Provinsi Lampung merupakan wilayah administratif terdiri dari kota dan kabupaten. Wilayah penelitian membentang dari Kabupaten Pesisir Barat di sebelah barat hingga Kabupaten Tulang Bawang di sebelah timur. Daerah Lampung dibagi dalam lima belas wilayah administrasi yang terdiri dari 13 Kabupaten dan 2 Kota.

Menurut Suroso (2022), perencanaan dapat dibagi menjadi tiga skala, yaitu skala makro, meso, dan mikro dengan cakupan masing-masing nasional, provinsi, dan kabupaten/kota. Skala perencanaan ini sejalan dengan Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 yang membagi rencana tata ruang secara hierarkis menjadi rencana tingkat nasional, provinsi, dan kabupaten/kota.

Terkait dengan skala dan hierarki perencanaan, wilayah Provinsi Lampung diatur dalam Peraturan Daerah Nomor 14 Tahun 2023 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Lampung Tahun 2023-2043. Meskipun wilayah kajiannya berskala provinsi, namun kedalaman analisis kajian ini mencakup wilayah pemerintahan kabupaten/kota karena masing-masing daerah mempunyai ciri khas. Karena karakteristik geografis, sosial, ekonomi, dan perkotaan-pedesaan setiap wilayah bersifat unik, maka paparan bahaya genangan pesisir akan berbeda-beda di setiap wilayah. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat dijadikan rekomendasi untuk perencanaan sebagai unit analisis tingkat kabupaten.

3.4. Pemetaan Penurunan Tanah

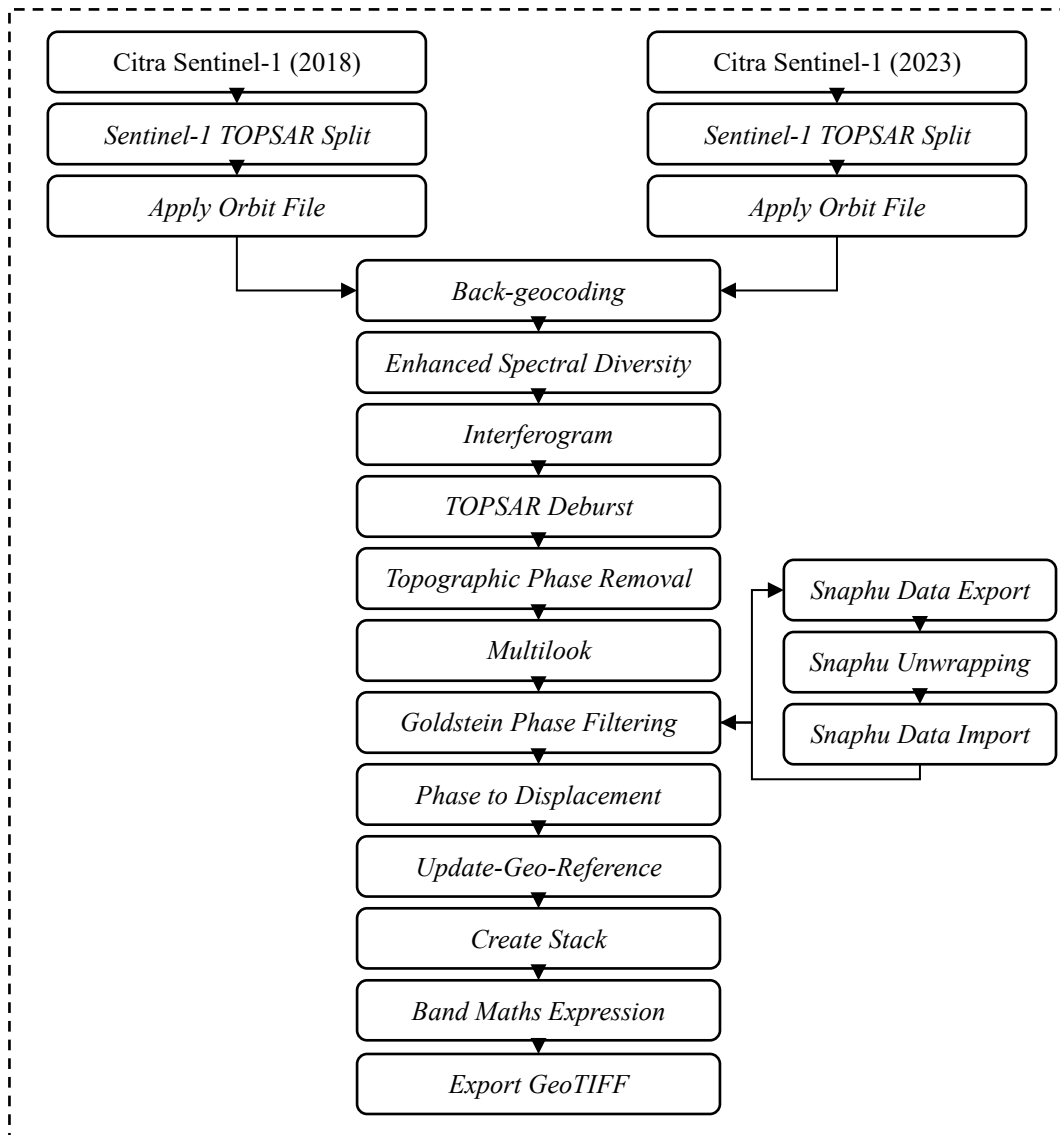
Tahap pertama adalah pemetaan proyeksi penurunan tanah. Metode yang paling umum untuk mengukur penurunan tanah dan mempelajari distribusi spasial adalah GNSS, InSAR, dan *leveling*, yang masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri. Secara spasial, pengukuran leveling, GNSS, dan ekstensometer relatif jarang digunakan, karena pengukuran ini hanya dapat

dilakukan di sejumlah lokasi yang relatif terbatas. Di sisi lain, pengukuran InSAR di semua lokasi secara spasial dapat digunakan dengan resolusi dan kepadatan yang bergantung pada ukuran piksel data SAR yang digunakan (Kalaitzis et al., 2023). Dengan demikian, metode InSAR digunakan pada penelitian ini, hasil InSAR ditampilkan dalam bentuk deformasi (meter), dengan asumsi proyeksi linier dari fenomena tersebut. Dengan demikian, potensi variasi dalam jangka waktu yang dipertimbangkan dapat ditiadakan.

Analisis deret waktu data InSAR sebagai alat untuk memantau dan mengukur pergeseran permukaan bumi. Perubahan permukaan bumi dapat disebabkan oleh berbagai fenomena seperti gempa bumi, gunung berapi, tanah longsor, variasi permukaan air tanah, dan perubahan permukaan air lahan basah. Sistem *synthetic aperture radar* (SAR) memancarkan gelombang elektromagnetik atau *emit electromagnetic* (EM) dan mengumpulkan energi yang dikembalikan dari target ke dalam arah antenna (Osmanoğlu et al., 2016). Banyak sistem radar memancarkan radiasi koheren dalam bagian gelombang mikro dari spektrum, yang berarti bahwa radiasi EM memiliki pola radiasi sinusoidal dengan amplitudo yang melewati titik minimum dan maksimum yang terdefinisi dengan baik. Panjang gelombang menentukan jarak satuan untuk pengukuran fase SAR.

Pengukuran SAR memiliki dua hal yang dapat diamati, amplitudo dan fase. Amplitudo adalah kekuatan gelombang elektromagnetik yang dihamburkan kembali dan terkait dengan bentuk, orientasi, dan sifat listrik target. Sistem SAR dapat mengukur fase sinyal balik dengan sangat tepat, tetapi jangkauan, jumlah total panjang gelombang, sulit diukur secara langsung. Ini mirip dengan memiliki jam analog yang sangat akurat, tanpa jarum menit atau jam. Pengukuran fase InSAR mendeteksi perubahan antara dua akuisisi SAR, yang secara umum disebut sebagai akuisisi master dan slave. Sinyal fase InSAR merupakan jumlah perubahan sekaligus pada semua faktor dan bergantung pada penerapannya, beberapa faktor dapat dianggap sebagai gangguan. Misalnya, jika menghasilkan model elevasi digital (DEM) merupakan tujuan utama, maka deformasi dapat dianggap sebagai gangguan. Dengan cara yang sama, metode analisis deret waktu

harus menghilangkan kontribusi fase topografi stabil (DEM) untuk memperoleh gerakan tanah.



Gambar 3. Proses analisis InSAR
Sumber: Analisis, 2025

Memanfaatkan dua buah akuisisi citra atau lebih sebagai komponen utama citra *slave* dan *master*. Citra sentinel-1 yang memiliki sensor SAR dengan jenis gelombang C-band dapat digunakan dan dikaji dengan metode InSAR. Analisis InSAR (*interferometric synthetic aperture radar*) digunakan sebagai alat untuk memantau dan mengukur pergeseran permukaan bumi. Perubahan permukaan bumi dapat disebabkan oleh berbagai fenomena seperti gempa bumi, gunung

berapi, tanah longsor, variasi permukaan air tanah, dan perubahan permukaan air lahan basah.

Analisis menggunakan software snap. Proses analisis dengan metode InSAR ditampilkan pada Gambar 3. Tahapan awal yaitu koregistrasi di mana akan dihitung koherensinya pada pasangan citra, setelah itu lanjut proses pembentukan interferogram, pengolahan phase *unwrapping*, kemudian pengolahan konversi fase menjadi tinggi, pembentukan model tinggi permukaan, kemudian pengolahan geocoding barulah model tinggi permukaan digital ber-georeferensi dapat digunakan sebagai penurunan tanah. Hasil penelitian dengan memanfaatkan metode InSAR sentinel-1 dapat menunjukkan penurunan muka tanah di Provinsi Lampung,

3.5. Pemetaan Proyeksi Genangan Akibat Kenaikan Muka Air Laut

Metode ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan memetakan wilayah pesisir yang berpotensi tergenang (*inundasi*) pada periode waktu tertentu di masa depan akibat fenomena kenaikan muka air laut (*sea level rise*).

3.5.1. Penggunaan Model Elevasi Digital

Digital elevation model (DEM) merupakan salah satu data masukan untuk model genangan pantai. DEM yang digunakan dalam penelitian ini diolah dari data DEMNAS. Badan Informasi Geospasial (BIG) telah mempublikasikan *seamless digital elevation model nasional* (DEMNAS) pada tahun 2018 dengan resolusi spasial 0,27 arc-second (Sulistian et al., 2021). DEMNAS dibuat dari *digital surface model* (DSM) *terra synthetic aperture radar* (TerraSAR) data DSM ini kemudian dikoreksi menjadi *digital terrain model* (DTM) yang menunjukkan permukaan tanpa kanopi tanaman dan bangunan. Data DEMNAS diperbarui dengan data deformasi 2018-2043 untuk memproyeksikan kondisi DEM Provinsi Lampung pada tahun 2043. DEM yang telah diperbarui digunakan sebagai data masukan model genangan pantai.

3.5.2. Penentuan Skenario Kenaikan Muka Laut

Shared socioeconomic pathways (SSP) adalah serangkaian skenario yang diadopsi oleh *intergovernmental panel on climate change* (IPCC) dalam laporan penilaian keenam (AR6) untuk memodelkan perubahan iklim global di masa depan.

Berbeda dengan pendekatan yang hanya berfokus pada emisi gas rumah kaca, SSP menawarkan narasi tentang bagaimana kondisi sosial-ekonomi dunia akan berkembang hingga tahun 2100. SSP menggambarkan berbagai kemungkinan masa depan di mana dunia menghadapi tantangan yang berbeda dalam hal mitigasi (upaya mengurangi emisi) dan adaptasi (kemampuan menyesuaikan diri terhadap dampak iklim). Inti dari SSP adalah memberikan konteks manusia di balik angka-angka kenaikan suhu, menjelaskan apakah masa depan akan didorong oleh keberlanjutan, persaingan wilayah, atau pertumbuhan berbasis bahan bakar fosil.

Perumusan skenario SSP didasarkan pada interaksi kompleks dari lima variabel kuantitatif dan kualitatif utama yang menentukan kapasitas sebuah negara atau wilayah dalam menghadapi perubahan iklim. Variabel-variabel tersebut meliputi:

1. Demografi, proyeksi pertumbuhan populasi, struktur usia, dan laju urbanisasi.
2. Pembangunan ekonomi, tren produk domestik bruto (PDB), pendapatan per kapita, dan ketimpangan ekonomi global maupun regional.
3. Kesejahteraan sosial, akses terhadap pendidikan, kesehatan, dan pengentasan kemiskinan.
4. Teknologi, kecepatan inovasi teknologi, intensitas energi, dan efisiensi karbon.
5. Tata kelola (*governance*), kualitas institusi, tingkat kerjasama internasional, dan stabilitas politik.

Kombinasi dari variabel-variabel ini menentukan seberapa sulit bagi dunia untuk mengurangi emisi (tantangan mitigasi) dan seberapa siap masyarakat menghadapi bencana (tantangan adaptasi) (Garner *et al.*, 2021).

Dalam pemodelan iklim mutakhir, SSP tidak berdiri sendiri melainkan dikombinasikan dengan tingkat *radiative forcing* (daya paksa radiasi) yang menunjukkan target akumulasi panas di atmosfer pada tahun 2100. Sistem pengkodean menggunakan format SSPx-y.y, di mana x adalah narasi sosio-ekonomi (1-5) dan y.y adalah target iklim. Secara teoritis, terdapat matriks kombinasi yang luas, namun narasi utamanya adalah:

1. SSP1 (*sustainability*), dunia bergeser ke pembangunan inklusif dan ramah lingkungan.
2. SSP2 (*middle of the road*), tren pembangunan berlanjut sesuai pola historis tanpa perubahan radikal.
3. SSP3 (*regional rivalry*), nasionalisme bangkit, kerjasama global runtuh, pertumbuhan ekonomi lambat.
4. SSP4 (*inequality*), kesenjangan ekstrem antara elit global rendah karbon dan mayoritas miskin yang rentan.
5. SSP5 (*fossil-fueled development*), pembangunan ekonomi pesat dan berbasis teknologi, namun sangat bergantung pada bahan bakar fosil.

Pengkodean lengkap menggabungkan narasi ini dengan target *forcing*. 1.9 (sangat rendah), 2.6 (rendah), 4.5 (menengah), 7.0 (tinggi), dan 8.5 (sangat tinggi).

Contoh kode yang dihasilkan adalah SSP1-2.6 atau SSP5-8.5.

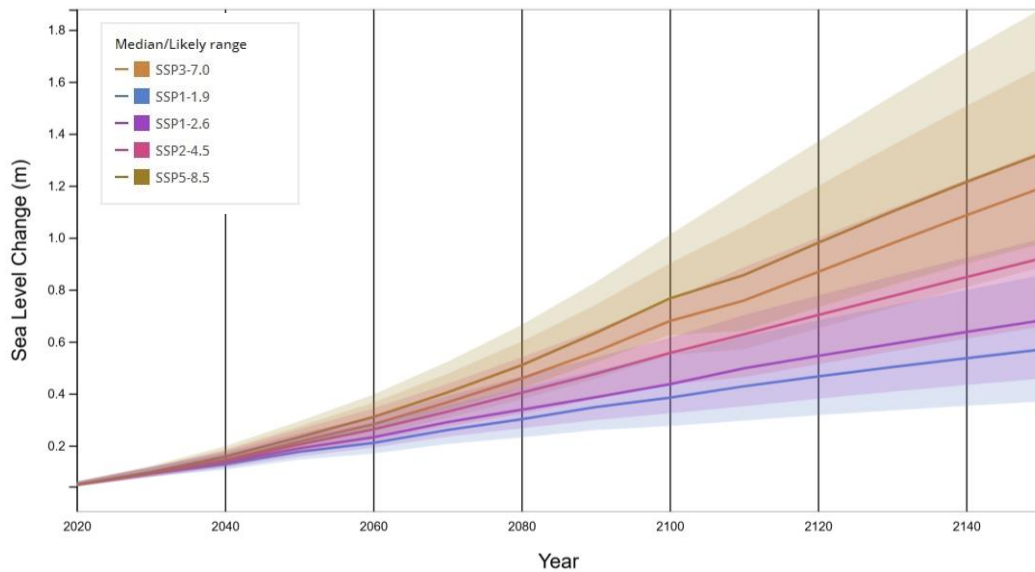
Kopp *et al.* (2023) menjadi rujukan utama dalam studi kenaikan muka air laut, tidak menggunakan seluruh kombinasi matriks SSP yang tersedia. Keputusan ini didasari oleh dua alasan utama infeasibilitas teknis dan efisiensi komputasi.

Pertama, beberapa kombinasi dianggap tidak masuk akal secara logis; misalnya, skenario SSP3-2.6 hampir mustahil terjadi karena dunia yang terfragmentasi dan penuh konflik (SSP3) tidak akan mampu menjalin kerjasama global yang diperlukan untuk mencapai target emisi rendah (2.6). Kedua, untuk efisiensi pemodelan, peneliti memprioritaskan skenario yang mewakili rentang ketidakpastian yang jelas. SSP1-2.6 (optimis), SSP2-4.5 (*moderat/baseline*), dan SSP5-8.5 (pesimis/ekstrem). Skenario lain seringkali memberikan hasil yang tumpang tindih sehingga tidak signifikan untuk analisis kebijakan.

Tabel 3. Proyeksi kenaikan permukaan laut skenario SSP

Tahun	Skenario Proyeksi (m)				
	SSP1-1.9	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Total (2030)	0,09 (0,08-0,12)	0,09 (0,08-0,12)	0,09 (0,08-0,12)	0,09 (0,08-0,12)	0,10 (0,09-0,12)
Total (2050)	0,18 (0,15-0,23)	0,19 (0,16-0,25)	0,20 (0,17-0,26)	0,21 (0,18-0,27)	0,23 (0,20-0,29)
Total (2090)	0,35 (0,26-0,49)	0,39 (0,30-0,54)	0,48 (0,38-0,65)	0,56 (0,46-0,74)	0,63 (0,52-0,83)
Total (2100)	0,38 (0,28-0,55)	0,44 (0,32-0,61)	0,56 (0,43-0,76)	0,68 (0,55-0,90)	0,77 (0,63-1,01)
Total (2150)	0,57 (0,37-0,85)	0,68 (0,46-0,99)	0,92 (0,66-1,33)	1,19 (0,89-1,65)	1,32 (0,98-1,88)

Sumber: Kopp et al., 2022



Gambar 4. Proyeksi kenaikan permukaan laut skenario SSP

Sumber: Kopp et al., 2022

Banyak peneliti dan perencana wilayah memilih menggunakan karena metodologi ini menawarkan pendekatan probabilistik dan lokal. Menyajikan rentang kemungkinan (persentil) yang memungkinkan perencana untuk memitigasi risiko berdasarkan tingkat kepercayaan. Selain itu faktor *local sea level* (LSL) yang spesifik, seperti *glacial isostatic adjustment* (penyesuaian kerak bumi pasca es mencair), efek gravitasi dari hilangnya massa es, serta faktor tektonik regional. Hal ini membuat data mereka jauh lebih akurat untuk diterapkan dalam

perencanaan tata ruang di lokasi spesifik, seperti pesisir Indonesia, dibandingkan sekadar menggunakan rata-rata global.

Proyeksi perubahan muka air laut untuk 5 skenario SSP, relatif terhadap garis dasar 1995-2014 dalam meter ditampilkan pada Tabel 3 dan Gambar 4. Skenario SSP yang disajikan Kopp et al. (2022):

1. SSP1-1.9 (sangat optimis) menahan kenaikan suhu global di kisaran 1,5°C pada tahun 2100 (relatif terhadap era pra-industri 1850-1900), meskipun mungkin sedikit melampaui batas tersebut untuk sementara. Skenario ini mengasumsikan dunia mencapai emisi karbon nol bersih (*net zero*) pada pertengahan abad ini.
2. SSP1-2.6 (optimis) menjaga kenaikan suhu tetap di bawah 2,0°C. Hal ini mensyaratkan tercapainya emisi nol bersih di paruh kedua abad ini.
3. SSP2-4.5 (moderat/jalan tengah) sejalan dengan komitmen iklim negara-negara saat ini (*nationally determined contributions/NDC*) hingga tahun 2030. Jika dunia mengikuti komitmen NDC saat ini, suhu diprediksi naik antara 2,7°C hingga 3,4°C pada tahun 2100. Meskipun banyak negara mulai menjanjikan *net zero* di 2050, proyeksi emisi jangka pendek (hingga 2030) belum banyak berubah. Oleh karena itu, skenario ini mewakili kondisi di mana tidak ada kebijakan iklim drastis tambahan, dengan estimasi kenaikan suhu terbaik sekitar 2,7°C di akhir abad ini.
4. SSP3-7.0 (pesimis) emisi menengah-tinggi yang terjadi jika tidak ada kebijakan iklim tambahan, diperparah dengan persaingan regional (narasi SSP3). Skenario ini memiliki ciri khas tingginya emisi non-CO₂, termasuk polusi aerosol yang pekat.
5. SSP5-8.5 (sangat pesimis/ekstrem) emisi tertinggi tanpa adanya kebijakan iklim. Tingkat emisi ekstrem seperti ini hanya mungkin terjadi dalam narasi SSP5, di mana ekonomi tumbuh pesat namun sangat bergantung pada pembakaran bahan bakar fosil secara masif.

Jika dibandingkan dengan era pra-industri (1850-1900), suhu udara rata-rata global pada periode 2081–2100 (probabilitas $\geq 90\%$) akan meningkat sebesar

1,0°C–1,8°C pada SSP1-1.9, 1,3°C–2,4°C pada SSP1-2.6, 2,1°C–3,5°C pada SSP2-4.5, 2,8°C–4,6°C pada SSP3-7.0, dan 3,3°C–5,7°C pada SSP5-8.5.

3.5.3. Mengembangkan Model Genangan Pesisir

Model genangan pesisir dikembangkan dengan menggunakan model bak mandi (*bathhtub model*). Model ini digunakan karena sebagian besar penilaian kerentanan kenaikan permukaan laut (SLR) dilakukan dengan menggunakan pendekatan bak mandi yang mudah diterapkan, yaitu wilayah yang berbatasan dengan laut dan berada di bawah ketinggian tertentu dipetakan menggunakan garis deterministik yang memisahkan wilayah yang berpotensi tergenang air dan wilayah kering. Model bak mandi berfungsi dengan memperlakukan laut seperti bak mandi yang terisi seperti bak mandi ketika menambahkan air (Suroso, 2022). Demikian pula dalam penelitian ini, peta genangan pantai dihasilkan menggunakan data DEM dan data kumulatif tinggi muka air laut seperti yang ditentukan pada Tabel 3. Sebagaimana diuraikan di atas, dalam kaitannya dengan dampak perubahan iklim terhadap wilayah pesisir, terdapat dua jenis bahaya, yaitu genangan pantai dan erosi pantai. Namun karena skala model banjir yang kecil, peta yang dihasilkan hanya menunjukkan kemunduran garis pantai. Tidak mungkin membedakan apakah kemunduran pantai disebabkan oleh erosi atau banjir.

3.6. Estimasi Kerusakan dari Perbandingan Valuasi Kerugian Ekonomi

Analisis menilai peran rencana tata ruang dalam mengurangi paparan dan memperkirakan kerusakan didasarkan metode yang telah dilakukan oleh Suroso dan Firman (2018). Dilakukan penyesuaian agar metode relevan sehingga digunakan pada penelitian ini.

3.6.1. Genangan terhadap Eksisting dan Rencana

Langkah pertama dalam menilai peran perencanaan tata ruang dalam mengurangi paparan genangan pesisir adalah dengan mengidentifikasi tingkat paparan pada dua kondisi, yaitu kondisi *baseline* dan kondisi proyeksi. Secara umum penilaian ini menggunakan analisis overlay dengan menggunakan alat GIS, dengan tingkat analisis sampai tingkat kabupaten/kota. Untuk kondisi baseline, peta genangan

pantai yang telah dihasilkan pada analisis sebelumnya di-overlay pada peta penggunaan lahan eksisting yang disediakan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Selain penggunaan lahan, peta keterpaparan genangan juga di-overlay pada peta bangunan dan fasilitas Tahun 2020 disediakan oleh Open Street Map (OSM) untuk mengetahui sejauh mana genangan pesisir yang telah berdampak pada pembangunan yang ada. Sedangkan untuk kondisi proyeksi, peta genangan pantai masa depan di-overlay pada peta rencana pola ruang, struktur ruang, dan kawasan strategis Provinsi Lampung 2023-2043, Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional (ATR/BPN). Hal ini menunjukkan sejauh mana proyeksi bahaya pesisir berpotensi mengancam rencana penggunaan lahan.

Kajian tahap selanjutnya adalah membandingkan hasil kedua kondisi tersebut guna melihat perubahan luasan genangan pada setiap jenis penggunaan lahan yang dianalisis, baik pada tingkat provinsi maupun kabupaten/kota. Selama ini perubahan tingkat keterpaparan genangan pantai hanya dilihat berdasarkan penambahan luas genangan, sedangkan analisis tahap selanjutnya akan menunjukkan peran penataan ruang terhadap perubahan tersebut.

3.6.2. Valuasi Kerugian Ekonomi

Salah satu kontribusi praktis dan aplikasi strategis utama dari penelitian ini adalah pemanfaatan database valuasi aset spasial yang telah disusun sebagai dasar perhitungan kerugian bencana (*disaster loss baseline*) yang bersifat kuantitatif. Penelitian ini tidak berhenti pada inventarisasi nilai aset secara statis, namun memposisikan temuan valuasi sebagai sebuah lapisan data (*layer*) fundamental untuk penilaian kerugian dan kerusakan (*loss and damage assessment*). Secara metodologis, perhitungan potensi kerugian dilakukan melalui analisis *overlay* spasial antara peta valuasi aset dengan peta skenario area tergenang akibat kenaikan muka air laut.

$$Total\ Kerugian\ Ekonomi = \sum (Nilai\ Aset \times Jumlah\ Unit\ Terdampak)$$

Total potensi kerugian ekonomi (*potential economic loss*) dari skenario bencana kemudian dikalkulasi dengan mengalikan nilai aset terdampak yang berada di dalam area tergenang tersebut. Kemampuan untuk mengkuantifikasi kerugian secara moneter ini sangat krusial, karena mengubah analisis risiko memiliki eksposur risiko kerugian aset. Hal ini memberikan justifikasi yang jauh lebih kuat dalam memprioritaskan dan merancang intervensi kebijakan untuk perencanaan adaptasi serta mitigasi bencana di Provinsi Lampung.

Tabel 4. Kategori atau sektor lahan

Kategori/Sektor	Penggunaan Lahan	Pola Ruang
Kawasan Lindung	▪ Belukar ▪ Belukar Rawa ▪ Hutan Lahan Kering Primer ▪ Hutan Lahan Kering Sekunder ▪ Hutan Mangrove Sekunder ▪ Hutan Rawa Sekunder ▪ Savana / Padang rumput ▪ Tanah Terbuka	▪ Badan Air ▪ Kawasan Ekosistem Mangrove ▪ Kawasan Konservasi ▪ Kawasan Pencadangan Konservasi di Laut ▪ Kawasan Perlindungan Setempat ▪ Kawasan Pertahanan dan Keamanan ▪ Kawasan yang Memberikan Perlindungan terhadap Kawasan Bawahannya
Pemukiman	▪ Pemukiman	▪ Kawasan Permukiman
Pertanian	▪ Pertanian Lahan Kering ▪ Pertanian Lahan Kering Campur ▪ Sawah	▪ Kawasan Pertanian
Perikanan	▪ Tambak	▪ Kawasan Perikanan
Perkebunan	▪ Perkebunan	▪ Kawasan Hutan Produksi
Industri	▪ Bandara/Pelabuhan	▪ Kawasan Peruntukan Industri ▪ Kawasan Transportasi
Pariwisata		▪ Kawasan Pariwisata
Pertambangan	▪ Pertambangan	▪ Kawasan Pertambangan dan Energi

Sumber: Analisis, 2025

Valuasi kerugian ekonomi dilakukan dengan dua skenario. Skenario pertama menghitung valuasi semua kategori untuk melihat kerugian yang terjadi secara keseluruhan. Skenario kedua valuasi nilai guna langsung dari lahan yang tergenang untuk melihat kerugian akibat perubahan penggunaan lahan (Tabel 4) yang terjadi. Untuk melihat proyeksi dari nilai yang diketahui di masa sekarang (2023) ke nilai yang tidak diketahui di masa depan (2043). Mekanisme analisis

yang digunakan adalah proyeksi prospektif untuk menemukan *future value* (FV) pada tahun 2043. Perhitungan menggunakan *compounding factor* (penggandaan) dengan rumus:

$$FV = PV(1 + g)^n$$

di mana (g) adalah asumsi laju pertumbuhan nilai (*value growth rate*). Penggunaan skenario laju pertumbuhan (g) berfungsi sebagai analisis sensitivitas untuk menguji ketahanan hasil proyeksi terhadap asumsi yang berbeda.

Penghitungan nilai ekonomi masa depan dalam tulisan ini hanya berfokus pada nilai guna (tidak termasuk nilai non guna) berdasarkan nilai pasar setiap jenis penggunaan lahan. Hal ini dilakukan karena tujuannya adalah untuk memberikan indikatif nilai moneter atas kerusakan yang dapat dihindari jika penggunaan lahan tidak dikonversi.

3.6.3. Perbandingan Valuasi Kerugian Ekonomi

Tujuan dari Estimasi Paparan Kerusakan adalah untuk memberikan indikatif kerugian ekonomi di masa depan akibat perubahan penggunaan lahan dari kawasan non-terbangun menjadi kawasan terbangun. Nilai ekonomi kawasan terbangun lebih tinggi dibandingkan kawasan non terbangun. Namun, dari perspektif potensi kerusakan akibat bencana, paparan kerusakan diartikan sebagai potensi kerugian ekonomi (Purnama *et al.*, 2015). Misalnya, ketika lahan pesisir pada awalnya digunakan untuk tambak, karena adanya perubahan tata ruang digunakan untuk industri, maka nilai ekonomi dari lahan tersebut akan meningkat. Ward *et al.* (2011) menyimulasikan bahwa perubahan dari kawasan non-terbangun menjadi kawasan terbangun akan meningkatkan paparan kerusakan akibat genangan pantai karena kawasan terbangun, seperti industri dan pemukiman, memiliki nilai lahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kawasan non-terbangun. daerah-daerah yang dibangun. Namun, jika di kemudian hari industri tersebut mengalami banjir pesisir, maka akan timbul kerugian ekonomi yang setara dengan nilai uang lahan industri.

Paparan kerusakan diperkirakan dengan mengalikan nilai baku dengan luas total setiap jenis penggunaan lahan yang menurut model genangan akan mengalami banjir. Luas total setiap tipe penggunaan lahan dihitung berdasarkan selisih luas masing-masing tipe penggunaan lahan tergenang antara kondisi baseline (2023) dan proyeksi (2043). Untuk menilai apakah perubahan luas wilayah setiap jenis penggunaan lahan sesuai dengan rencana tata ruang provinsi akan mengurangi tingkat paparan terhadap banjir pesisir pada tahun 2043, *delta damage exposure estimation* (DDEE) diterapkan dengan menggunakan dua skenario:

Skenario 1: *Damage exposure estimation* (DEE) berdasarkan rencana tata ruang. Diasumsikan bahwa penggunaan lahan di masa depan akan secara dominan mencerminkan penggunaan lahan yang ditetapkan dalam rencana tata ruang provinsi. Dengan demikian, nilai standar masa depan dari setiap penggunaan lahan yang direncanakan dikalikan dengan luas setiap penggunaan lahan yang direncanakan untuk menghitung potensi paparan kerusakan.

Skenario 2: *Damage exposure estimation* (DEE) berdasarkan tata guna lahan. Diasumsikan bahwa penggunaan lahan di masa depan akan tetap sama dengan penggunaan lahan saat ini. Dengan demikian, nilai standar masa depan dari setiap penggunaan lahan di masa depan dikalikan dengan luas setiap penggunaan lahan yang ada untuk menghitung potensi paparan kerusakan.

Estimasi paparan kerusakan kemudian dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$DDEE = DEE \text{ rencana tata ruang} - DEE \text{ tata guna lahan}$$

Interpretasi dari hasil tersebut adalah sebagai berikut, jika $DDEE > 0$, maka pelaksanaan tata ruang provinsi akan menimbulkan kerugian ekonomi akibat paparan terhadap genangan pantai, dan jika $DDEE < 0$, maka pelaksanaan tata ruang provinsi akan memberikan keuntungan ekonomi karena untuk mengurangi paparan terhadap genangan pantai.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Penelitian dapat disimpulkan berdasarkan kategori analisis sebagai berikut:

1. Provinsi Lampung menunjukkan variasi deformasi, luas wilayah yang mengalami penurunan tanah ($1.383,25 \text{ km}^2$) lebih besar dibandingkan kenaikan ($873,83 \text{ km}^2$), meskipun sebagian wilayah mengalami pengangkatan, penurunan tanah terjadi lebih luas dan intensif di daerah-daerah tertentu. Beberapa wilayah Lampung Timur ($-0,91 \text{ m}$ atau $-0,0364 \text{ m/tahun}$) Lampung Selatan ($-0,90 \text{ m}$ atau $-0,036 \text{ m/tahun}$) menonjol dengan deformasi ekstrem.
2. Provinsi Lampung menghadapi risiko genangan yang signifikan akibat kenaikan muka air laut (SLR) pada skenario SSP2-4.5 (emisi moderat) mencapai $0,1492 \text{ meter}$ ($0,0047 \text{ m/tahun}$) menyebabkan total $267,60 \text{ km}^2$ area di Provinsi Lampung tergenang pada tahun 2043, dengan distribusi tertinggi di Tulang Bawang ($125,93 \text{ km}^2$) dan Lampung Timur ($61,87 \text{ km}^2$).
3. Kebijakan tata ruang yang berlaku untuk Provinsi Lampung justru meningkatkan kerentanan ekonomi secara keseluruhan terhadap ancaman SLR. Perbedaan hasil di tingkat kabupaten menunjukkan bahwa dampak kebijakan tata ruang tidak seragam. Beberapa daerah (seperti Lampung Selatan) diuntungkan, sementara yang lain (seperti Tulang Bawang, Mesuji) dirugikan.

5.2. Saran

Melihat kesimpulan dari hasil penelitian perlu mempertimbangkan risiko SLR secara lebih efektif. Berikut adalah rekomendasi yang diajukan:

5.2.1. Saran untuk pemerintah daerah dan pembuat kebijakan

1. Pemerintah Provinsi Lampung disarankan untuk mengadopsi peta proyeksi genangan akibat SLR sebagai peta tematik bencana dalam dokumen RTRW dan RDTR. Prioritas untuk daerah maladaptif (akumulasi risiko) seperti Mesuji, Pesawaran, Tulang Bawang, Tanggamus, dan Lampung Tengah. Kawasan terprediksi tergenang permanen sebaiknya menjadi prioritas utama ditetapkan sebagai zona lindung atau zona penyangga (*buffer zone*) dalam dokumen RDTR.
2. Mengingat temuan laju penurunan muka tanah (*land subsidence*) yang memperparah genangan, diperlukan regulasi ketat mengenai ekstraksi air tanah, khususnya bagi industri dan hotel di kawasan pesisir, serta mempercepat penyediaan jaringan air bersih perpipaan.
3. Untuk kawasan terbangun vital yang terancam tergenang, disarankan menerapkan kombinasi adaptasi struktural (pembangunan tanggul laut/ *sea wall*) dan non-struktural (restorasi mangrove sebagai *green belt*).
4. Disarankan melakukan pembatasan atau moratorium izin pembangunan baru skala besar di zona merah genangan yang teridentifikasi, kecuali bangunan yang dirancang adaptif (*amphibious architecture*).

5.2.2. Saran untuk Masyarakat

1. Masyarakat di zona rentan disarankan mulai meninggikan lantai bangunan atau mengadaptasi struktur bangunan panggung untuk mengantisipasi kenaikan muka air pasang.
2. Meningkatkan partisipasi dalam menjaga kelestarian ekosistem pesisir (seperti tidak merusak mangrove) yang berfungsi sebagai pelindung alami dari abrasi dan gelombang pasang.

5.2.3. Saran Akademis dan Penelitian Selanjutnya

1. Peneliti selanjutnya disarankan untuk melakukan perhitungan kerugian ekonomi yang lebih baik dan secara detail (moneterisasi) akibat dampak genangan pada aset infrastruktur dan hilangnya lahan produktif.

2. Mengembangkan model genangan dengan pendekatan hidrodinamik yang lebih kompleks, yang tidak hanya memperhitungkan kenaikan muka air laut rata-rata, tetapi juga *storm surge* (gelombang badai) dan pasang surut astronomis ekstrem.
3. Memperluas area studi penurunan muka tanah dengan menggunakan data satelit radar (InSAR) dengan rentang waktu (*time-series*) yang lebih panjang untuk mendapatkan tren deformasi yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- 99.co. (2023a). *Jual Tanah Lokasi Strategis di Panjang*.
<https://www.99.co/id/jual/tanah/bandar-lampung/panjang>
- 99.co. (2023b). *Jual tanah Tanjung Bintang*.
<https://www.99.co/id/jual/tanah/lampung-selatan/tanjung-bintang>
- 99.co. (2023c). *Tanah Dijual di Way Halim, Sukabumi, Kemiling, & Rajabasa*.
<https://www.99.co/id/jual/tanah/bandar-lampung/sukarame>
- Adhikari, S., Ivins, E. R., Frederikse, T., Landerer, F. W., & Caron, L. (2019). Sea-level fingerprints emergent from GRACE mission data. *Earth System Science Data*, 11(2), 629–646. <https://doi.org/10.5194/ESSD-11-629-2019>
- Adhikari, S., Ivins, E. R., & Larour, E. (2016). ISSM-SESAW v1.0: Mesh-based computation of gravitationally consistent sea-level and geodetic signatures caused by cryosphere and climate driven mass change. *Geoscientific Model Development*, 9(3), 1087–1109. <https://doi.org/10.5194/GMD-9-1087-2016>
- Afandi, A. (2025, October 7). *Banjir Rob dan Angin Kencang Terjang Pesisir Lampung Timur Sebabkan Kerugian Ratusan Juta*.
<https://www.netralnews.com/banjir-rob-dan-angin-kencang-terjang-pesisir-lampung-timur-sebabkan-kerugian-ratusan-juta/SUs1SVBDdytZQWpjaWtFZG5XN0Nudz09>
- Bolt, B. A., Horn, W. L., Macdonald, G. A., & Scott, R. F. (1977). Hazards from Ground Subsidence. *Geological Hazards*, 198–220.
https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7101-8_5
- Brighton. (2024, January 18). *Harga Tanah per Meter Bandar Lampung Terbaru*.
<https://www.brighton.co.id/about/articles-all/harga-tanah-per-meter-bandar-lampung-terbaru>
- Burton, I., Huq, S., Lim, B., Pilifosova, O., & Schipper, E. L. (2002). From impacts assessment to adaptation priorities: the shaping of adaptation policy. *Climate Policy*, 2(2–3), 145–159. <https://doi.org/10.3763/CPOL.2002.0217>
- Carter, J., & Sherriff, G. (2011). *Spatial Planning for Climate Change Adaptation Identifying Crosscutting Barriers and Solutions*. Centre of Urban and Regional Ecology.

- Church, R. L. (2002). Geographical information systems and location science. *Computers & Operations Research*, 29(6), 541–562. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(99\)00104-5](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(99)00104-5)
- Davidse, B. J., Othengrafen, M., & Deppisch, S. (2015). Spatial planning practices of adapting to climate change. *European Journal of Spatial Development*, 13(2), 1–21. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.5141243>
- Direktorat Jenderal Pajak. (2012). Tata Cara Pengenaan Pajak Bumi Dan Bangunan Sektor Pertambangan Untuk Pertambangan Mineral Dan Batubara, Pub. L. No. NOMOR PER-32/PJ/2012.
- Dot Property. (2023). *Tanah dijual dengan di Way Huwi, Lampung*. <https://www.dotproperty.id/land-for-sale/lampung/lampung-selatan>
- Elias, P., Benekos, G., Perrou, T., & Parcharidis, I. (2020). Spatio-Temporal Assessment of Land Deformation as a Factor Contributing to Relative Sea Level Rise in Coastal Urban and Natural Protected Areas Using Multi-Source Earth Observation Data. *Remote Sensing 2020, Vol. 12, Page 2296, 12(14)*, 2296. <https://doi.org/10.3390/RS12142296>
- Garner, G. G., Hermans, T., Kopp, R. E., Slangen, A. B. A., Edwards, T. L., Levermann, A., Nowicki, S., Palmer, M. D., Smith, C., Fox-Kemper, B., Hewitt, H. T., Xiao, C., Aðalgeirsdóttir, G., Drijfhout, S. S., Golledge, N. R., Hemer, M., Krinner, G., Mix, A., Notz, D., ... Pearson, B. (2021). *IPCC AR6 Sea Level Projections. Version 20210809*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6382554>
- Hurlimann, A. C., & March, A. P. (2012). The role of spatial planning in adapting to climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3(5), 477–488. <https://doi.org/10.1002/WCC.183>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. In *The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157964>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Ocean, Cryosphere and Sea Level Change. In *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis* (pp. 1211–1362). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.011>
- Kalaitzis, P., Mouratidis, A., Vladenidis, P., Ampatzidis, D., Moshopoulos, G., Domakinis, C., Pantazopoulou, Z., Karadimou, G., Perivolioti, T. M., Terzopoulos, D., Giataganas, E., Foumelis, M., Soulakellis, N., & Katsampalos, K. V. (2023). Mapping and monitoring subtle ground deformation in Sindos, Greece, with high precision digital leveling. *Acta Universitatis Carolinae, Geographica*, 58(1), 3–17. <https://doi.org/10.14712/23361980.2023.1>

- Kopp, R. E., Garner, G. G., Hermans, T. H. J., Jha, S., Kumar, P., Reedy, A., Slangen, A. B. A., Turilli, M., Edwards, T. L., Gregory, J. M., Koubbe, G., Levermann, A., Merzky, A., Nowicki, S., Palmer, M. D., & Smith, C. (2023). The Framework for Assessing Changes to Sea-level (FACTS) v1.0: a platform for characterizing parametric and structural uncertainty in future global, relative, and extreme sea-level change. *Geoscientific Model Development*, 16(24), 7461–7489. <https://doi.org/10.5194/GMD-16-7461-2023>
- Kopp, R., Oppenheimer, M., O'Reilly, J. L., Drijfhout, S. S., Edwards, T. L., Fox-Kemper, B., Garner, G. G., Golledge, N. R., Hermans, T. H. J., Hewitt, H. T., Horton, B. P., Krinner, G., Notz, D., Nowicki, S., Palmer, M. D., Slangen, A. B. A., & Xiao, C. (2022). *Communicating projection uncertainty and ambiguity in sea-level assessment*. <https://doi.org/10.1002/ESSOAR.10511663.1>
- Kumar, P., & Geneletti, D. (2015). How are climate change concerns addressed by spatial plans? An evaluation framework, and an application to Indian cities. *Land Use Policy*, 42, 210–226. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2014.07.016>
- Lamudi.co.id. (2023). *Dijual Tanah di Jl. Lintas Sumatera, Sukabangar, Kec. Sidomulyo, Lampung*. <https://www.lamudi.co.id/jual/lampung/lampung-selatan/katibung/tanah/>
- Little, C. M., Horton, R. M., Kopp, R. E., Oppenheimer, M., & Yip, S. (2015). Uncertainty in Twenty-First-Century CMIP5 Sea Level Projections. *Journal of Climate*, 28(2), 838–852. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00453.1>
- Mitula. (2023). *Tanah luas 200 - 300 Ha dijual murah cocok buat perkebunan sawit dll*. <https://rumah.mitula.co.id/rumah/tanah-perkebunan-st-lampung>
- Mouratidis, A., Costantini, F., & Votsis, A. (2011). Correlation of DInSAR deformation results and active tectonics in the city of Thessaloniki (Greece). *2011 Joint Urban Remote Sensing Event, JURSE 2011 - Proceedings*, 421–424. <https://doi.org/10.1109/JURSE.2011.5764809>
- Munthe, A. (2025, November 8). *Banjir Rob Rendam Ratusan Rumah di Pesisir Bandar Lampung, Warga Tiga Malam Tak Tidur*. <https://www.liputan6.com/regional/read/6206856/banjir-rob-rendam-ratusan-rumah-di-pesisir-bandar-lampung-warga-tiga-malam-tak-tidur>
- Nicholls, R. J., Lincke, D., Hinkel, J., Brown, S., Vafeidis, A. T., Meyssignac, B., Hanson, S. E., Merkens, J. L., & Fang, J. (2021). A global analysis of subsidence, relative sea-level change and coastal flood exposure. *Nature Climate Change* 2021 11:4, 11(4), 338–342. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-00993-z>

- Osmanoğlu, B., Sunar, F., Wdowinski, S., & Cabral-Cano, E. (2016). Time series analysis of InSAR data: Methods and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 90–102.
<https://doi.org/10.1016/J.ISPRSJPRS.2015.10.003>
- Pemerintah Pusat. (2007). *Undang-undang (UU) Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang*.
- Pemerintah Provinsi Lampung. (2015). Peraturan Daerah Provinsi Lampung Nomor 6 Tahun 2015 tentang Penertiban dan Pengendalian Kawasan Hutan. In *BPK RI*.
- Pemerintah Provinsi Lampung. (2022). *Naskah Akademik Rancangan Peraturan Daerah Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Lampung Tahun 2023 – 2043*.
- Pemerintah Provinsi Lampung. (2023). *Peraturan Daerah Nomor 14 Tahun 2023 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Lampung Tahun 2023-2043* (pp. 1–130).
- Peraturan Menteri Keuangan Republik Indonesia Nomor 142 Tahun 2023 Tentang Biaya Operasional Pemungutan Pajak Bumi Dan Bangunan, Pub. L. No. Nomor 142 Tahun 2023, JDIH Kemenkeu (2023).
- Psimoulis, P., Ghilardi, M., Fouache, E., & Stiros, S. (2007). Subsidence and evolution of the Thessaloniki plain, Greece, based on historical leveling and GPS data. *Engineering Geology*, 90(1–2), 55–70.
<https://doi.org/10.1016/J.ENGGEOL.2006.12.001>
- Purnama, S., Marfai, Muh. A., Anggraini, D. F., & Cahyadi, A. (2015). Estimasi Risiko Kerugian Ekonomi Akibat Banjir Rob Menggunakan Sistem Informasi Geografis di Kecamatan Penjaringan, Jakarta Utara. *Jurnal Spatial Wahana Komunikasi Dan Informasi Geografi*, 14(2), 8–13.
<https://doi.org/10.21009/SPATIAL.142.02>
- Raspini, F., Loupasakis, C., Rozos, D., Adam, N., & Moretti, S. (2014). Ground subsidence phenomena in the Delta municipality region (Northern Greece): Geotechnical modeling and validation with Persistent Scatterer Interferometry. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 28(1), 78–89. <https://doi.org/10.1016/J.JAG.2013.11.010>
- Ray White. (2023a). *Dijual Tanah Sawah 4,3 Hektar di Katibung Lampung Selatan Harga 800 ribu/meter*.
<https://lampungmorotai.raywhite.co.id/properti/413150/dijual-tanah-sawah-43-hektar-di-katibung-lampung-selatan>
- Ray White. (2023b). *Tanah tambak lokasi labuhan maringgai lampung timur*.
<https://lampungmorotai.raywhite.co.id/properti/417996/tanah-tambak-lokasi-labuhan-maringgai-lampung-timur>

- Roggema, R. (2009). *Adaptation to Climate Change: A Spatial Challenge*. In *Springer*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9359-3>
- Rosa, M. (2024, December 18). *Banjir Rob di Tulang Bawang Lampung, Ribuan Jiwa Terdampak dan Ribuan Rumah Terendam*. <https://www.netralnews.com/banjir-rob-di-tulang-bawang-lampung-ribuan-jiwa-terdampak-dan-ribuan-rumah-terendam/N3QxTForSk16UzRwWmduVU0wSnVkdz09>
- Rosati, J. D., Dean, R. G., & Walton, T. L. (2013). The modified Bruun Rule extended for landward transport. *Marine Geology*, 340, 71–81. <https://doi.org/10.1016/J.MARGEO.2013.04.018>
- Rumah123.com. (2023). *Jual tanah di Krui Selatan, Lampung Barat*. <https://www.rumah123.com/jual/lampung-barat/krui-selatan/tanah/>
- Stiros, S. C. (2001). Subsidence of the Thessaloniki (northern Greece) coastal plain, 1960–1999. *Engineering Geology*, 61(4), 243–256. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00027-8](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00027-8)
- Sulistian, T., Aditya, S., Mugiarto, F. T., Istighfarini, F., Harrys, R. M., & Sofian, I. (2021). Pemutakhiran Digital Elevation Model Nasional Wilayah Laut (Studi Kasus: Wilayah Perairan Aceh). *Seminar Nasional Geomatika*, 699. <https://doi.org/10.24895/SNG.2020.0-0.1184>
- Suroso, D. S. A. (2022). *Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung*.
- Suroso, D. S. A., & Firman, T. (2018). The role of spatial planning in reducing exposure towards impacts of global sea level rise case study: Northern coast of Java, Indonesia. *Ocean & Coastal Management*, 153, 84–97. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2017.12.007>
- Tay, C., Lindsey, E. O., Chin, S. T., McCaughey, J. W., Bekaert, D., Nguyen, M., Hua, H., Manipon, G., Karim, M., Horton, B. P., Li, T., & Hill, E. M. (2022). Sea-level rise from land subsidence in major coastal cities. *Nature Sustainability* 2022 5:12, 5(12), 1049–1057. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00947-z>
- Ward, P. J., Marfai, M. A., Yulianto, F., Hizbaron, D. R., & Aerts, J. C. J. H. (2011). Coastal inundation and damage exposure estimation: a case study for Jakarta. *SpringerPJ Ward, MA Marfai, F Yulianto, DR Hizbaron, J AertsNatural Hazards*, 2011•Springer, 56(3), 899–916. <https://doi.org/10.1007/S11069-010-9599-1>