



**STRATEGI MITIGASI TSUNAMI DAN BANJIR
ROB YANG DIAMPLIFIKASI KENAIKAN
MUKA AIR LAUT DI KOTA BANDA ACEH**

PEMERINTAH KOTA BANDA ACEH

2019

SAMBUTAN WALIKOTA BANDA ACEH

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

SAMBUTAN WALIKOTA BANDA ACEH.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR ISTILAH	ix
DAFTAR SINGKATAN	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Sasaran	3
1.3 Kedudukan Dokumen.....	4
1.4 Landasan Hukum	4
1.5 Proses Penyusunan	6
1.6 Sistematika Dokumen	7
BAB 2 GAMBARAN UMUM WILAYAH	8
BAB 3 METODOLOGI.....	10
3.1 Simulasi Numerik Banjir Rob.....	10
3.1.1 Tahapan-tahapan	10
3.1.2 Data-data yang digunakan.....	10
3.1.3 Pemodelan numerik banjir rob.....	14
3.1.4 Analisis Spasial	16
3.1.5 Proyeksi Dampak	16

3.2 Simulasi Numerik Tsunami.....	16
3.2.1 Pengumpulan Data	17
3.2.2 Simulasi Numerik Tsunami.....	20
3.3 Kajian Tingkat Kesiapsiagaan Masyarakat Pesisir	28
3.4 Kajian Tingkat Ketahanan Kota.....	30
3.4.1 Parameter, variabel dan indikator	30
3.4.2 Metode Kajian.....	32
3.5 Analisis Strategi dan Rekomendasi.....	33
3.5.1 Banda Aceh Outer Ring Road (BORR)	33
3.5.2 Escape Building Alternatif.....	34
3.5.3 Bukit Evakuasi	34
BAB 4 HASIL KAJIAN	35
4.1 Banjir Rob	35
4.2 Tsunami.....	41
4.2.1 Dampak Tsunami + SLR 100 tahun.....	41
4.2.2 Evaluasi Kinerja BORR (Banda Aceh Outer Ring Road) dalam Mitigasi Tsunami	45
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data- data yang digunakan dalam proses kajian.....	11
Tabel 3.2 Komponen pasang surut.....	15
Tabel 3.3 Data parameter gempa 9,15 Mw (Koshimura dkk, 2009).....	18
Tabel 3.4 Data parameter gempa 8,5 Mw (Akram, 2017)	18
Tabel 3.5 Pengaturan <i>layer</i> simulasi kombinasi tsunami dan kenaikan muka air laut yang akan diinput pada COMCOT	22
Tabel 3.6 Pengaturan <i>layer</i> pada simulasi kinerja BORR dalam mereduksi tsunami yang akan diinput dalam <i>software</i> COMCOT	25
Tabel 3.7 Nilai koefisien Manning tutupan lahan	27
Tabel 3.8 Skenario simulasi numerik.....	28
Tabel 3.9 Nilai indeks kesiapsiagaan.....	30
Tabel 4.1 Luas dampak genangan terhadap kawasan pesisir Banda Aceh	36
Tabel 4.2 Dampak banjir rob terhadap Kota Banda Aceh	41
Tabel 4.3 Perbandingan hasil pengukuran dengan hasil simulasi.....	43
Tabel 4.4 Perbandingan luasan genangan tsunami	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta administrasi Kota Banda Aceh	9
Gambar 3.1 Studi area kajian kawasan pesisir Kota Banda Aceh	12
Gambar 3.2 Domain model genangan (hidrodinamik) diwakili oleh <i>grid</i> biru	14
Gambar 3.3 <i>Domain</i> model genangan dan <i>boundary condition</i> untuk simulasi banjir rob (genangan)	15
Gambar 3.4 Skema proses analisis dampak kenaikan muka air laut menggunakan analisa spasial	16
Gambar 3.5 Kecenderungan kenaikan muka air laut Indonesia tahun 1995-2015 (Tagaki dkk, 2016).....	19
Gambar 3.6 Trase Alternatif (ALT) Jalan BORR, dipilih ALT 4 (warna kuning)	20
Gambar 3.7 Cakupan kajian pemodelan Kota Banda Aceh.....	21
Gambar 3.8 Domain komputasi yang digunakan untuk simulasi	22
Gambar 3.9 Cakupan area simulasi Layer 1-5	23
Gambar 3.10 Area tinjauan dengan pembangunan jalan BORR.....	24
Gambar 3.11 Cakupan area simulasi Layer 1 sampai Layer 6.....	25
Gambar 3.12 Domain simulasi dengan penambahan konstruksi BORR	26
Gambar 3.13 Peta tutupan lahan dengan koefisien Manning tahun 2004 (kiri) dan 2029 (kanan)	27
Gambar 3.14 <i>Framework</i> yang digunakan untuk mengkaji ketahanan kota terhadap bahaya pesisir	31
Gambar 4.1 Grafik luas genangan model kawasan eksisting.....	35
Gambar 4.2 Peta landaan dari dampak banjir rob	36
Gambar 4.3 Dampak banjir rob pada Kawasan I (Kecamatan Meuraxa)	37
Gambar 4.4 Dampak banjir rob pada Kawasan II (Kecamatan Meuraxa 2).....	38
Gambar 4.5 Dampak banjir rob pada Kawasan III (Kecamatan Kuta Alam) ...	39
Gambar 4.6 Dampak banjir rob pada Kawasan IV (Kecamatan Syiah Kuala) .	40
Gambar 4.7 Penjalaran tsunami, tanpa SLR (kiri) dan dengan penambahan SLR 100 tahun (kanan)	42

Gambar 4.8 Tinggi gelombang tsunami (dari <i>Mean Sea Level</i>) pada titik pengamatan 4 (3.80 km dari garis pantai).....	43
Gambar 4.9 Luas genangan tsunami tahun 2004	44
Gambar 4.10 Luas genangan tsunami setelah SLR 100 tahun.....	44
Gambar 4.11 Perubahan elevasi permukaan laut pada saat gempa bumi. Sebelah kiri magnitude 9.15 Mw dan kanan 8.5 Mw	45
Gambar 4.12 Kedalaman gelombang tsunami maksimum berdasarkan gempa 9,15 Mw tanpa BORR (kiri) dan ada BORR (kanan). Simulasi didasarkan pada tipe penggunaan lahan sebelum Tsunami 2004	46
Gambar 4.13 Kedalaman gelombang tsunami maksimum berdasarkan gempa 9,15 Mw tanpa BORR (kiri) dan ada BORR (kanan). Simulasi didasarkan pada tutupan lahan perencanaan tahun 2029.	46
Gambar 4.14 Perbandingan kedalaman genangan tsunami maksimum yang dihasilkan oleh gempa bumi 8,5 Mw dengan kondisi tanpa BORR (kiri) dan dengan BORR (kanan).....	47
Gambar 4.15 Perbandingan kedalaman genangan tsunami maksimum pada cross section A, B dan C.....	48

DAFTAR ISTILAH

DAFTAR SINGKATAN

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim global, pertumbuhan populasi yang semakin meningkat, dan kerentanan yang disebabkan oleh manusia telah menyebabkan masyarakat pesisir di seluruh dunia mengalami perubahan yang signifikan (McMichael, 2014; Levy dan Patz, 2015). Efek dari perubahan ini menjadikan wilayah pesisir memiliki tingkat paparan yang tinggi terhadap kenaikan muka air laut yang disebabkan oleh perubahan iklim serta diperparah oleh bahaya pesisir lainnya, termasuk badai, erosi pantai, banjir rob, dan tsunami. Bahaya-bahaya tersebut menimbulkan ancaman signifikan terhadap aspek fisik, sosial, dan ekonomi masyarakat pesisir (UNESCO, 2012; Neumann dkk, 2015; Bevacqua dan Zhang, 2018).

Pada abad ke-21, Asia dan Afrika diproyeksikan menjadi pusat pertumbuhan populasi, pembangunan ekonomi, dan urbanisasi di wilayah pesisir, serta pulau-pulau kecil, sehingga menyebabkan kondisi yang sangat rentan terhadap dampak kenaikan muka air laut dan perubahan iklim (Neumann dkk, 2015; Mimura, 2013). Dengan lebih dari 17.000 pulau, Indonesia sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim global karena lokasi geografisnya. Suhu rata-rata diproyeksikan meningkat 0,5-3,92 °C pada 2100 dibandingkan periode saat ini (1981-2010). Kenaikan yang disebabkan oleh perubahan iklim di permukaan laut diperkirakan akan mencapai 35-40 cm pada tahun 2050 relatif terhadap nilai tahun 2000. Hasil model memperkirakan bahwa dengan mempertimbangkan faktor es yang mencair di Kutub Utara dan Selatan, permukaan laut akan naik sekitar 5 cm di tahun 2100. Hampir 65% dari populasi yang tinggal di wilayah pesisir Indonesia rentan terhadap dampak perubahan iklim, terutama yang disebabkan oleh peningkatan banjir pantai di permukaan laut (TNC, 2017).

Banda Aceh merupakan salah satu kota yang terkena dampak paling parah saat peristiwa Tsunami Samudra Hindia 2004 lalu, di mana ketinggian gelombang di pantai sekitar 20 meter di barat dan sekitar 15 m di timur (Lavigne dkk, 2009).

Genangan tsunami di Banda Aceh mencapai 3 hingga 4,5 km ke daratan, sehingga meluluhlantakkan hampir 50% wilayah kota (Ghobarah dkk, 2006; Borrero, 2005).

Namun 10 tahun pasca-tsunami, masyarakat kembali mendiami wilayah pesisir. Sejarah peristiwa tsunami tidak lagi menjadi pertimbangan masyarakat dalam hal pemilihan lokasi tempat tinggal. Masyarakat menjadikan harga sewa, harga tanah, jarak dari lokasi pekerjaan, dan koneksi keluarga sebagai tiga alasan utama yang memotivasi masyarakat untuk memilih tempat tinggal baru (Syamsidik dkk, 2017).

Kota Banda Aceh memiliki topografi yang landai sehingga sangat rawan terhadap dampak kenaikan muka air laut yang diakibatkan oleh perubahan iklim. Dengan kenaikan muka air laut setinggi 7 mm per tahun dan dalam kurun 100 tahun, 11% wilayah Kota Banda Aceh akan terendam banjir rob dan 4 km dari garis pantai terancam digenangi tsunami jika skala gempa yang dengan kejadian 2004 (Tursina dkk, 2017; Al'ala dkk, 2017). Pertumbuhan penduduk yang sangat cepat disertai minimnya pemahaman masyarakat tentang risiko bencana, mendorong penggunaan *buffer zone* sebagai area hunian. Hal ini mengakibatkan kerusakan ekosistem pesisir dan meningkatkan kerentanan Kota Banda Aceh terhadap dampak kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim.

Upaya mencegah dan mengurangi dampak perubahan iklim menjadi salah satu fokus utama dalam *Sustainable Development Goals (SDGs)* dan *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (SFDRR) 2015-2030*. Salah satu tujuan yang tertuang dalam SDGs adalah melakukan aksi nyata untuk menanggulangi perubahan iklim beserta dampaknya. Beberapa target dari tujuan ini termasuk memperkuat ketahanan dan kemampuan beradaptasi terhadap dampak buruk perubahan iklim dan bencana alam serta mengintegrasikan tindakan terkait perubahan iklim ke dalam kebijakan, strategi, dan perencanaan pembangunan.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dipandang perlu disusun sebuah dokumen bersama oleh para pemangku kepentingan yang ada di Kota Banda Aceh

dengan judul “*Strategi Mitigasi Bencana Tsunami dan Banjir Rob yang Diampifikasi oleh Kenaikan Muka Air Laut Akibat Perubahan Iklim*”. Penyusunan dokumen ini merupakan wujud dari upaya Pemerintah Kota Banda Aceh untuk merumuskan langkah-langkah strategis dalam upaya pengurangan risiko bencana, khususnya tsunami dan banjir rob.

1.2 Tujuan dan Sasaran

Dokumen ini disusun dengan tujuan:

1. Menyediakan informasi dasar dan teknis terkait hasil proyeksi bahaya tsunami dan banjir rob yang diampifikasi oleh kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim di Kota Banda Aceh untuk jangka waktu 50 sampai 100 tahun serta hasil kajian tingkat ketahanan Kota Banda Aceh dalam menghadapi bahaya tersebut;
2. Merekomendasikan langkah-langkah strategis dalam upaya mitigasi tsunami dan banjir rob yang diampifikasi oleh kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim di Kota Banda Aceh;
3. Membangun dasar yang kuat untuk kemitraan dalam penyelenggaraan strategi mitigasi tsunami dan banjir rob, baik secara struktural maupun non-struktural;
4. Menjadi bagian dari rencana pembangunan Kota Banda Aceh secara terpadu terkoordinasi serta melibatkan berbagai pemangku kepentingan baik pengambil kebijakan, praktisi dan akademisi, sehingga dapat menjadi landasan untuk upaya mitigasi tsunami dan banjir rob yang diampifikasi oleh kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim di Kota Banda Aceh;
5. Melindungi masyarakat khususnya di wilayah pesisir Kota Banda Aceh dari bahaya tsunami dan banjir rob yang diampifikasi oleh kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim.

Sasaran dari penyusunan dokumen ini adalah sebagai pedoman bagi para pemangku kepentingan di Kota Banda Aceh, termasuk lembaga pemerintah (Satuan Kerja Perangkat Daerah/SKPD dan Unit Pelaksana Teknis/ UPT),

lembaga non-pemerintah, swasta dan para pemangku kepentingan lainnya dalam upaya mengurangi risiko tsunami dan banjir rob melalui strategi mitigasi struktural dan non-struktural.

1.3 Kedudukan Dokumen

Dokumen ini merupakan dokumen bersama dan bagian yang tak terpisahkan dari dokumen perencanaan pembangunan Kota Banda Aceh, yang meliputi:

- a. Rencana Pembangunan Jangka Panjang
- b. Rencana Pembangunan Jangka Menengah
- c. Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW)
- d. Rencana Strategis Sektoral
- e. Rencana Kerja Pemerintah Daerah (RKPD)
- f. Rencana Kerja (Renja) SKPD

1.4 Landasan Hukum

1. Undang-Undang Darurat Nomor 8 Tahun 1956 tentang Pembentukan Daerah Otonom Kota-kota Besar Dalam Lingkungan Daerah Propinsi Sumatera Utara (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1956 Nomor 59, Tambahan Lembaran Negara Nomor 1092);
2. Undang-Undang Nomor 10 Tahun 2004 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 53, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4389);
3. Undang-Undang Nomor 25 Tahun 2004 tentang Sistem Perencanaan Pembangunan Nasional;
4. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2004 tentang Pemerintahan Daerah (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 125, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4437), sebagaimana telah diubah dengan Undang-Undang Nomor 8 Tahun 2005 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2005 tentang Perubahan Atas Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2004 tentang Pemerintahan Daerah

- menjadi Undang-Undang (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2005 Nomor 108, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4548);
5. Undang-Undang Nomor 33 Tahun 2004 tentang Perimbangan Keuangan antara Pemerintah Pusat dan Pemerintahan Daerah (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 126, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4438);
 6. Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2006 tentang Pemerintahan Aceh (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 62, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4633);
 7. Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana;
 8. Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2014 tentang Pemerintahan Daerah sebagaimana telah diubah beberapa kali terakhir dengan Undang-Undang Nomor 9 Tahun 2015;
 9. Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 1983 Tentang Perubahan Batas Wilayah Kotamadya Daerah Tingkat II Banda Aceh (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1983 Nomor 5, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3247);
 10. Peraturan Pemerintah Nomor 58 Tahun 2005 tentang Pengelolaan Keuangan Daerah (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2005 Nomor 140, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4578);
 11. Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2005 tentang Pembinaan dan Pengawasan Penyelenggaraan Pemerintahan Daerah (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2005 Nomor 165, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4593);
 12. Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2007 tentang Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2008 Nomor 42, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4828);
 13. Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 2007 tentang Organisasi Perangkat Daerah (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007 Nomor 89, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4741);

14. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2008 tentang Pendanaan dan Pengelolaan Bencana (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2008 Nomor 43, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4829);

1.5 Proses Penyusunan

Penyusunan dokumen ini dilatar belakangi oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh Tim Peneliti dari *Tsunami and Disaster Mitigation Research Center, Universitas Syiah Kuala (TDMRC Unsyiah)* bersama BAPPEDA Kota Banda Aceh, dengan dukungan *The United States Agency for International Development (USAID)* melalui penelitian *Partnership Enhanced Engagement in Research (PEER)* Siklus ke-5 (#5-395). Tim Peneliti telah melakukan analisis terkait proyeksi dampak tsunami dan banjir rob yang diamplifikasi oleh kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim dengan skenario 50 hingga 100 tahun. Tim peneliti juga melakukan kajian tingkat ketahanan Kota Banda Aceh dalam menghadapi bahaya tsunami dan banjir rob, baik dari aspek kebijakan maupun aspek kesiapsiagaan masyarakat pesisir. Hasil penelitian yang telah dilakukan sejak 2017 ini kemudian disampaikan oleh Tim Peneliti kepada Walikota Banda Aceh pada 12 April 2019. Dalam pertemuan tersebut, Walikota Banda Aceh mendukung adanya upaya yang serius untuk menindaklanjuti hasil penelitian dalam bentuk rencana tindak lanjut melalui penyusunan dokumen ini. Penyusunan dokumen ini melibatkan Tim Satuan Tugas (Satgas) Penyusunan Dokumen yang dibentuk oleh Walikota melalui Surat Keputusan Walikota. Tim Satgas ini terdiri dari perwakilan SKPD yang terkait, Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) dan akademisi. Sebelum disahkan menjadi dokumen resmi Kota Banda Aceh, serangkaian rapat intensif Tim Satgas penyusunan dokumen, *Focus Group Discussion (FGD)*, workshop, dan diskusi publik telah dilaksanakan guna membahas dokumen secara keseluruhan, rumusan hasil dan rekomendasi. Dokumen ini diselesaikan pada bulan Oktober 2019 dan telah diperkuat melalui Peraturan Walikota Banda Aceh.

1.6 Sistematika Dokumen

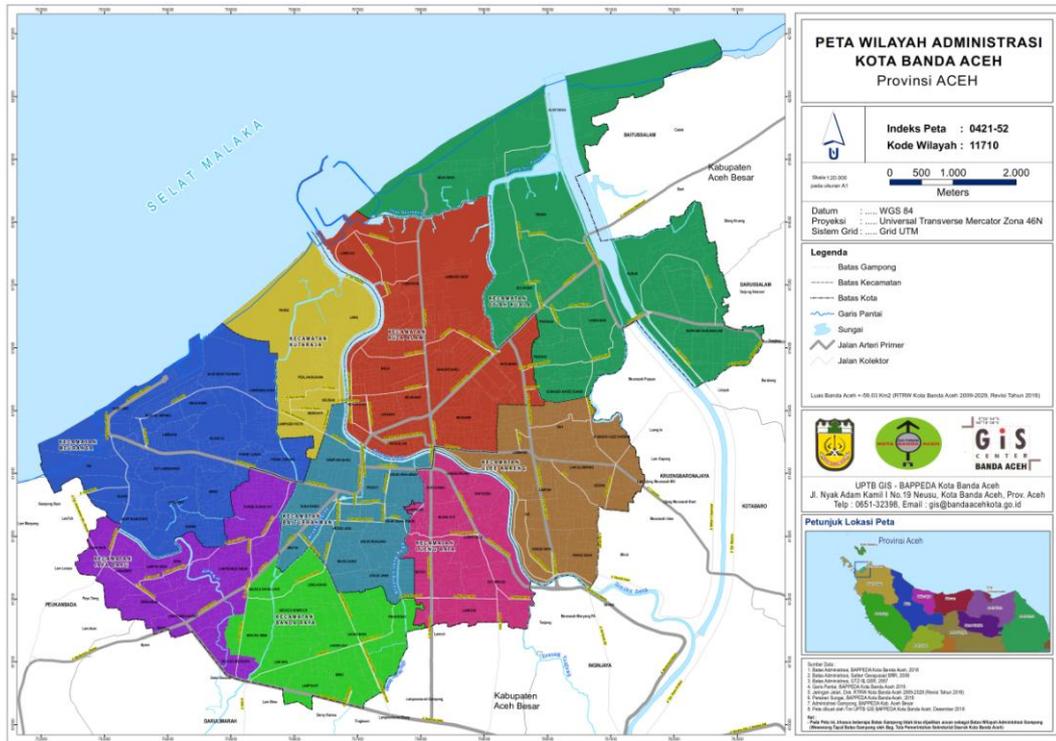
Secara umum, dokumen ini terdiri dari lima bab. Pada Bab I menguraikan latar belakang, tujuan, sasaran, kedudukan, landasan hukum serta sistematika penyusunan dokumen. Gambaran umum wilayah serta profil kebencanaan Kota Banda Aceh disajikan pada Bab II. Selanjutnya pada Bab III dipaparkan metodologi yang digunakan dalam penyusunan dokumen, termasuk diantaranya tahapan-tahapan yang dilakukan, data yang digunakan, serta proses simulasi numerik. Pada bab ini juga dijelaskan tentang metode pemodelan dan analisis spasial, analisis kebijakan, analisis kesiapsiagaan masyarakat serta analisis dalam merumuskan strategi dan rekomendasi. Penyajian hasil kajian diuraikan pada Bab IV. Bab V memaparkan rekomendasi berdasarkan hasil kajian dan beberapa diskusi yang dilaksanakan. Terakhir sebagai penutup diringkas dalam Bab VI.

BAB 2 GAMBARAN UMUM WILAYAH

Kota Banda Aceh terletak pada dataran landai di pesisir paling utara daratan Aceh. Berdasarkan BPS (2018), luas total wilayah kota ini adalah 6.136 ha dengan rata-rata ketinggian permukaan tanah 0,8 m di atas permukaan laut. Berdasarkan posisi geografisnya, Kota Banda Aceh memiliki batas sebelah Utara dengan Selat Malaka, Sumudera Hindia di Barat dan Selatan dan Timur dengan Kabupaten Aceh Besar seperti diperlihatkan pada Gambar 2.1. Selain itu, Kota Banda Aceh terletak 200 km di sebelah timur Sunda Megathrust, serta daratannya juga dibelah oleh dua patahan aktif, yaitu Patahan Sumatra dan Seulimum. Dengan risiko gempa yang begitu tinggi dan karakteristik daratan yang relatif landai, sebagian besar wilayah dari sembilan kecamatan di Kota Banda Aceh tergolong rentan terhadap tsunami dan ancaman bencana pesisir lainnya¹.

Dari segi demografi, jumlah penduduk Kota Banda Aceh yang tercatat laporan BPS adalah 259.913 jiwa pada tahun 2017, dengan pertumbuhan penduduk sebesar 1,96% dari tahun sebelumnya, dan 8,68% dari jumlah penduduk pra-tsunami tahun 2004 (239.146 jiwa). Namun demikian, besar kemungkinan bahwa jumlah orang yang terpapar risiko bencana pesisir di Kota Banda Aceh lebih banyak, mengingat tingginya jumlah pendatang ke ibukota provinsi tersebut, baik yang sementara ataupun menetap, yang tidak mencatatkan diri ke Disdukcapil Kota Banda Aceh.

¹ Qanun Kota Banda Aceh Nomor 2 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas Qanun Kota Banda Aceh Nomor 4 Tahun 2009 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Banda Aceh Tahun 2009 – 2029.



Gambar 2.1 Peta administrasi Kota Banda Aceh (Bappeda Kota Banda Aceh)

BAB 3 METODOLOGI

Secara umum, ada lima (5) tahapan yang dilakukan dalam menghasilkan dokumen ini, yaitu: 1) Simulasi Numerik Banjir Rob, 2) Simulasi Numerik Tsunami, 3) Analisis Spasial, 4) Kajian Kesiapsiagaan Masyarakat, 5) Kajian Tingkat Ketahanan Kota Banda Aceh, dan 6) Analisis Strategi dan Rekomendasi. Berikut diuraikan metode dan tahapan yang dilaksanakan dalam kajian-kajian tersebut.

3.1 Simulasi Numerik Banjir Rob

3.1.1 Tahapan-tahapan

Proses kajian yang dilakukan dalam penyusunan dokumen/panduan mitigasi bencana dan pengelolaan kawasan pesisir secara garis besar dilakukan dalam beberapa tahapan. Dimulai dengan pengumpulan data yang diperlukan untuk proses kajian. Proses analisis berdasarkan data yang dikumpulkan dimulai dengan simulasi numerik beberapa ancaman seperti tsunami, dan banjir rob. Selanjutnya hasil dari model dampak baik historis maupun prediksi dianalisis secara spasial menggunakan spasial tool (QGIS) untuk mengestimasi besaran dampak secara spasial. Selain itu hasil analisis dampak secara spasial juga akan digunakan untuk kepentingan pemangku kepentingan dengan melalui analisis kebijakan Analisis kesiapsiagaan masyarakat juga dilakukan guna menilai kapasitas yang dimiliki oleh Kota Banda Aceh sebelum perumusan lebih lanjut. Hasil dari beberapa analisa tersebut akan dipaparkan untuk mendapatkan umpan balik dari masyarakat penerima manfaat dan juga pemangku kebijakan melalui focus group discussion (FGD), dan workshop. Berapa tahapan yang dilalui secara lebih jelasnya dapat dilihat pada sub bab berikutnya.

3.1.2 Data-data yang digunakan

Proses analisis yang dilakukan memerlukan data sebagai input dalam pelaksanaannya. Untuk simulasi numerik, yang terdiri dari tsunami dan banjir rob dibutuhkan data topografi dan batimetri sebagai input pada domain grid. Untuk

proses hidrodinamika yang ada pada tsunami, dimodelkan dengan proses mekanisme patahan (fault mechanism) yang membangkitkan gelombang tsunami dari sumbernya yang berupa data fault (energi, dimensi dan arah). Sedangkan untuk pemodelan hidrodinamik banjir rob, digunakan model Delft3D dengan memodelkan pasang surut (komponen harmonik) yang juga dikombinasikan dengan gelombang. Kedua model mengadopsi amplifikasi dari kenaikan muka air laut dengan skema kenaikan 50 dan 100 tahun dengan kenaikan rerata sebesar 7mm/tahun. Selain itu, untuk proses analisis spasial, data yang digunakan adalah citra satelit yang digunakan untuk digitasi tata guna lahan. Selain itu hasil dari proyeksi tsunami dan banjir rob juga dianalisis dampaknya terhadap kondisi spasial tata guna lahan dan juga Rencana Wilayah Tata Ruang (RTRW) Kota Banda Aceh. Untuk lebih jelasnya beberapa data yang diperlukan dan dipergunakan dalam kajian ini secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 3.1.

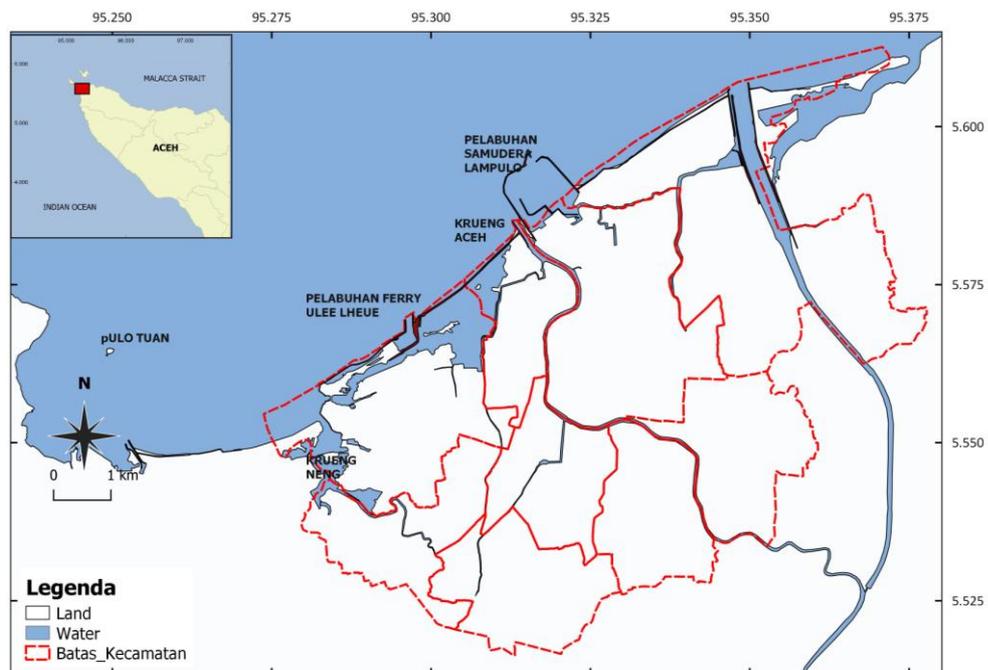
Tabel 3.1 Data- data yang digunakan dalam proses kajian

NO	DATA	WAKTU PENGAMBILAN	SPESIFIKASI	SUMBER	KEGUNAAN
1	Garis Pantai (citra satelit)	2018	QUICKBIRD, resolusi 0.5m, orthoready standar, datum: WGS 84, Acquisition Date 21 Mei 2018	Quickbird	Batas darat dan tata guna lahan
2	Bathimetri	2017	Pengukuran menggunakan Echosounder, Interval tegak lurus garis pantai 50 m, sejajar garis pantai 200 m.	Pengukuran lapangan (TDMRC Unsyiah dan UNRAM)	Data domain simulasi numerik Delft3D
3	Topografi	2018	Bappeda Kota Banda Aceh (Interval 1 m) dan DEM	Bappeda Kota Banda Aceh dan pengukuran photogrammetri	Data domain simulasi numerik Delft3D
4	Pasang Surut	2017	Pengukuran menggunakan waterlevel meter sensor pressure, pengukuran per 5 menit	TDMRC Unsyiah	Data input parameter hidrodinamik Pasang surut
5	Gelombang	2011	Data angin bulanan selama 10 tahun (2002-2011)	BMKG	Data input parameter hidrodinamik arah, tinggi dan periode gelombang
6	Debit	2011	Debit Banjir rencana	BWS Sumatera I	Data input parameter hidrodinamik besaran debit sungai
7	Prediksi Tata Guna Lahan	2018	Data shape file spasial rencana tata ruang wilayah dan Gambar perencanaan konstruksi pelindung pantai	RTRW Kota Banda Aceh 2009-2024	Domain model numerik prediksi perubahan Iklim

Berikut beberapa data yang digunakan dalam proses kajian ini dan beberapa tahapan yang dilakukan.

3.1.2.1 Wilayah analisis dan simulasi (domain)

Wilayah analisis kawasan pesisir meliputi garis pantai sepanjang ± 13 km dari batas timur hingga ke barat Kota Banda Aceh. Domain simulasi mewakili kawasan Kota Banda Aceh yang dilalui oleh *Krueng Aceh*, *Krueng Neng*, dan juga *Floodway Krueng Aceh*. Domain juga telah mewakili kondisi eksisting konstruksi yang berupa *revetment*, *jetty* dan *breakwater* pada area muara dan garis pantai.



Gambar 3.1 Studi area kajian kawasan pesisir Kota Banda Aceh

Wilayah administrasi dan kawasan pesisir dibatasi sebagai area (*domain*) untuk efisiensi waktu. Data *domain* dihasilkan dari data kedalaman laut (batimetri) dan juga data pada area kering/ darat (topografi). Data bathimetri didapatkan melalui pengukuran lapangan yang dilakukan pada tahun 2017 oleh Tim TDMRC Unsyiah dan data kedalaman dari Pushidrosal (Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI Angkatan Laut). Data topografi wilayah pantai Kota Banda Aceh diperoleh

dari Bappeda Kota Banda Aceh yang diperbaharui pada beberapa kawasan menggunakan pemetaan *drone*. Penggunaan *drone* diperlukan terutama di bagian garis pantai di mana resolusi data kebutuhannya diperlukan lebih detail. Topografi dari hasil pemetaan dengan menggunakan *drone* dianalisis dengan menggunakan teknik *photogrammetry* dan dukungan piranti lunak Agisoft (*berlisensi*). Tipe *drone* yang digunakan adalah Drone DJI Phantom 4 Pro. Selain topografi, jaringan drainase juga diikutsertakan untuk memodelkan penjalaran banjir rob.

3.1.2.2 Hidrodinamik dan sediment transport

Proses hidrodinamika disimulasikan dengan data komponen pasang surut (M_2 , K_1 , S_2 , dan O_1) yang diperoleh dari pengukuran. Selain itu, data gelombang signifikan (tinggi gelombang signifikan/ H_s dan periode gelombang signifikan/ T_s) juga digunakan setelah dihasilkan dari proses pembangkitan dari data angin.

3.1.2.3 Data Spasial

Analisis perubahan garis pantai secara historik dan estimasi luasan bangunan terdampak menggunakan beberapa jenis data spasial baik yang dipetakan langsung maupun yang tersedia sebagai data sekunder. Data spasial berupa data tata guna lahan diperoleh dari proses digitasi terhadap citra satelit yang tersedia per 2016.

3.1.2.4 Proyeksi kenaikan muka air laut

Parameter kenaikan muka air laut yang digunakan dalam kajian yang mendasari dokumen ini merujuk laju kenaikan muka air laut berdasarkan IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) yang diperbaharui dengan data pengukuran satelit Topex Poseidon pada tahun 1992-2015. Melalui *morfac*, perubahan morfologi pantai selama 100 tahun diprediksi berdasarkan data pasang surut, gelombang signifikan, dan nilai laju kenaikan muka air laut IPCC.

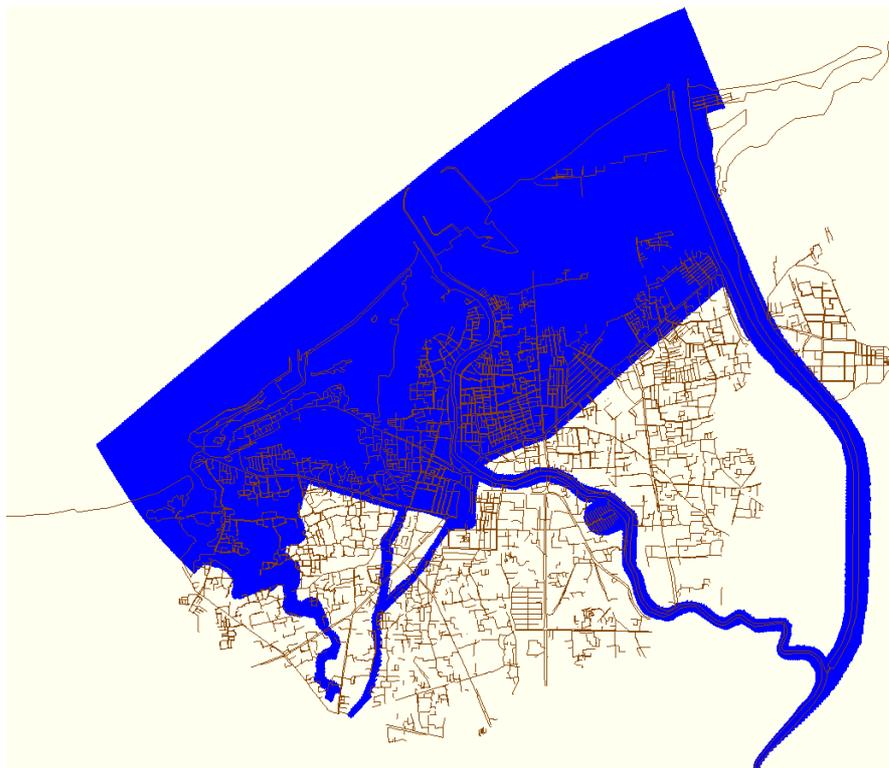
Simulasi genangan menggunakan tiga skenario, yaitu kondisi eksisting, 50 dan 100 tahun. Kenaikan muka air laut regional Indonesia berdasarkan data yang tersedia adalah 7 mm/tahun. Untuk setiap skenario maka elevasi bathimetri tetap

untuk skenario eksisting, ditambahkan 0,35 m untuk skenario 50 tahun, dan 0,70 m untuk skenario 100 tahun.

3.1.3 Pemodelan numerik banjir rob

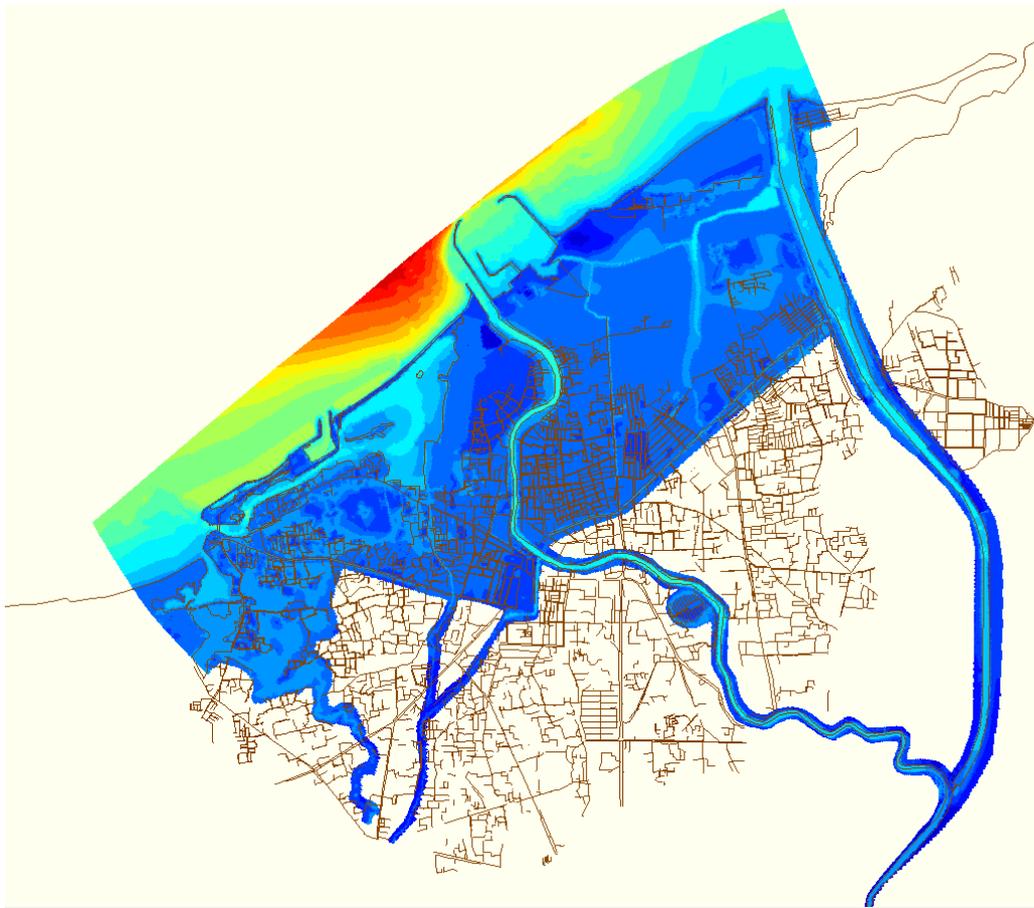
Simulasi numerik hidrodinamik banjir rob direpresentasikan dengan simulasi Delft3D-FLOW yang dijalankan secara berkesinambungan. Model Delft3D-FLOW membutuhkan data pasang surut yang berupa komponen pasang surut untuk memodelkan proses yang berlangsung selama 15 hari.

Kedua proses simulasi baik genangan maupun angkutan sedimen menggunakan *grid* berbentuk bujur sangkar yang berukuran 10 m x 10 m. Ukuran ini merupakan *grid* terkecil yang dapat digunakan untuk luasan domain 11 km x 7 km, untuk efisiensi memori komputer dan waktu komputasi.



Gambar 3.2 Domain model genangan (hidrodinamik) diwakili oleh *grid* biru
Kondisi batas (*Boundary condition*) untuk hidrodinamika dan transpor sedimen digunakan data komponen pasang surut (M_2 , K_1 , S_2 , dan O_1) dan juga data

gelombang (H_s dan T_s) untuk pembangkitannya. Data kondisi batas (*boundary condition*) ditempatkan pada daerah basah yang diwakili *grid-grid* yang berada di ujung domain bagian barat dengan kedalaman di bawah kedalaman air rata-rata (*Mean Sea Level/MSL*) seperti pada Gambar 3.3. Data komponen pasang surut dan pembangkitan gelombang dapat dilihat pada Tabel 3.2.



Gambar 3.3 *Domain* model genangan dan *boundary condition* untuk simulasi banjir rob (genangan)

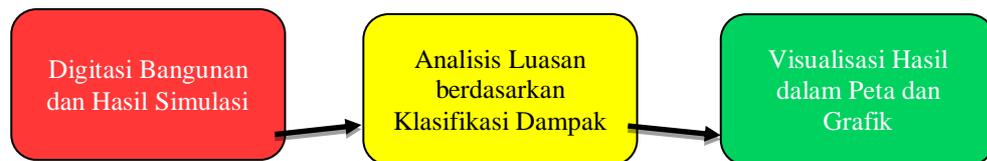
Tabel 3.2 Komponen pasang surut

No	Komponen Pasang Surut	Amplitudo (m)	Fase (deg)
1	M_2	0.422	314.703
2	S_2	0.297	7.517
3	K_1	0.262	242.726

4	O_1	0.051	50.428
---	-------	-------	--------

3.1.4 Analisis Spasial

Analisis dampak kenaikan muka air laut dapat dilakukan menggunakan metode spasial. *Tool* yang digunakan dalam melaksanakan analisis adalah perangkat lunak QGIS. Analisis digunakan berdasarkan citra satelit terakhir, yaitu tahun 2019 yang didapatkan dari *Google Earth* dan potensi pengembangan wilayah berdasarkan Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kota Banda Aceh Tahun 2009-2029. Proses dimulai dengan pengambilan citra satelit area fokus yang dilanjutkan dengan proses georeferensi dan digitasi menggunakan QGIS. Luasan *item* yang menjadi objek pengamatan adalah tata guna lahan dan RTRW. Hasil dari analisis spasial akan disajikan dalam bentuk peta dan grafik (Gambar 3.4).



Gambar 3.4 Skema proses analisis dampak kenaikan muka air laut menggunakan analisa spasial

3.1.5 Proyeksi Dampak

Dampak terhadap kawasan pantai melalui proyeksi simulasi numerik dibagi pada beberapa fokus, yaitu bencana erosi pantai, intrusi air laut permukaan, dan bencana banjir rob. Dari segi penggunaan lahan (*land use*), ada dua skenario yang digunakan dalam menganalisa dampak, yaitu kondisi bangunan eksisting dan RTRW 2009-2029.

3.2 Simulasi Numerik Tsunami

Ada dua kajian yang dilakukan terkait pemodelan tsunami di Banda Aceh. Pertama proyeksi genangan tsunami yang dikombinasikan dengan kenaikan muka air laut (*sea level rise*) 100 tahun yang akan datang. Kajian yang kedua adalah

evaluasi bangunan *Banda Aceh Outer Ring Road* (BORR) dalam mereduksi gelombang tsunami. Kedua kajian ini dilakukan dengan simulasi numerik menggunakan *software* COMCOT (*Cornell Multi-grid Coupled Tsunami Model*). Beberapa tahapan mulai dari proses pengumpulan data, proses persiapan data, dan proses simulasi dijelaskan sebagai berikut.

3.2.1 Pengumpulan Data

3.2.1.1 Data Batimetri

Data kedalaman laut (batimetri) digunakan untuk memodelkan kedalaman laut yang meliputi kedalaman laut dalam di mana sumber gempa berada sampai perairan dangkal. Data kedalaman laut dalam diperoleh dari data GEBCO (*General Bathymetric Chart of the Oceans*). Untuk laut dangkal digunakan data dari Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI Angkatan Laut (Pushidrosal). Khusus untuk kedalaman laut dangkal dilakukan pemutakhiran data dari hasil pengukuran batimetri oleh TDMRC Unsyiah.

3.2.1.2 Data Topografi

Data ketinggian daratan (topografi) menggambarkan elevasi daratan di atas elevasi 0 (nol) yang digunakan sebagai area genangan tsunami. Data ini diperoleh dari Bappeda Kota Banda Aceh berdasarkan hasil pengukuran JICA tahun 2005. Data topografi memiliki rentang elevasi antar kontur 0.5 m.

3.2.1.3 Data Parameter Gempa

Data parameter gempa merupakan data sumber gempa, seperti mekanisme gempa, koordinat epicenter gempa, kedalaman, panjang dan lebar area patahan, serta sudut pergeseran patahan gempa. Terdapat dua variasi skala gempa pada pemodelan tsunami dalam kajian ini, yaitu 9,15 Mw dan 8,5 Mw. Pemilihan skenario gempa untuk proyeksi genangan tsunami yang dikombinasikan dengan kenaikan muka air laut (*sea level rise*) 100 tahun yang akan datang adalah gempa 9,15 Mw. Magnitude gempa 9,15 Mw merupakan kekuatan gempa pada 26 Desember 2004 di Aceh. Pada skenario ini parameter gempa 9,15 Mw

menggunakan *multi-fault* 6 bagian (*segment*) yang diadopsi dari Koshimura dkk (2009) seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3.3. Pada kajian evaluasi bangunan *Banda Aceh Outer Ring Road* (BORR) dalam mereduksi gelombang tsunami selain digunakan skenario gempa 9,15 Mw juga dimodelkan dengan gempa 8,5 Mw berdasarkan analisis data USGS oleh Akram (2017) seperti ditabulasikan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.3 Data parameter gempa 9,15 Mw (Koshimura dkk, 2009)

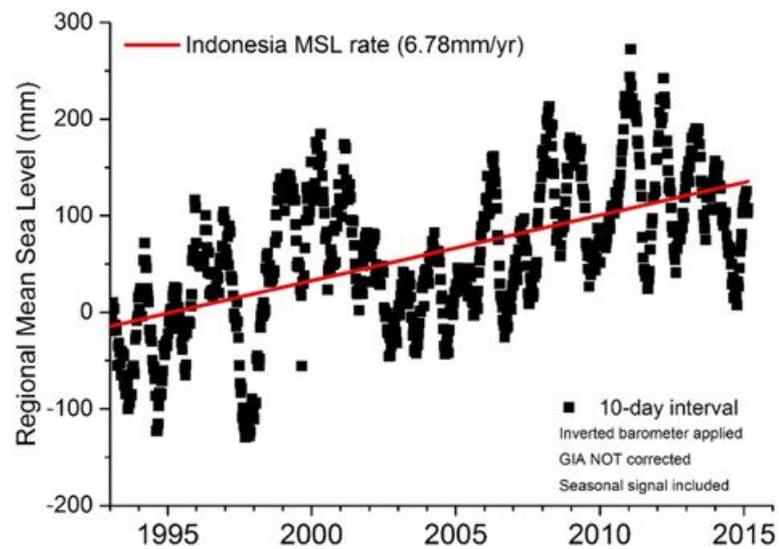
No. Segmen	Lon. (°)	Lat. (°)	L (km)	W (km)	Kedalaman (km)	Dip (°)	Strike (°)	Slip (°)	Dis (m)
1.	94.40	3.030	200	150	10	15	323	90	14.00
2.	93.32	4.480	125	150	10	15	335	90	12.60
3.	92.87	5.510	180	150	10	15	340	90	15.10
4.	92.34	7.140	145	150	10	15	340	90	7.00
5.	91.88	8.470	125	150	10	15	345	90	7.00
6.	91.90	11.00	380	150	10	15	7	90	7.00

Tabel 3.4 Data parameter gempa 8,5 Mw (Akram, 2017)

Parameter gempa	Nilai
Magnitude (Mw)	8.5
Koordinat Epicenter	
- Latitude (°)	5.672
- Longitude(°)	94.162
Kedalaman (m)	10.000
Lebar patahan (m)	74.990
Panjang patahan (m)	323.590
Dislocation (m)	8.30
Strike (°)	329.0
Dip (°)	8.0
Slip (°)	110.0

3.2.1.4 Data Kenaikan Muka Air Laut

Kenaikan muka air laut rata-rata Indonesia adalah 6,78 mm/tahun atau 7,00 mm/tahun (Gambar 3.5). Data ini merupakan data pengukuran dari IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), yaitu sebuah lembaga internasional yang mengkaji aspek-aspek ilmiah tentang perubahan iklim (Takagi dkk, 2016).



Gambar 3.5 Kecenderungan kenaikan muka air laut Indonesia tahun 1995-2015 (Tagaki dkk, 2016)

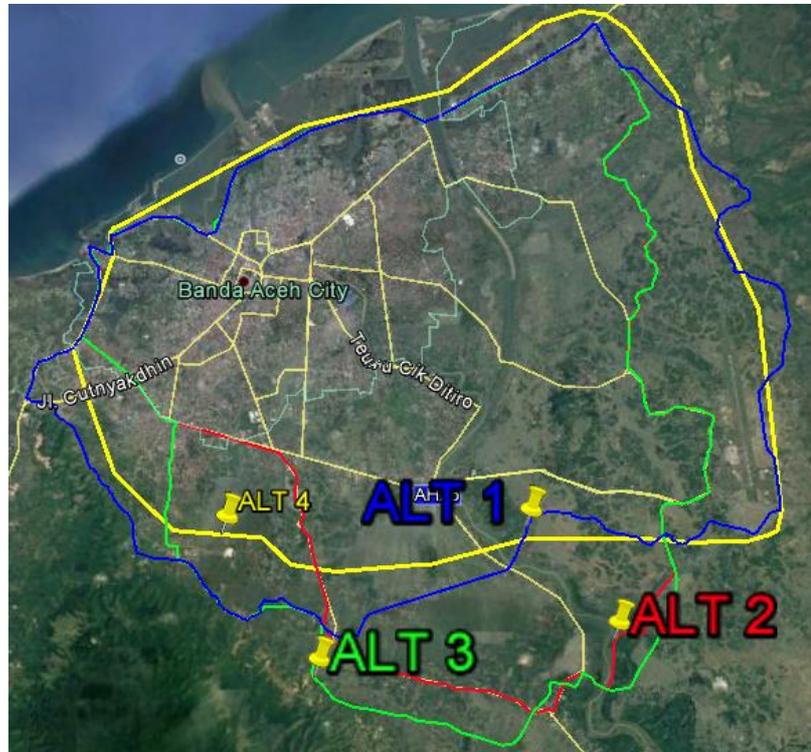
3.2.1.5 Data Tutupan Lahan

Data tutupan lahan digunakan untuk menggambarkan kondisi daratan. Pada kajian evaluasi kinerja konstruksi BORR, digunakan data tutupan lahan sebelum tsunami dan data tutupan lahan perencanaan RTRW Kota Banda Aceh tahun 2029. Tutupan lahan sebelum tsunami diperoleh dari Syamsidik dkk (2017) dan data tutupan lahan Banda Aceh tahun 2029 diperoleh dari Bappeda Kota Banda Aceh.

3.2.1.6 Data Trase BORR

Data trase BORR diperoleh dari Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) I Banda Aceh, Direktorat Jenderal Bina Marga Pekerjaan Umum dan Perumahan

Rakyat (PUPR). Trase yang digunakan adalah Alternatif (ALT) 4 atau yang berwarna kuning pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Trase Alternatif (ALT) Jalan BORR, dipilih ALT 4 (warna kuning)

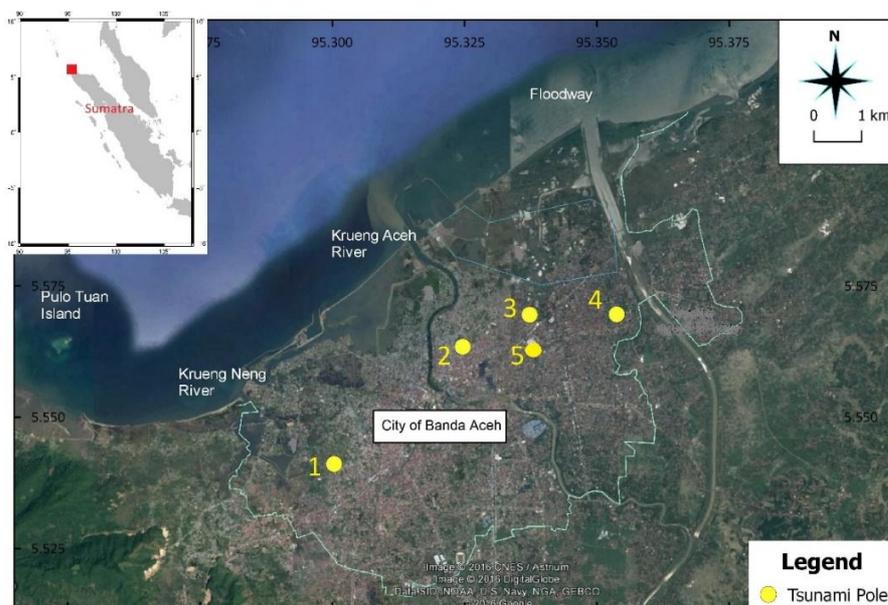
3.2.2 Simulasi Numerik Tsunami

3.2.2.1 Proyeksi luas genangan tsunami + 100 tahun kenaikan muka air laut.

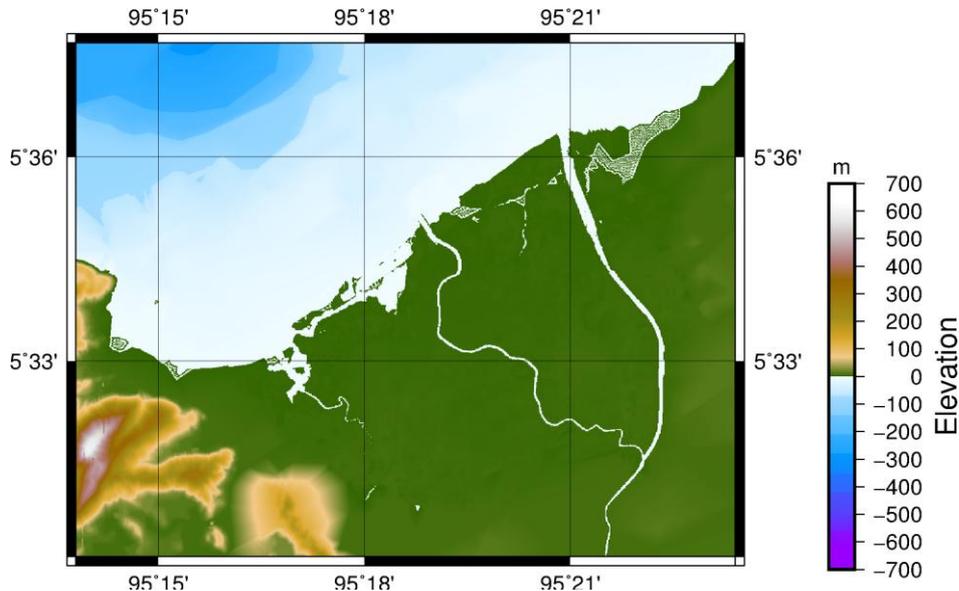
Simulasi numerik ini bertujuan untuk melihat luasan genangan tsunami apabila gempa yang sama seperti tahun 2004 dengan kekuatan 9,15 Mw terjadi lagi di Banda Aceh. Selain itu kejadiannya adalah 100 tahun akan datang disaat elevasi air laut bertambah 700 mm atau 0,7 m. Tinjauan ini menggunakan dua skenario. Skenario pertama meninjau luasan genangan tsunami tanpa penambahan kenaikan muka air laut. Skenario kedua meninjau luasan genangan tsunami dengan penambahan kenaikan muka air laut 0,7 m.

a. Persiapan Domain

Domain atau daerah tinjauan berbentuk persegi mencakup seluruh kawasan Kota Banda Aceh dan sebagian Aceh Besar seperti pada Gambar 3.7. Data topografi dan batimetri yang telah dikumpulkan berupa data koordinat (x,y) dan kedalaman (z), diproses secara komputasi menggunakan beberapa bantuan *software* lain, seperti QGIS, Delft3D Quickin, dan GMT (*Generic Mapping Tools*). Data ini diinterpolasi dengan ukuran *grid* 15,5 m x 15,5 m menggunakan GMT. Data elevasi negatif (-) merupakan data kedalaman laut (batimetri) dan data elevasi positif (+) merupakan data ketinggian daratan (topografi). Domain simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.8. Untuk *domain* skenario kedua, data kedalaman domain skenario pertama ditambah dengan elevasi 0,7 m.



Gambar 3.7 Cakupan kajian pemodelan Kota Banda Aceh

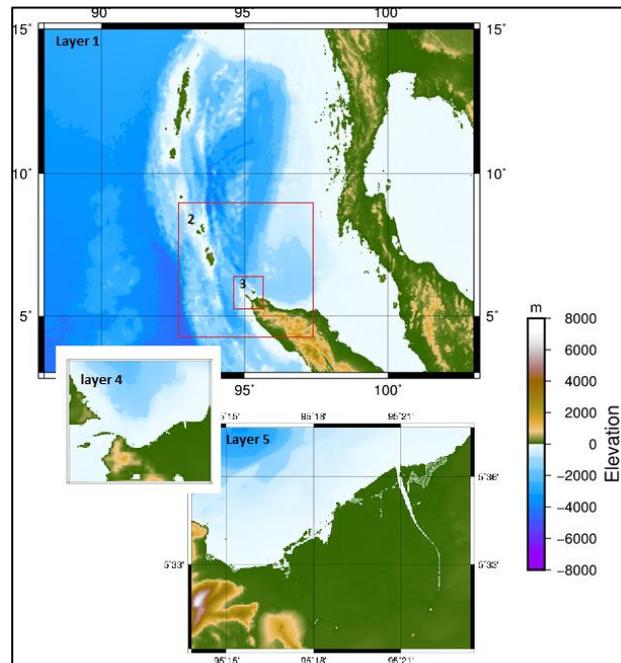


Gambar 3.8 Domain komputasi yang digunakan untuk simulasi

Simulasi pembangkitan tsunami dimulai dari sumber patahan gempa. Untuk itu diperlukan juga data kedalaman di area patahan (laut dalam). Cakupan patahan sangat luas dari Pulau Sumatera hingga Andaman. Oleh karena itu, data dibagi menjadi 5 regional komputasi (*layer*). Layer 1 adalah yang paling besar dengan ukuran *grid* 1856 m x 1856 m. Layer 2 sampai 5 berturut-turut semakin kecil dengan ukuran *grid* yang lebih kecil juga. Pengaturan simulasi menggunakan beberapa *layer* ini dikenal dengan *nested grid* dan gunanya untuk menghindari lamanya waktu simulasi dan kapasitas memori komputer. Pengaturan *layer* simulasi dari Layer 1 sampai Layer 5 yang akan diinput pada model COMCOT dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Gambar 3.9.

Tabel 3.5 Pengaturan *layer* simulasi kombinasi tsunami dan kenaikan muka air laut yang akan diinput pada COMCOT

Layer	Long (°)	Lat (°)	Grid Size		Grid Ratio	Coordinate System	Type SWE
			(m)	(min)			
1	88.10 to 102.8	0.1000 to 14.93	1856	1	1	Spherical	Linear
2	92.05 to 97.98	4.0800 to 8.980	928	0.5	2	Spherical	Linear
3	94.51 to 95.99	5.2708 to 6.695	309.3	0.166667	3	Spherical	Linear
4	95.14 to 95.39	5.4150 to 5.690	77.333	0.041667	4	Spherical	Linear
5	95.23 to 95.39	5.5020 to 5.628	15.46667	0.008333	5	Spherical	Nonlinear



Gambar 3.9 Cakupan area simulasi Layer 1-5

b. Simulasi Penjalaran Gelombang

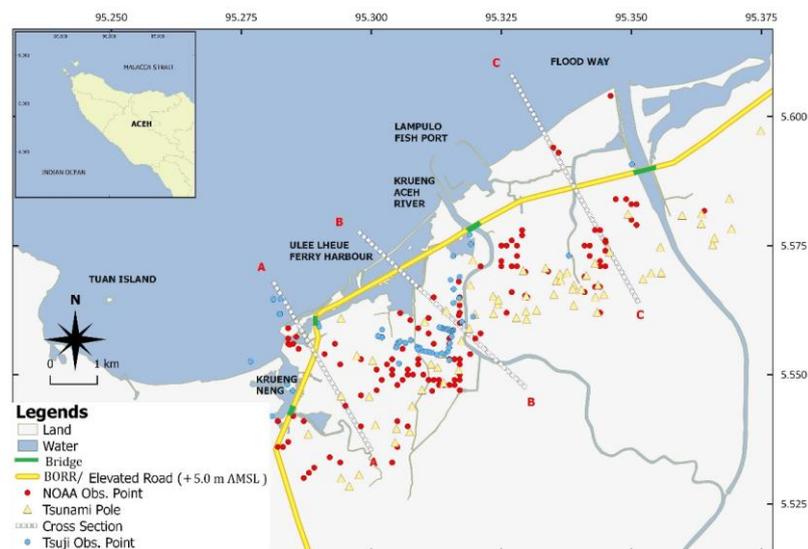
Simulasi penjalaran gelombang tsunami dilakukan dengan menjalankan *software* COMCOT. Data domain simulasi dan parameter gempa dimasukkan ke dalam *software* COMCOT. Ketinggian tsunami diamati pada titik observasi. Titik observasi ditempatkan 5 buah di daratan. Posisi observasi ini sama dengan posisi koordinat Tsunami *Pole* (tugu tsunami) yang mencatat informasi ketinggian tsunami di Banda Aceh pada kejadian 2004. Simulasi model dilakukan 2 kali. Skenario 1 simulasi tsunami tanpa pengaruh kenaikan muka air laut dan setelah ada penambahan kenaikan muka air laut sebagai skenario 2.

c. Analisis Hasil Simulasi

Setelah simulasi selesai, dilakukan analisis hasil simulasi. Hasil model ini divisualisasikan dalam bentuk peta penjalaran tsunami dan peta genangan tsunami maksimum. Proses visualisasi ini menggunakan *software* GMT. Untuk mengamati data ketinggian tsunami pada titik observasi, data dapat diolah dengan *software* Igor atau *Microsoft Excel*.

3.2.2.2 Evaluasi kinerja Banda Aceh Outer Ring Road (BORR) dalam mereduksi tsunami

BORR merupakan jalan lingkar yang rencananya akan dibangun di Banda Aceh dan Aceh Besar. Pembangunan jalan ini tujuan utamanya untuk mengatasi kemacetan lalu lintas. Di samping itu, BORR juga diharapkan memberi manfaat dari aspek mitigasi tsunami. Ada bagian jalan BORR yang melintasi dan berada sejajar Pantai Ulee Lheue hingga Alue Naga. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat kinerja BORR dalam mitigasi tsunami. Kajian ini menggunakan simulasi numerik menggunakan *software* COMCOT. Area penelitian dengan ilustrasi BORR dapat dilihat pada Gambar 3.10.

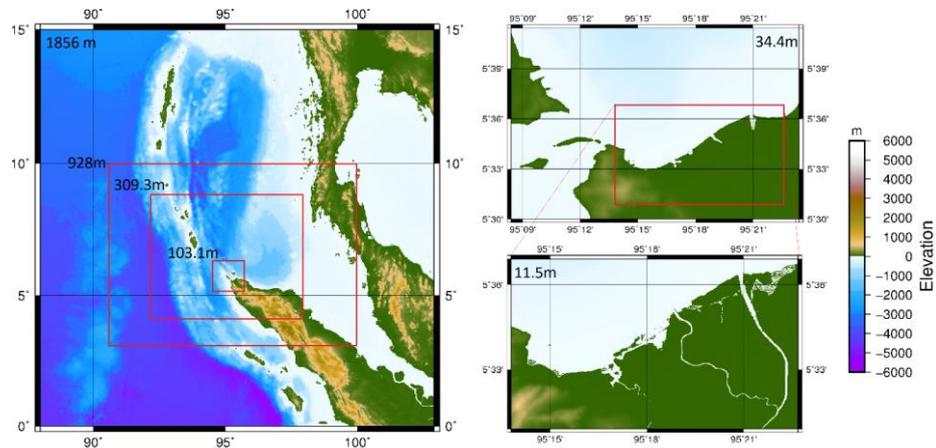


Gambar 3.10 Area tinjauan dengan pembangunan jalan BORR

a. Persiapan Domain

Sama dengan persiapan domain pada simulasi kenaikan muka air laut. Data topografi dan batimetri yang telah dikumpulkan berupa data koordinat (x,y) dan kedalaman (z), diproses secara komputasi menggunakan beberapa bantuan *software* lain, seperti Quantum GIS, Delft3D Quickin, dan GMT (*Generic Mapping Tools*). Data batimetri dan topografi yang sudah digabung diinterpolasi ke dalam ukuran *grid* 11.5 m x 11.5 m. Data kedalaman dibagi menjadi 6 *layer*

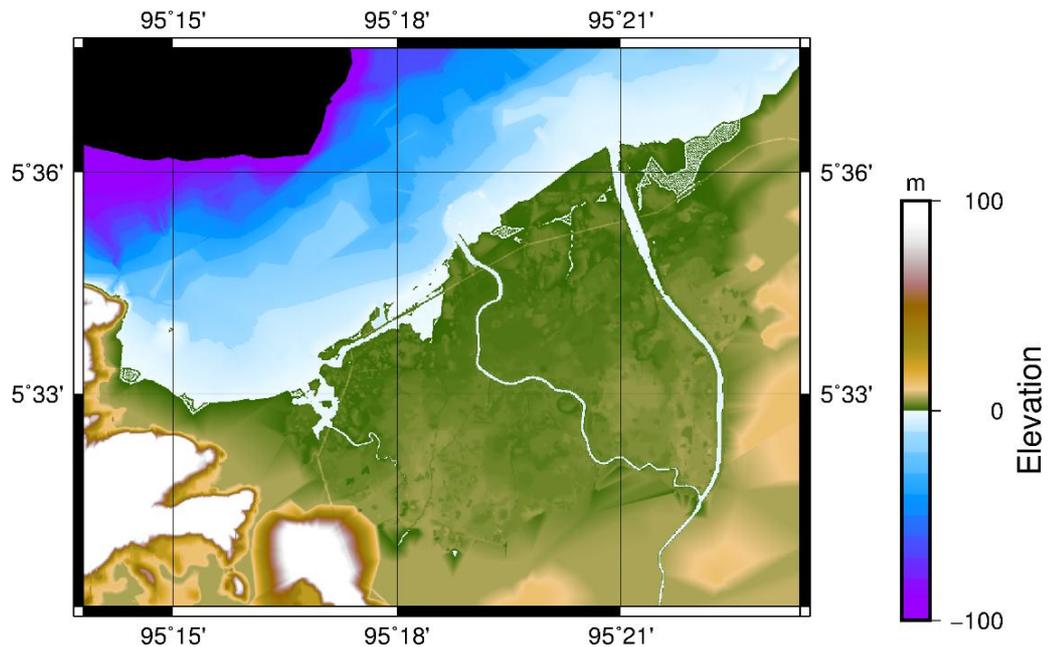
dengan ukuran grid untuk layer terkecil (Layer 6) adalah 11.5 m x 11.5 m. Pengaturan keenam layer tersebut dalam dilihat pada Gambar 3.11 dan Tabel 3.6.



Gambar 3.11 Cakupan area simulasi Layer 1 sampai Layer 6

Tabel 3.6 Pengaturan *layer* pada simulasi kinerja BORR dalam mereduksi tsunami yang akan diinput dalam *software* COMCOT

Layer	Latitude	Longitude	Number of Grid	Ratio	Grid size (m)	Time Step (sec.)	Manning Roughness Coefficients	SWE type
1	0.1 14.93	88.1 102.8	1772		1856	0.1	none	Linear
2	3 10	91 100	1920	2	928	0.05	none	Linear
3	4.08 8.98	92.05 97.98	3899	3	309.33	0.017	none	Linear
4	5.2708 6.695	94.51 95.99	3137	3	103.11	0.006	none	Linear
5	5.5 5.69	95.14 95.39	1426	3	34.37	0.002	none	Linear
6	5.515 5.615	95.235 95.378	2362	3	11.5	0.001	Variable Manning Roughness Coefficients (Tabel 3.7)	Nonlinear



Gambar 3.12 Domain simulasi dengan penambahan konstruksi BORR

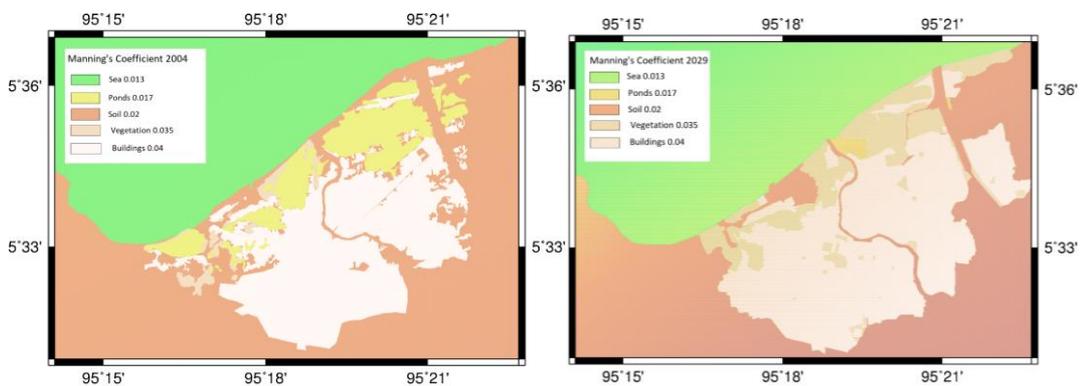
Untuk domain simulasi dengan ada konstruksi BORR dapat dilihat pada Gambar 3.12. Jalan BORR akan ditinggikan ± 5.00 m dari MSL atau sekitar ± 3.00 m dari muka tanah asli. Bangunan BORR diasumsikan sebagai tembok laut. Jalan BORR yang melalui sungai seperti di Krueng Neng, Krueng Aceh, dan *Floodway* Krueng Aceh diasumsikan sebagai jembatan.

b. Persiapan Data Tutupan Lahan

Pada simulasi ini, data dilengkapi dengan data tutupan lahan yang bervariasi. Tutupan lahan digambarkan dengan nilai kekasaran tutupan lahan yang direpresentasikan dengan angka Manning. Deliniasi tutupan lahan digitasi menggunakan ArcGis di mana klasifikasi tutupan lahannya berupa kawasan hutan pantai, tambak, kawasan bangunan, badan air, dan lahan kosong. Area yang sudah dibatasi sesuai klasifikasi tutupan lahan, diberi nilai koefisien Manning (seperti pada Tabel 3.5) menggunakan Delft3D Quickin untuk ukuran *grid* 11,5 m x 11,5 m. Peta tutupan lahan dengan koefisien Manning dapat dilihat pada Gambar 3.13 kiri untuk tahun 2004 sebelum tsunami dan kanan untuk rencana tata ruang 2029.

Tabel 3.7 Nilai koefisien Manning tutupan lahan yang diadopsi dari Li dkk (2012)

Tutupan Lahan	Angka Koefisien Manning (n)
<i>Coastal Vegetation</i> (hutan pantai)	0,035
<i>Fish Ponds</i> (tambak)	0,017
<i>Building</i> (bangunan)	0,040
<i>Sea</i> (laut/badan air)	0,013
<i>Soil</i> (tanah kosong)	0,020



Gambar 3.13 Peta tutupan lahan dengan koefisien Manning tahun 2004 (kiri) dan 2029 (kanan)

c. Simulasi Penjalaran Tsunami

Simulasi tsunami dilakukan setelah proses persiapan data selesai. Data parameter gempa, data kedalaman, dan data sebaran koefisien Manning diinput ke dalam *software* COMCOT. Untuk mengamati profil ketinggian air maksimum, ditempatkan 3 buah *cross section* yang berada melintang dengan BORR. Titik observasi digunakan untuk mengamati tinggi gelombang tsunami dan memvalidasi hasilnya. Data validasi adalah tinggi tsunami hasil pengukuran lapangan yang bersumber dari NOAA, Tsuji dkk (2006) dan Tsunami *Pole*. Simulasi dilakukan sebanyak 8 skenario, yaitu gempa 9,15 Mw dan 8,5 Mw dikombinasikan dengan konstruksi BORR, dan tutupan lahan Tahun 2004 dan Tahun 2019. Rancangan skenario kajian lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Skenario simulasi numerik

Magnitude (Mw)	Skenario BORR	Tutupan Lahan	Kode Simulasi
8,5	Ada BORR	2004	#111
		2029	#112
	Tidak ada BORR	2004	#121
		2029	#122
9,15	Ada BORR	2004	#211
		2029	#212
	Tidak ada BORR	2004	#221
		2029	#222

d. Analisis Hasil Simulasi

Analisis hasil simulasi dilakukan pada masing-masing skenario simulasi. Hasil simulasi pertama kali dilakukan validasi data dengan membandingkan data hasil simulasi dengan pengukuran lapangan. Validasi dihitung dengan Persamaan Aida (1978).

Hasil simulasi divisualisasikan dalam bentuk peta genangan tsunami maksimum dengan membandingkan hasil adanya konstruksi BORR dan tidak ada BORR pada kedua magnitudo gempa 9,15 Mw dan 8,5 Mw. Proses visualisasi peta menggunakan *software* GMT. Untuk mengamati data ketinggian tsunami pada titik observasi dan *cross section*, data diolah dengan *software Igor* atau *Microsoft Excel*. Dari 8 skenario dihitung luasan genangan tsunami $\geq 2\text{m}$ menggunakan Quantum GIS (QGIS).

3.3 Kajian Tingkat Kesiapsiagaan Masyarakat Pesisir

Menurut UU No. 24 tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, kesiapsiagaan adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk mengantisipasi bencana melalui pengorganisasian serta melalui langkah yang tepat guna dan berdaya guna. Upaya kesiapsiagaan melalui tindakan pencegahan yang efektif dan tepat

dapat meminimalkan dampak buruk dari kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim dan bahaya pesisir lainnya.

Parameter yang digunakan untuk mengkaji kesiapsiagaan masyarakat pesisir diadopsi dari *framework* yang telah dikembangkan oleh LIPI/ UNESCO. Dilakukan pengembangan pada indikator dan pertanyaan kunci yang sesuai untuk mengkaji kesiapsiagaan masyarakat dalam menghadapi dampak kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim dan bahaya pesisir lainnya. Parameter tersebut diantaranya: 1) Pengetahuan tentang bahaya pesisir; 2) Rencana tanggap darurat; 3) Peringatan dini; dan 4) Kemampuan untuk memobilisasi sumber daya. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui angket/ kuesioner dan wawancara.

Dalam kajian tingkat kesiapsiagaan masyarakat ini, responden atau target pengumpulan data adalah individu yang mewakili rumah tangga. Pengambilan data dilakukan di empat (4) kecamatan pesisir di Kota Banda Aceh, yaitu Syiah Kuala, Kuta Raja, Kuta Alam, dan Meuraxa. Sampel diambil dengan teknik *purposive random sampling* di mana responden dipilih yang lokasi tempat tinggalnya di wilayah pesisir. Total responden yang diperoleh sebanyak 311 orang.

Hasil kuesioner dianalisis menggunakan indeks untuk mengukur tingkat kesiapsiagaan masyarakat dalam menghadapi bahaya pesisir. Pertanyaan dalam parameter ini diasumsikan memiliki nilai yang sama, yaitu jika jawaban benar bernilai "1" dan jawaban salah atau menjawab "tidak tahu" bernilai "0". Perhitungan nilai indeks menggunakan rumus berikut:

$$\text{Indeks} = \frac{\text{Total Riil Parameter Score}}{\text{Maximum Parameter Score}} \times 100$$

Nilai indeks berada dalam kisaran antara 0-100, semakin tinggi nilai indeks, semakin tinggi tingkat kesiapsiagaannya. Nilai indeks dibagi menjadi beberapa kategori seperti pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Nilai indeks kesiapsiagaan

Nilai Indeks	Kategori	Kode Warna
80.00 – 100.00	Sangat Siap	
60.00 – 79.99	Siap	
40.00 – 59.99	Kurang Siap	
20.00 – 39.99	Tidak Siap	
0.00 – 19.99	Sangat Tidak Siap	

3.4 Kajian Tingkat Ketahanan Kota

Definisi ketahanan (*resilience*) yang relevan dengan masyarakat mencerminkan kapasitas adaptif suatu komunitas atau sistem untuk mengelola gangguan dari peristiwa buruk atau situasi krisis (UNISDR, 2009; Alexander, 2013). Selain itu, ketahanan memberikan kemampuan masyarakat untuk pulih dari kesulitan dan untuk mengurangi dampak di masa depan (Rose, 2007; Plodinec, 2009). Ketahanan kota adalah kapasitas individu, masyarakat, dan sistem dari sebuah kota untuk bertahan, beradaptasi, menyerap guncangan dan tekanan di masa depan terhadap kondisi sosial, ekonomi, sistem teknis dan infrastruktur kota sehingga tetap dapat mempertahankan fungsi, struktur, sistem, dan identitas yang sama.

3.4.1 Parameter, variabel dan indikator

Instrumen yang digunakan untuk mengkaji ketahanan kota terdiri atas lima parameter ketahanan, termasuk: i) kelembagaan/ tata kelola, ii) sosial dan ekonomi, iii) manajemen sumber daya pesisir, iv) pengelolaan dan infrastruktur penggunaan lahan, dan v) strategi adaptasi dan mitigasi. Gambar 3.14 berikut ini menunjukkan hierarki linear dari parameter dan variabel ketahanan kota terhadap bahaya pesisir.



Gambar 3.14 *Framework* yang digunakan untuk mengkaji ketahanan kota terhadap bahaya pesisir

Tabel A.1 – A.5 pada Lampiran menyajikan pengembangan indikator untuk setiap parameter dan variabel yang ada dalam instrumen. Data dan informasi yang diperlukan untuk menjawab setiap indikator dalam instrumen terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer dikumpulkan melalui *Focus Group Discussion* (FGD), wawancara, dan survei kuesioner. Data sekunder diperoleh melalui tinjauan pustaka dan kunjungan kelembagaan untuk mengumpulkan data yang telah dihasilkan atau dipublikasikan oleh dinas terkait. Sebelum mengumpulkan data primer, sangat penting untuk menganalisis data sekunder yang relevan terlebih dahulu.

3.4.2 Metode Kajian

Kajian ketahanan kota ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif (*mixed-method*) melalui triangulasi data/ sumber² (Fielding, 2012) yang diperoleh dari:

3.4.2.1 FGD I (*Expert Judgement*)

FGD I telah dilaksanakan pada 14 September 2017. FGD ini bertujuan untuk mengidentifikasi parameter, variabel, dan indikator untuk mengkaji ketahanan kota dalam bahaya kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim dan bahaya pesisir lainnya. FGD ini juga bertujuan untuk memperoleh saran dan masukan (justifikasi pakar) terhadap desain awal instrumen untuk mengkaji ketahanan kota dalam bahaya kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim dan bahaya pesisir lainnya. Dalam FGD ini juga dilakukan pengkajian awal terhadap ketahanan kota Banda Aceh dalam menghadapi bahaya kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim dan bahaya pesisir lainnya. Peserta dari kegiatan FGD ini berjumlah 30 orang yang merupakan para pakar di bidang perubahan iklim dan bencana baik dari tingkat lokal maupun nasional yang meliputi elemen pemerintah, non-pemerintah dan akademisi.

3.4.2.2 FGD II (*Pengkajian Lanjutan*)

FGD II telah dilaksanakan pada 9 Oktober 2018. FGD kedua ini bertujuan untuk melakukan pengkajian lanjutan terhadap ketahanan Kota Banda Aceh dalam menghadapi bahaya kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim dan bahaya pesisir lainnya. Peserta dari kegiatan FGD ini berjumlah 30 orang yang merupakan para pakar dan praktisi di bidang perubahan iklim dan bencana di Kota Banda Aceh di mana meliputi elemen pemerintah, non-pemerintah, dan akademisi.

² Teknik triangulasi data/ sumber berarti membandingkan dan mengecek balik derajat kepercayaan suatu informasi yang diperoleh melalui waktu dan alat yang berbeda, dimana hasil dari perbandingan yang diharapkan adalah berupa kesamaan atau alasan-alasan terjadinya perbedaan.

3.4.2.3 Wawancara (*Interview*)

Wawancara dilakukan kepada beberapa instansi pemerintah maupun Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) untuk membandingkan atau mengecek balik hasil dari FGD yang telah dilakukan serta memperoleh informasi lebih mendalam. Wawancara dilakukan dari Desember 2018 hingga Maret 2019.

3.4.2.4 Survei masyarakat

Beberapa informasi yang dibutuhkan untuk pengisian instrumen kajian ketahanan kota, diambil dari hasil survei/ kajian tingkat kesiapsiagaan masyarakat yang telah dilakukan di empat kecamatan.

3.5 Analisis Strategi dan Rekomendasi

Seluruh pemangku kepentingan perlu mengambil peran aktif dalam mengurangi dampak fenomena kenaikan muka air laut terhadap menguatnya ancaman bencana pesisir. Di antara metode-metode mitigasi yang dapat diterapkan bersama adalah:

3.5.1 Banda Aceh Outer Ring Road (BORR)

Belajar dari sistem mitigasi tsunami berlapis yang diterapkan di wilayah pesisir Jepang, seperti di Kota Sendai, salah satu metode yang dapat diterapkan di Banda Aceh adalah jalan raya lingkaran kota yang ditinggikan (*elevated road*). Hal ini sejalan dengan inisiatif Pemerintah Kota Banda Aceh untuk membangun Banda Aceh Outer Ring Road (BORR). Berdasarkan simulasi numerik yang telah dilakukan oleh peneliti TDMRC Unsyiah, BORR dapat mengurangi dampak gelombang tsunami secara signifikan apabila dibangun dengan ketinggian 5 (lima) meter dari permukaan tanah. Hal ini dimungkinkan karena BORR yang dibangun tinggi tersebut akan dapat meredam energi dan laju gelombang tsunami, sehingga kemampuan menghancurkan dari gelombang tersebut berkurang. Hasil penelitian ini telah dipublikasikan pada 2019 dengan judul “*Assessing the tsunami mitigation effectiveness of the planned Banda Aceh Outer Ring Road (BORR), Indonesia*” dalam jurnal *Natural Hazards and Earth System Sciences*.

3.5.2 Escape Building Alternatif

Keterbatasan jumlah bangunan evakuasi tsunami di Banda Aceh saat ini dapat disiasati antara lain dengan menjadikan bangunan-bangunan tinggi yang sudah ada sebagai tempat evakuasi alternatif. Bangunan yang dapat digunakan antara lain mesjid, gedung sekolah atau kampus, rumah toko (ruko) berlantai tiga, dan gedung kantor pemerintah. Langkah-langkah yang perlu dilakukan adalah pendataan kondisi struktur bangunan, melakukan *retrofitting* atau penguatan struktur jika diperlukan, dan membuat akses tangga maupun *ramp* langsung ke lantai atas atau atap bangunan. Bangunan evakuasi alternatif seperti ini akan meningkatkan peluang evakuasi bagi sebagian besar masyarakat yang berdomisili di kawasan sangat rawan tsunami namun belum mempunyai akses evakuasi yang efektif, seperti kawasan Alue Naga dan Gampong Jawa.

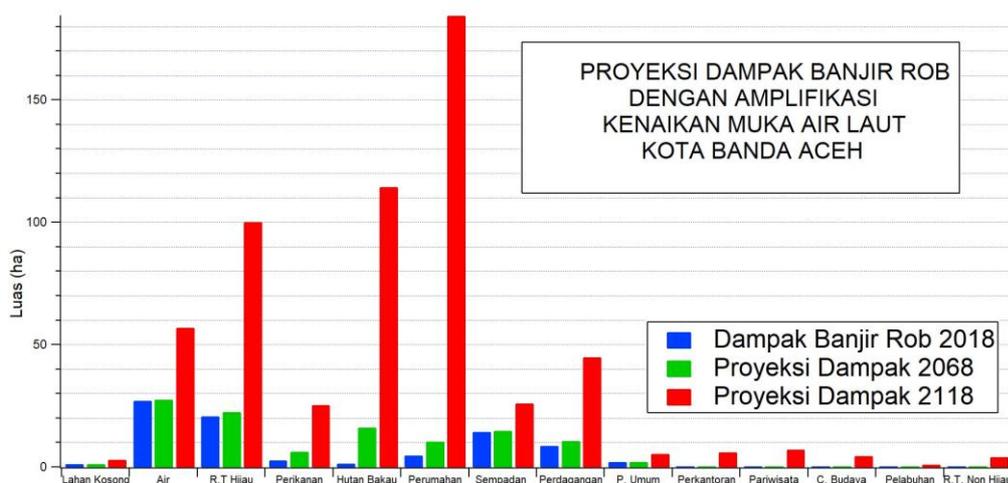
3.5.3 Bukit Evakuasi

Metode mitigasi tsunami di Sendai, Jepang yang juga dapat diaplikasikan di Kota Banda Aceh adalah pembangunan bukit evakuasi alternatif. Bukit evakuasi ini dapat dibangun dari material limbah konstruksi, plastik, maupun limbah padat lainnya. Selain itu, bukit-bukit tersebut harus direncanakan dengan memenuhi standar keamanan dan estetika yang tinggi, serta diposisikan secara strategis sehingga dapat berfungsi ganda sebagai lokasi evakuasi dan objek wisata. Dengan demikian, fasilitas bukit evakuasi tersebut akan berdampak juga pada penguatan ekonomi komunitas di mana dalam jangka panjang akan meningkatkan ketangguhan masyarakat terhadap bencana.

BAB 4 HASIL KAJIAN

4.1 Banjir Rob

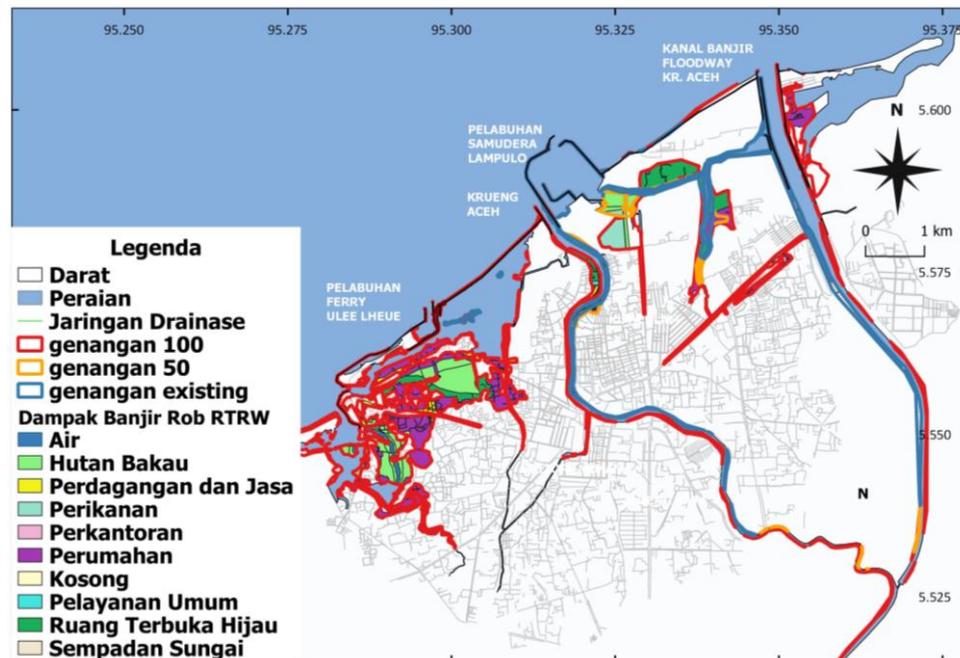
Pemodelan banjir rob menggunakan Delft3D-Flow dan Wave. Data yang digunakan adalah data pasang surut dan gelombang sebagai sumber pembangkitan dalam simulasi banjir rob. Data tersebut adalah komponen pasang surut 15 hari dan gelombang dengan data gelombang signifikan tertinggi. Setelah simulasi model genangan Delft3D selesai, dilakukan analisis spasial untuk menghasilkan peta dan grafik dampak terhadap kondisi eksisting, skenario 50 tahun, dan skenario 100 tahun. Model ini memiliki dua skenario tinjauan dampak, yaitu kondisi tata guna lahan eksisting, dan RTRW Kota Banda Aceh 2009-2029.



Gambar 4.1 Grafik luas genangan model kawasan eksisting

Untuk kasus dampak RTRW kondisi eksisting pada 2018, ada 84.27 ha luasan yang tergenang di mana sebagian besar adalah tambak dan beberapa rawa yang terhubung dengan laguna, serta beberapa jaringan drainase. Hal ini meningkat sebesar 33.88% pada tahun 2068 dengan prediksi area yang tergenang seluas 112.83 ha. Peningkatan luasan area dampak ini tercatat cukup besar dalam kurun waktu 50 tahun. Bahkan, dalam 100 tahun (tahun 2118) mendatang diperkirakan luas genangan akan meningkat menjadi 4 kali lipat, yaitu 418% dengan luas 585.13 ha. Dengan demikian dalam kurun waktu tersebut, 9.5% dari total wilayah

Kota Banda Aceh diprediksi tergenang. Untuk lebih jelasnya dampak peta area terdampak dan persentase landaannya diperlihatkan pada Gambar 4.2 dan .



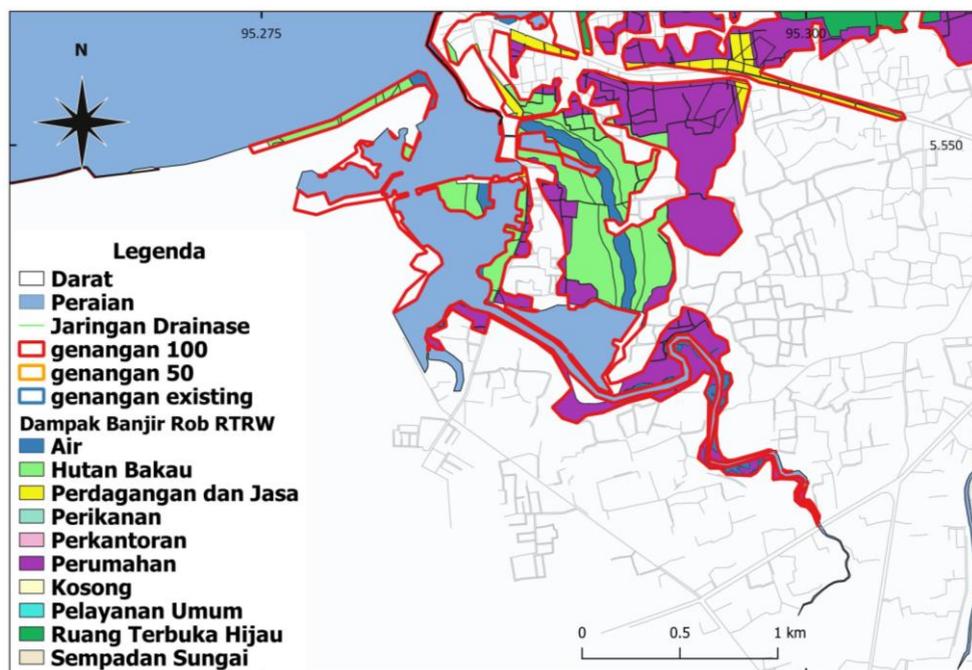
Gambar 4.2 Peta landaan dari dampak banjir rob

Tabel 4.1 Luas dampak genangan terhadap kawasan pesisir Kota Banda Aceh.

Tahun	Model Tata Guna Lahan	
	Luas Genangan (ha)	% Luas Kota
2018	84.27	1.37
2068	112.83	1.84
2118	585.13	9.54

Pasca-tsunami, Kota Banda Aceh banyak mendapatkan dukungan untuk melakukan rekonstruksi. Pembangunan itu pun kontinu dilakukan hingga 2018 dan masih terus berlanjut. Berbekal dana otsus, banyak jalan yang terus dibangun dan ditinggikan sehingga mendapatkan penambahan elevasi. Selain itu, banyak tanah-tanah dengan elevasi rendah seperti rawa dan lainnya juga mendapat peninggian elevasi guna pemanfaatan lahan untuk perumahan ataupun perkantoran. Mahalnya harga tanah pada daerah daratan yang relatif tinggi dan jauh dari pantai menjadikan tanah-tanah pada area pesisir menjadi incaran dari

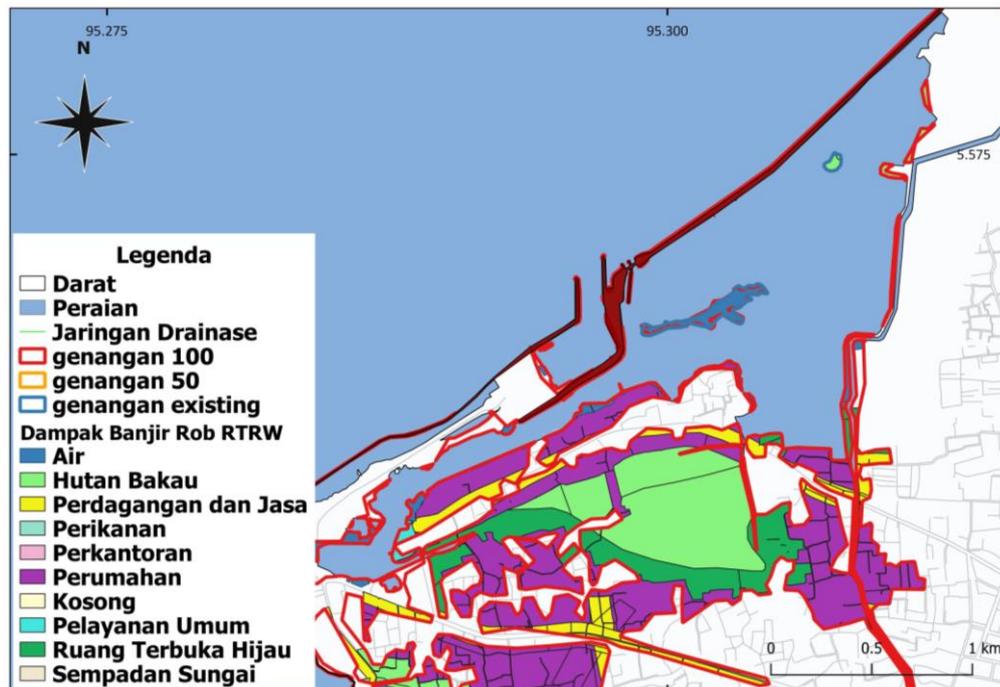
perusahaan pengembang properti perumahan. Oleh karena itu, pada kondisi eksisting daerah Kota Banda Aceh telah lebih baik menghadapi banjir rob dibandingkan sebelum tsunami. Akan tetapi, untuk proyeksi 50 hingga 100 tahun ke depan tidak akan sama. Hal ini diakibatkan oleh peningkatan muka air laut dan banyaknya pemukiman yang terus tumbuh di area pesisir. Model numerik dilakukan dalam melihat proyeksi dampak banjir rob yang diampifikasi oleh kenaikan muka air laut.



Gambar 4.3 Dampak banjir rob pada Kawasan I (Kecamatan Meuraxa)

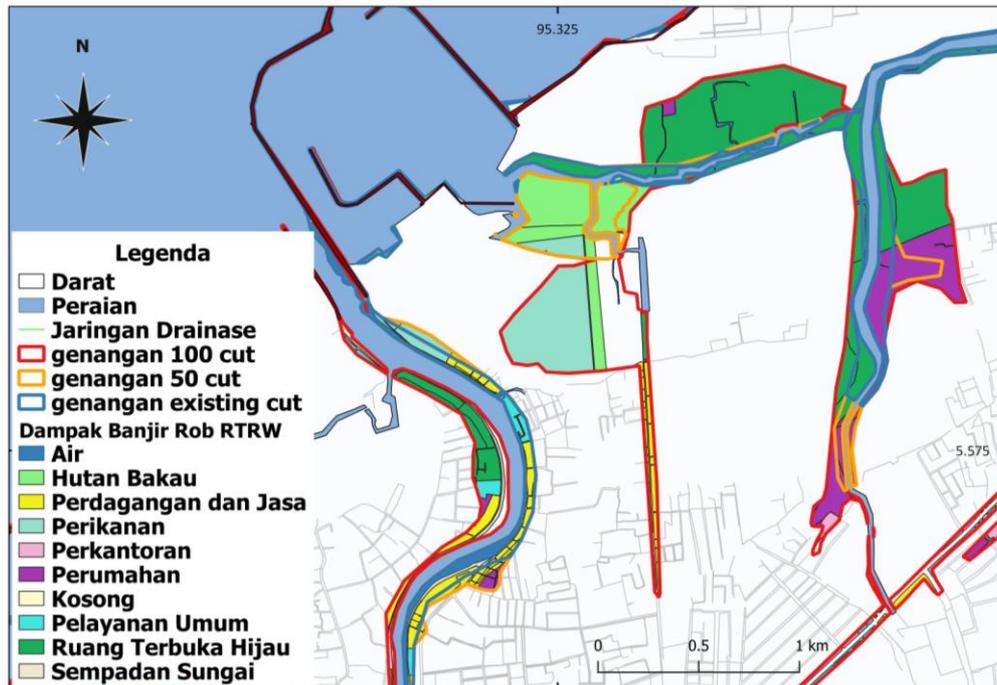
Berdasarkan model genangan eksisting, dilakukan proyeksi prediksi 50 tahun yang menghasilkan dampak cukup signifikan dengan naiknya air laut sejauh 53 m ke arah pesisir melalui jaringan drainase, akan tetapi belum mengenai kawasan penduduk. Kenaikan muka air laut setinggi 0,35 m yang ditambah dengan gelombang pasang menjadikan luasan genangan terus bertambah. Hal yang mengejutkan terjadi setelah 100 tahun prediksi capaian genangan meningkat hampir menjangkau 1 km ke arah darat dan memberi dampak pada banyak fasilitas baik perumahan penduduk ataupun fasilitas umum di daerah setempat. Gelombang pasang yang disertai gelombang ekstrim pada kondisi eksisting

hampir mencapai ketinggian hampir 2 m, dan secara berangsur bertambah 0.35 dan 0.7 m akibat prediksi kenaikan muka air laut pada 50 dan 100 tahun.



Gambar 4.4 Dampak banjir rob pada Kawasan II (Kecamatan Meuraxa 2)

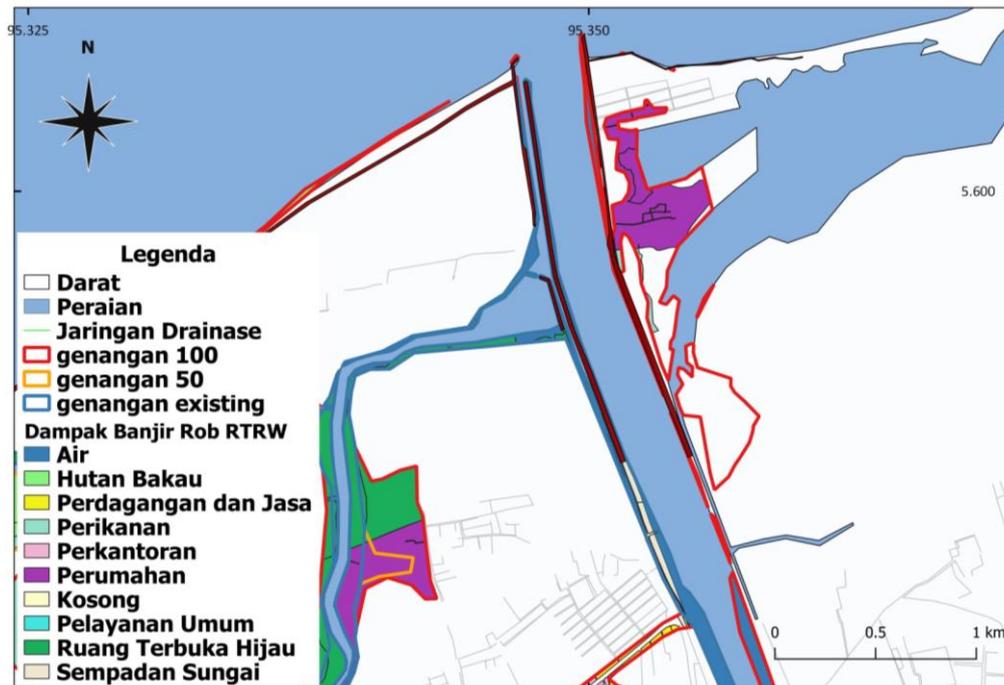
Pada gambar 4.24, pada kawasan deah gelumpang, deah raya dan sekitarnya pada kondisi eksisting banjir rob tidak akan mempengaruhi area pemukiman. Hal ini juga masih relatif terjadi dengan prediksi 50 tahun kedepan dengan kenaikan muka air setinggi 0.35 m. Gelombang pasang hanya menggenangi pulau kecil yang terdapat di dalam laguna Ulee Lheue. Hal yang cukup menarik terjadi justru pada prediksi 100 tahun dimana kenaikan muka air mencapai 0.7 m. Banjir rob bergerak melalui saluran drainase dan saluran air yang digunakan sebagai intake ke area tambak. Berdasarkan model dikhawatirkan area sebagian besar kawasan pemukiman juga akan terdampak dan tergenang seperti pada desa Deah Raya dan Deah Glumpang.



Gambar 4.5 Dampak banjir rob pada Kawasan III (Kecamatan Kuta Alam)

Pada kawasan ini, banjir rob menjalar melalui jalur rawa, dan saluran yang terhubung dengan jaringan drainase. Banjir rob hanya menggenangi kawasan rawa, tambak dan bantaran sungai baik pada kondisi prediksi 50 tahun hingga 100 tahun pada 2118. Pada prediksi 50 tahun, aliran air laut dapat menjalar ke saluran drainase Jalan Syiah Kuala hingga 470 m dari ujung saluran, dan terus meningkat menjadi 1.74 km setelah dimodelkan untuk prediksi 100 tahun. Selain itu prediksi dalam 50 dan 100 tahun menunjukkan ada kawasan perumahan yang terancam pada desa Tibang, yang berada disebelah utara desa Jeulingke.

Pada skenario 50 dan 100 tahun, elevasi muka air dengan pasang tertinggi 0.85 m, akan bertambah setinggi 1.1 m dari gelombang tertinggi 2.21m yang ditambah nilai slr senilai 0.35 m dan 0.7 m untuk kondisi 50 dan 100 tahun. Hal ini mengakibatkan kawasan pesisir Kota Banda Aceh terancam gelombang pasang setinggi 2.25 m dan 2.6 m untuk proyeksi 50 dan 100 tahun. Hal ini mengakibatkan kawasan rendah yang dekat dengan laguna dan rawa ikut tergenang.



Gambar 4.6 Dampak banjir rob pada Kawasan IV (Kecamatan Syiah Kuala)

Gambar 4.25 menampilkan peta genangan banjir rob pada kawasan Desa Alue Naga. Desa Alue Naga memiliki konstruksi pelindung pantai yang berupa revetmen pada sepanjang garis pantai, dan selain itu Floodway Krueng Aceh juga dilindungi oleh tanggul di sisi kiri dan kanannya. Hal ini menyebabkan kawasan disekitarnya masih relatif aman dari terjangkit banjir rob. Akan tetapi pada skenario 50 dan 100 tahun banjir rob bergerak masuk dari laguna dan menggenangi kawasan perumahan disebelah timur *floodway Krueng Aceh*. Tinggi muka air pasang yang disertai gelombang dengan elevasi 2.15 hingga 2.6 m menyebabkan kawasan hutan bakau, rawa, tambak dan sebagian perumahan tergenang. Untuk lebih jelasnya, berikut jenis kawasan dan luasan yang terdampak oleh Banjir rob pada skenario eksisting, 50 dan 100 tahun dapat dilihat pada Tabel 4.2.

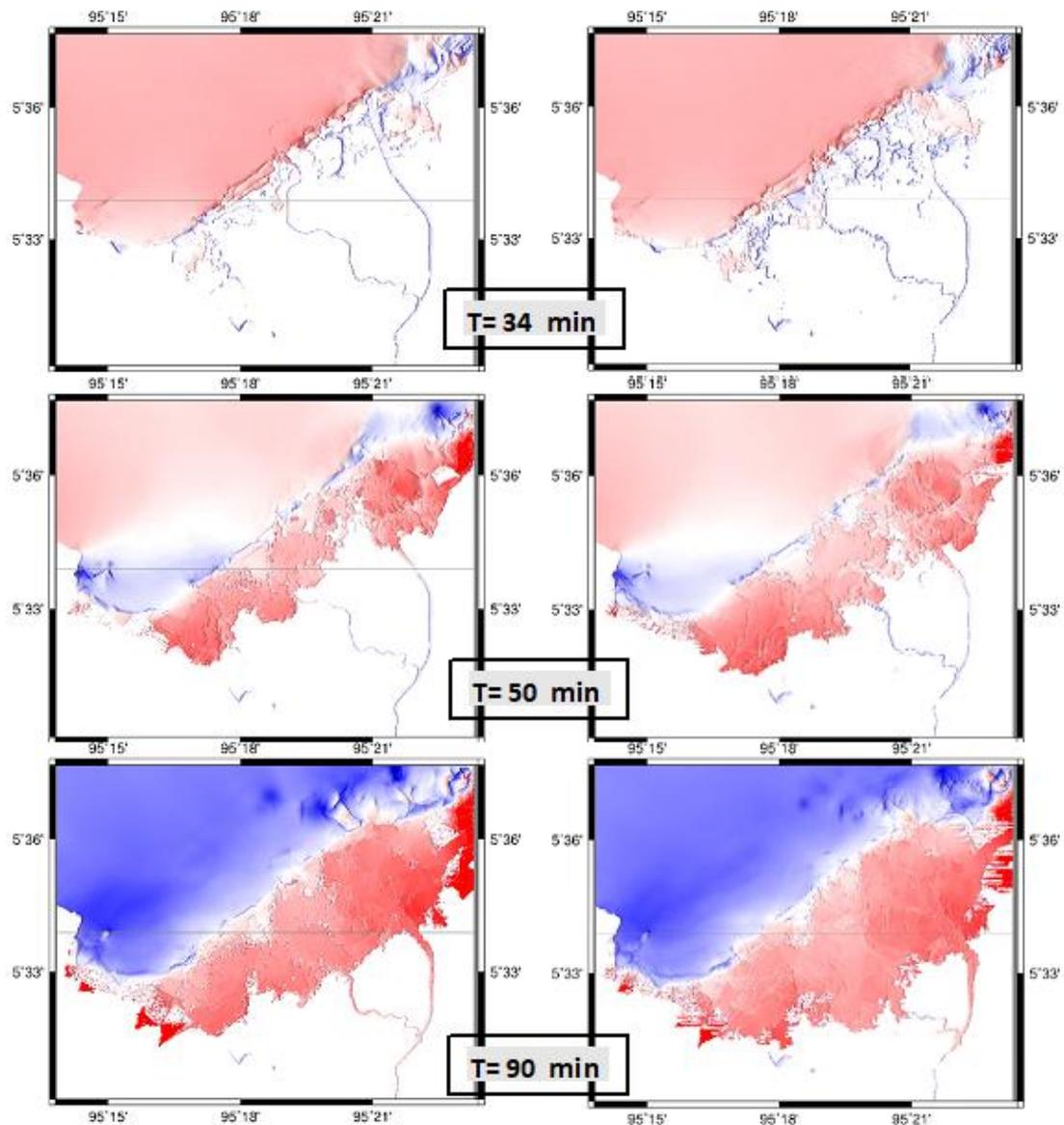
Tabel 4.2 Dampak banjir rob terhadap Kota Banda Aceh

<i>Tata Guna Lahan</i>	<i>2018 (ha)</i>	<i>2068 (ha)</i>	<i>2118 (ha)</i>
<i>Lahan Kosong</i>	1.400853	1.407531	3.095942
<i>Air</i>	27.30899	27.69442	57.02285
<i>Ruang Terbuka Hijau</i>	20.92166	22.52628	100.17800
<i>Kawasan Perikanan</i>	2.871448	6.407942	25.50409
<i>Kawasan Hutan Bakau</i>	1.451334	16.30073	114.48170
<i>Kawasan Perumahan</i>	4.74674	10.54706	184.50810
<i>Sempadan Sungai</i>	14.57142	14.84726	26.15578
<i>Kawasan Perdagangan dan Jasa</i>	8.667024	10.76153	45.02215
<i>Pelayanan Umum</i>	2.265483	2.365483	5.586616
<i>Kawasan Perkantoran</i>	0.071714	0.071714	6.235556
<i>Kawasan Pariwisata</i>	0	0	7.33934
<i>Kawasan Cagar Budaya</i>	0	0	4.643369
<i>Kawasan Pelabuhan</i>	0	0	1.097172
<i>Ruang Terbuka Non Hijau</i>	0	0	4.262848
<i>Jumlah Total</i>	84.27667	112.83	585.1336

4.2 Tsunami

4.2.1 Dampak Tsunami + SLR 100 tahun

Sebagai kota pesisir yang landai, Banda Aceh rentan terhadap ancaman kenaikan muka air laut akibat pemanasan global. Kajian ini melihat bagaimana dampak tsunami 100 tahun akan datang di Banda Aceh apabila muka air laut naik 0,7 m. Proses penjalaran tsunami dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Penjalaran tsunami, tanpa SLR (kiri) dan dengan penambahan SLR 100 tahun (kanan)

4.2.1.1 Waktu kedatangan tsunami

Gambar 1 menginformasikan gelombang tsunami saat menjalar ke daratan Banda Aceh. Sebelah kiri gelombang tsunami tanpa pengaruh SLR. Gambar sebelah kanan gelombang tsunami setelah SLR 0,7 m. Secara visual dapat dilihat gelombang tsunami memasuki daratan ±34 menit setelah gempa. Akan tetapi di waktu yang sama, gelombang tsunami sudah menjalar di daratan setelah dikombinasikan dengan SLR. Waktu tiba menjadi ±32 menit. Hal ini

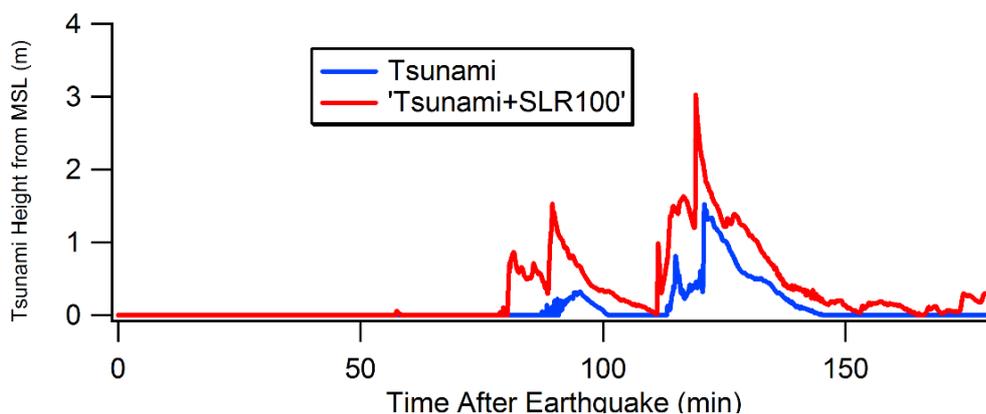
menunjukkan bahwa dengan pengaruh kenaikan muka air laut, waktu tiba gelombang tsunami jadi lebih cepat. Dengan demikian, waktu untuk melakukan evakuasi juga semakin singkat.

4.2.1.2 Ketinggian tsunami

Tinggi tsunami diamati pada titik observasi yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Gambar 2. Terlihat perbedaan yang cukup signifikan tinggi tsunami Tahun 2004 dibandingkan dengan gelombang tsunami setelah adanya SLR 0,7 m. Di tempat tertentu (titik 4), gelombang tsunami yang ditambah SLR, dapat lebih tinggi 2 kali lipat daripada gelombang tsunami dengan muka air laut normal.

Tabel 4.3 Perbandingan hasil pengukuran dengan hasil simulasi

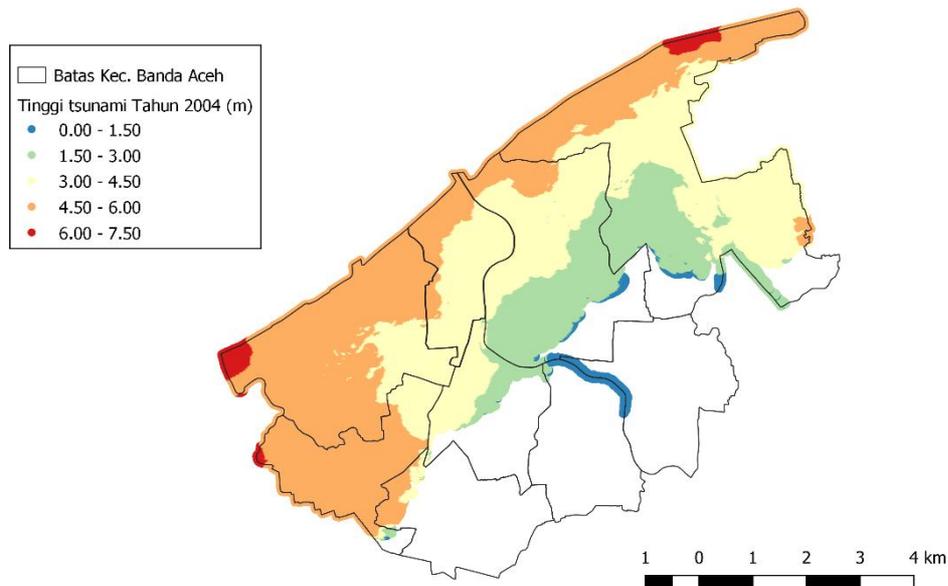
Titik Observasi	Jarak dari garis pantai (km)	Tinggi tsunami pada Tsunami Pole (m)	Tinggi tsunami hasil simulasi (m)		Persentase peningkatan (%)
			Tsunami 2004	Tsunami+SLR100 tahun	
1	2.7	3.4	3.140	4.027	128.251
2	3.5	3.2	2.811	3.607	128.336
3	3.5	2.45	3.104	3.318	106.908
4	3.8	1.4	1.523	3.028	198.831
5	3.2	3.4	3.230	3.496	108.235



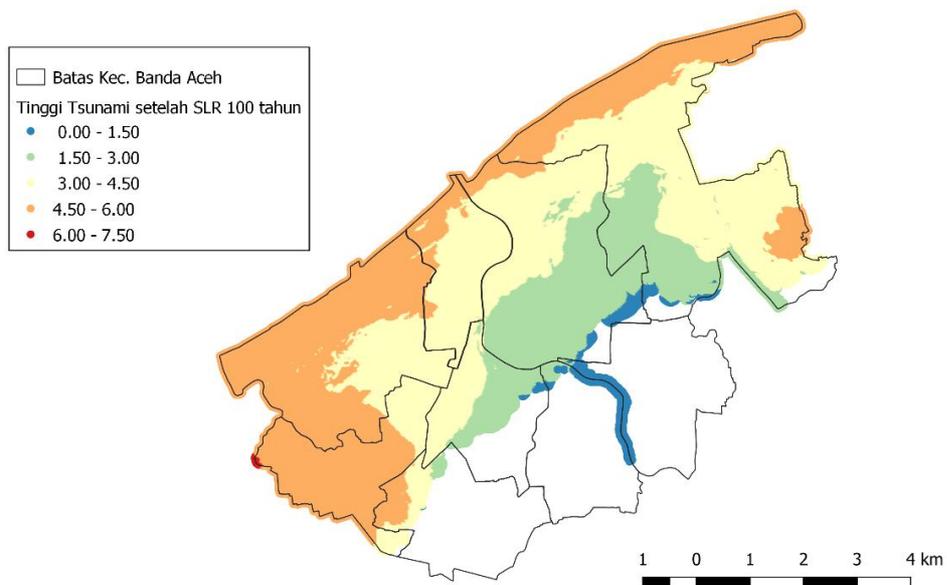
Gambar 4.8 Tinggi gelombang tsunami (dari *Mean Sea Level*) pada titik pengamatan 4 (3.80 km dari garis pantai)

4.2.1.3 Luas genangan tsunami

Hasil pemodelan menunjukkan, gelombang tsunami menjalar sampai 4 km ke daratan setelah penambahan pengaruh kenaikan muka air laut. Luasan genangan tsunami menjadi 1.3 kali lipat lebih luas dari luasan genangan saat tsunami tahun 2004.



Gambar 4.9 Luas genangan tsunami tahun 2004

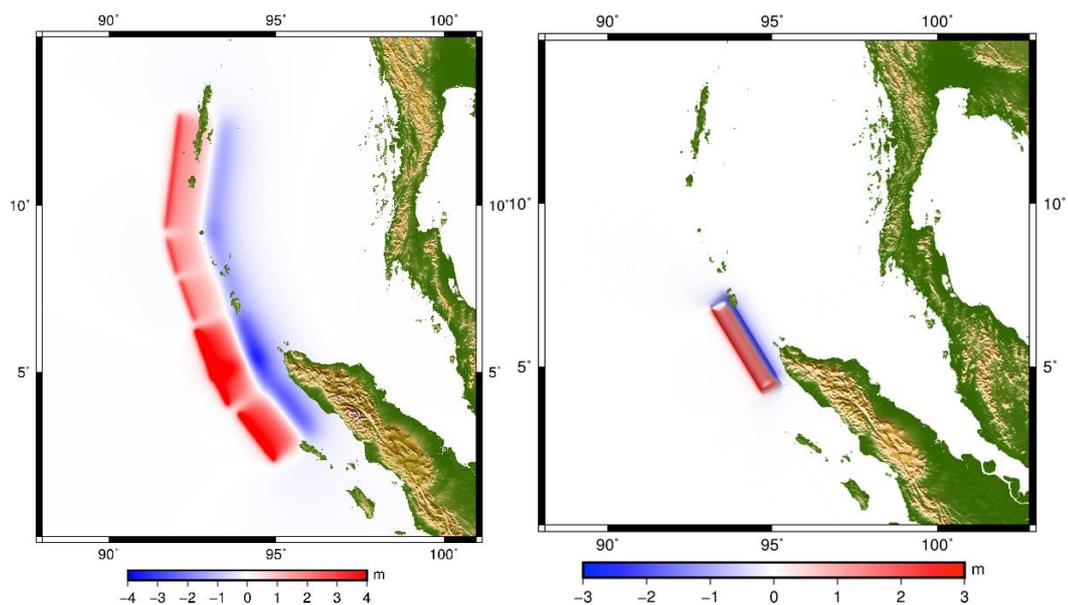


Gambar 4.10 Luas genangan tsunami setelah SLR 100 tahun

Perubahan iklim yang berdampak pada kenaikan muka air laut akan menjadikan dampak tsunami di Kota Banda Aceh semakin parah. Kombinasi antara gelombang tsunami dengan *sea level rise* dan rendahnya daratan Banda Aceh menyebabkan daerah terdampak gelombang tsunami menjadi lebih luas. Untuk itu upaya mitigasi bencana tsunami di Banda Aceh perlu mempertimbangkan faktor kenaikan muka air laut.

4.2.2 Evaluasi Kinerja BORR (Banda Aceh Outer Ring Road) dalam Mitigasi Tsunami

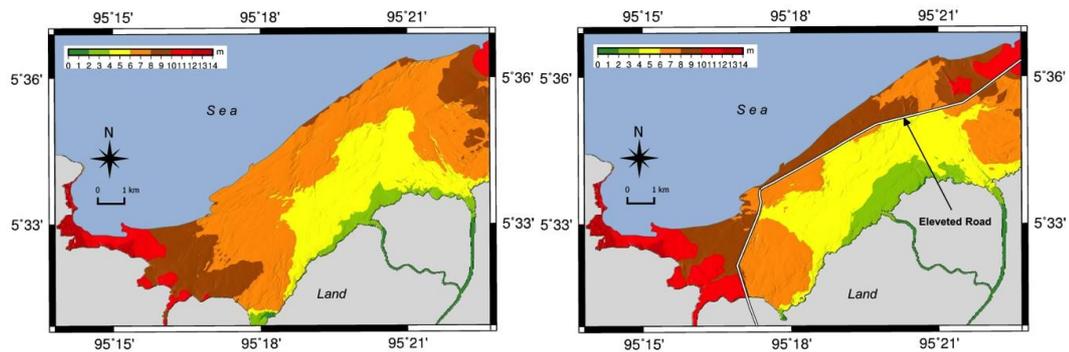
Kajian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan *elevated road* (BORR) dalam mereduksi ketinggian tsunami. Gambar 4.11 menunjukkan perubahan muka air di area patahan gempa.



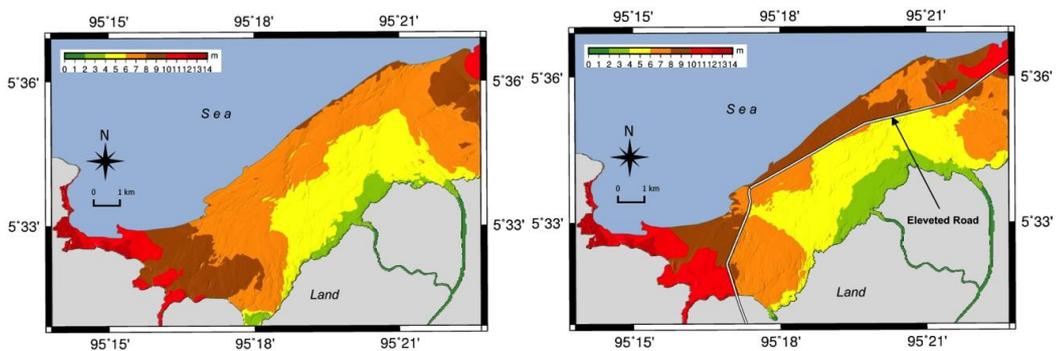
Gambar 4.11 Perubahan elevasi permukaan laut pada saat gempa bumi. Sebelah kiri magnitudo 9.15 Mw dan kanan 8.5 Mw

4.2.2.1 Luas Genangan Tsunami Magnitude 9.15 Mw

Gambar 4.12 menunjukkan perubahan kedalaman genangan tsunami. Di depan BORR (sisi laut), gelombang tsunami bisa lebih tinggi dibandingkan dengan area di belakang BORR. Di sisi lain, daerah genangan tsunami bisa 8,60% lebih kecil jika jalan dibangun.



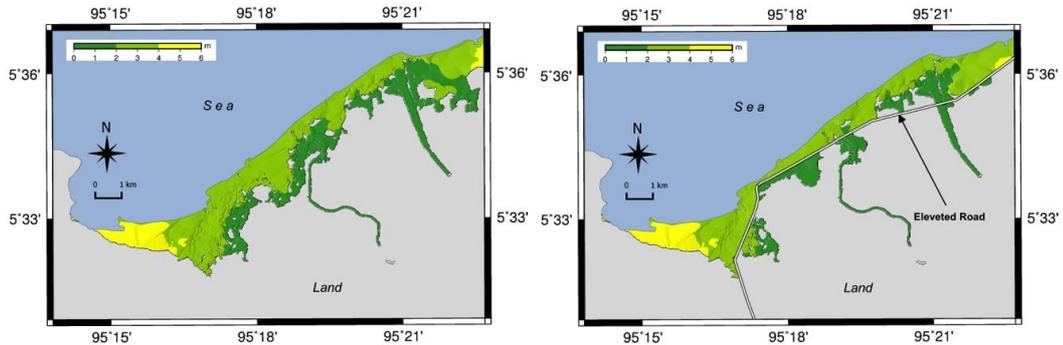
Gambar 4.12 Kedalaman gelombang tsunami maksimum berdasarkan gempa 9,15 Mw tanpa BORR (kiri) dan ada BORR (kanan). Simulasi didasarkan pada tipe penggunaan lahan sebelum Tsunami 2004



Gambar 4.13 Kedalaman gelombang tsunami maksimum berdasarkan gempa 9,15 Mw tanpa BORR (kiri) dan ada BORR (kanan). Simulasi didasarkan pada tutupan lahan perencanaan tahun 2029.

Efek serupa dari struktur BORR pada distribusi kedalaman gelombang tsunami dapat dilihat pada Gambar 4.13 untuk penggunaan lahan perencanaan 2029. Menggunakan 2029 jenis penggunaan lahan yang direncanakan dengan BORR, ketinggian gelombang dapat dikurangi di daerah di belakang jalan. Di sisi lain, jika dibandingkan antara Gambar 4.12 (kiri) dengan Gambar 4.12 (kanan), terlihat bahwa dampak dari perubahan tipe penggunaan lahan seperti yang direncanakan untuk tahun 2029, tidak akan memberikan perbedaan yang signifikan dalam hal genangan tsunami. Oleh karena itu, perubahan penggunaan lahan saja tidak cukup untuk mengurangi dampak buruk gelombang tsunami. BORR dapat membuat daerah genangan tsunami berkurang menjadi sekitar 9,7%.

4.2.2.2 Luas Genangan Tsunami pada Magnitude 8.5 Mw

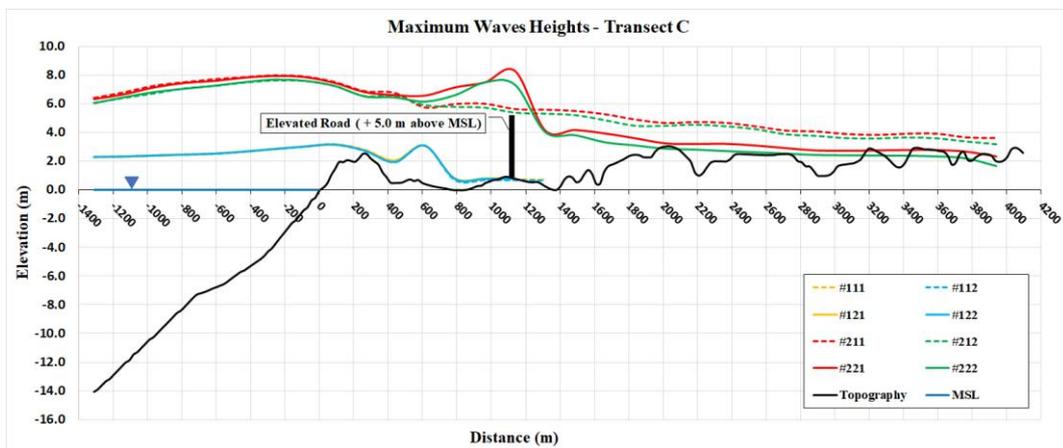
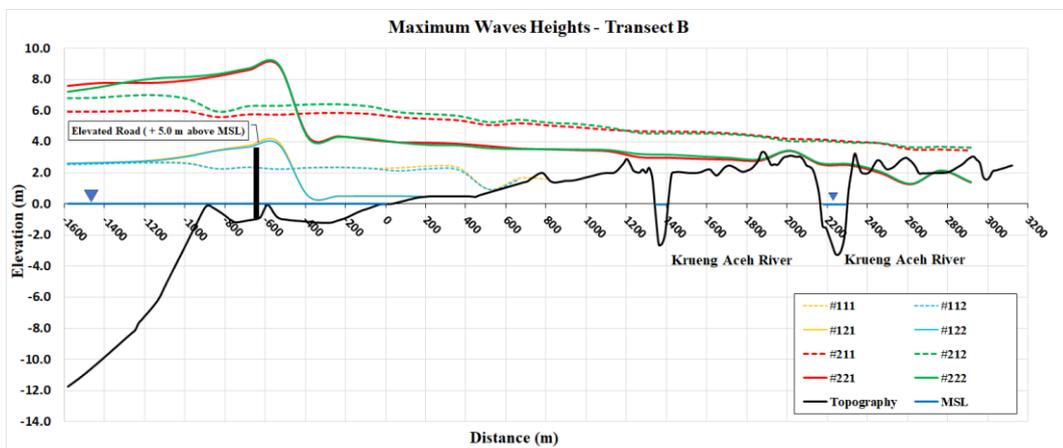
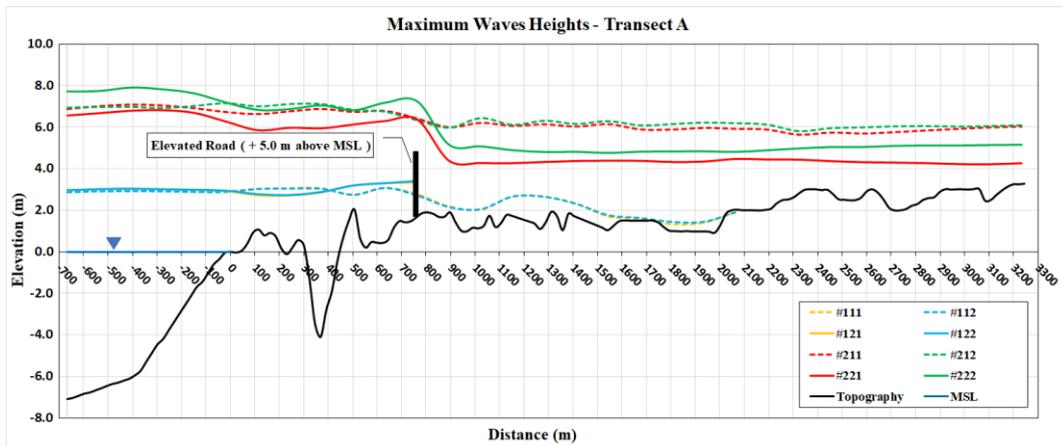


Gambar 4.14 Perbandingan kedalaman genangan tsunami maksimum yang dihasilkan oleh gempa bumi 8,5 Mw dengan kondisi tanpa BORR (kiri) dan dengan BORR (kanan)

Dampak BORR dalam mengurangi ketinggian gelombang tsunami tidak signifikan untuk tsunami skala besar. Tabel 4.4 menunjukkan luas genangan pada masing-masing skenario. Untuk tsunami yang dihasilkan oleh gempa berkekuatan 8,5 Mw, struktur BORR dapat mengurangi daerah genangan sekitar 22%. Namun, gempa besar 9,15 Mw (seperti dalam kasus tsunami 2004) hanya dapat mengurangi daerah genangan sekitar 9%. Hal ini sama seperti kejadian Tsunami Jepang 2011. Jalan tol dengan elevasi yang ditinggikan berhasil menghentikan genangan tsunami.

Tabel 4.4 Perbandingan luasan genangan tsunami

Kekuatan Gempa (Mw)	Tutupan lahan	Luas area genangan (ha)	Persentase pengurangan
8,5	2004 tanpa BORR	1,591.73	21.33
	2004 ada BORR	1,252.20	
	2029 tanpa BORR	1,553.03	22.51
	2029 ada BORR	1,203.47	
9,15	2004 tanpa BORR	4,654.27	8.60
	2004 ada BORR	4,254.17	
	2029 tanpa BORR	4,592.60	9.66
	2029 ada BORR	4,148.91	



Gambar 4.15 Perbandingan kedalaman genangan tsunami maksimum pada cross section A, B dan C

Gambar 4.15 menunjukkan perbandingan kedalaman genangan tsunami maksimum untuk semua skenario simulasi untuk *cross section* A, B, dan C. Semua *cross section* yang diamati menunjukkan efek yang sama dari BORR pada

kedalaman genangan maksimum. Kedalaman bisa berkurang setelah adanya struktur BORR. Tepat di tepi struktur BORR, kedalamannya akan berkurang sekitar 5 m pada gempa berkekuatan 9,15 Mw, sekitar 28,5% lebih rendah daripada situasi tanpa BORR.

Kajian ini mengevaluasi kemungkinan untuk mengurangi dampak tsunami di Banda Aceh berdasarkan delapan skenario simulasi numerik. Simulasi dilakukan menggunakan dua magnitudo gempa yang menghasilkan tsunami, mis. Magnitudo 8,5 Mw dan 9,15 Mw. Perencanaan jalan yang ditinggikan (BORR) dan penggunaan lahan tahun 2029 dimasukkan dalam simulasi untuk menguji manfaat struktur dalam mitigasi tsunami selain mengatasi kemacetan. Membangun struktur pertahanan berlapis seperti yang sudah dibangun Jepang saat ini, tentu sulit diaplikasikan di daerah berkembang karena membutuhkan biaya yang mahal. Ada cara potensial untuk upaya mitigasi tsunami struktural, yaitu dengan memodifikasi profil bangunan wilayah pesisir. Salah satu kemungkinan untuk Banda Aceh adalah dengan meninggikan jalan yang direncanakan sejajar dengan pantai yang bernama *Banda Aceh Outer Ring Road* (BORR). Berdasarkan simulasi, jalan BORR, dengan reklamasi ditambah 5,0 m dari permukaan laut rata-rata, dapat mengurangi wilayah genangan sekitar 9% dalam kasus gempa 9,15 Mw dan sekitar 22% dalam kasus gempa 8,5 Mw. Ketinggian gelombang dan kecepatan gelombang juga dapat dikurangi dengan menggunakan struktur jalan yang ditinggikan. Pada kasus Banda Aceh, perencanaan penggunaan lahan saja seperti perencanaan tata guna lahan tahun 2029 tanpa jalan BORR tidaklah signifikan dalam mengurangi genangan dan ketinggian tsunami. Oleh karena itu, perencanaan penggunaan lahan tahun 2029 ditambah dengan BORR diharapkan dapat mengurangi risiko tsunami di Kota Banda Aceh.

DAFTAR PUSTAKA

- Aida, I., 1978. Reliability of a tsunami source model derived from fault parameters. *Journal of Physics of the Earth* 26, 57-73.
- Al'ala, M., Syamsidik and Kato, S., 2017, October. Predicting impact of SLR on coastal flooding in Banda Aceh coastal defences. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1892, No. 1, p. 100004). AIP Publishing.
- Akram, M. N., 2017. Simulasi Numerik Dinamika Gelombang Tsunami pada Struktur Bangunan Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Lampulo. Tugas Akhir. Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.
- Badan Pusat Statistik (BPS), 2018. Kota Banda Aceh Dalam Angka, ISSN : 2477-6696. BPS Kota Banda Aceh.
- BBPJN 1 (Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah 1), 2016. Studi Kelayakan Jalan Lingkar Luar Kota Banda Aceh (BORR) Prov. Aceh. Buku Gambar. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, Sumatera Utara.
- Bevacqua, A., D. Yu and Y. Zhang. 2018. Coastal vulnerability: Evolving concepts in understanding vulnerable people and places. *Environmental Science & Policy*, 82:19-29. doi:10.1016/j.envsci.2018.01.006.
- Fielding, N. G. (2012). Triangulation and mixed methods designs: Data integration with new research technologies. *Journal of mixed methods research*, 6(2), 124-136.
- Ghobarah A, Saatcioglu M, Nistor I (2006) The impact of the 26 December 2004 earthquake and tsunami on structures and infrastructure. *Eng Struct* 28:312–326. doi:10.1016/j.engstruct.2005.09.028
- Lavigne F, Paris R, Grancher D et al (2009) Reconstruction of tsunami inland propagation on December 26, 2004 in Banda Aceh, Indonesia, through field investigations. *Pure Appl Geophys* 166:259–281. doi:10. 1007/s00024-008-0431-8
- Levy, B. S., and J. A. Patz. 2015. Climate change, human rights, and social justice. *Annals of global health*, 81 (3):310-322. doi:10.1016/j.aogh.2015.08.008.

Li, L., Qiu, Q., and Huang, Z., 2012. Numerical modeling of the morphological change in Lhok Nga, west Banda Aceh, during the 2004 Indian Ocean tsunami: understanding tsunami deposits using a forward modeling method *Nat Hazards* 64, 1549-1574.

Koshimura S., Oie T., Yanagisawa H., and Imamura F., 2009. Developing fragility functions for tsunami damage estimation using numerical model and post-tsunami data from Banda Aceh, Indonesia. *Coastal Engineering Journal* 51(3), 243-273.

McMichael, A. J. 2014. Earth as humans' habitat: global climate change and the health of populations, *International journal of health policy and management*, 2(1): 9. doi:10.15171/ijhpm.2014.03.

Mimura, N. 2013. Sea-level rise caused by climate change and its implications for society. *Proceedings of the Japan Academy. Series B, Physical and Biological Sciences*, 89(7): 281–301. doi:10.2183/pjab.89.281.

Neumann, B., A. T. Vafeidis, J. Zimmermann, and R. J. Nicholls. 2015. Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding—a global assessment. *PloS one*, 10 (3): e0118571. doi:10.1371/journal.pone.0118571.

NOAA, 2018. Global Historical Tsunami Database, National Geophysical Data Center / World Data Service (NGDC/WDS), National Geophysical Data Center, NOAA, doi:10.7289/V5PN93H7 https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml (accessed Mar. 11, 2018).

UNESCO. 2012. Coastal Management Approaches for Sea-level Related Hazards: Case Studies and Good Practices. (Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) Manuals and Guides, 61) 46 pp. (IOC/2012/MG/61Rev).

Syamsidik, Oktari, R. S., Munadi, K., Arief, S., & Fajri, I. Z. (2017). Changes in coastal land use and the reasons for selecting places to live in Banda Aceh 10 years after the 2004 Indian Ocean tsunami. *Natural Hazards*, 88(3), 1503-1521.

Syamsidik, Tursina, Suppasri, Al'ala, Luthfi, M, and Comfort, L.K. 2019. Assessing the tsunami mitigation effectiveness of the planned Banda Aceh Outer Ring Road (BORR), Indonesia. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 19, 1–14. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-1-2019>.

Tagaki, H, Esteban, M, Mikami, and Fujii, D., 2016. Projection on Coastal Floods in 2050 Jakarta. *J. of Urban Climate* <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2016.05.003>.

Third National Communication (TNC). Under the United Nations Framework Convention on Climate Change. 2017. Ministry of Environment and Forestry, Republic of Indonesia.

Tsuji, Y. et al., 2006. Damage and Height Distribution of Sumatra Earthquake-Tsunami of December 26, 2004, in Banda Aceh City and Its Environs: Survey Report. *Journal of Disaster Research* Vol. 1 No. 1, 2006.

Tursina, Syamsidik and Kato, S., 2017, October. Projections of tsunami inundation area coupled with impacts of sea level rise in Banda Aceh, Indonesia. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1892, No. 1, p. 100003). AIP Publishing.

UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction), Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030, 2015.

United Nations General Assembly (2015). The Sustainable Development Goals (SDGs). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*.

LAMPIRAN

Tabel A.1 Indikator untuk tiap variabel pada parameter di dalam instrumen kajian ketahanan kota (1)

Parameter 1. Kelembagaan dan Tata Kelola			
Variabel		Indikator	
1	Kebijakan, perencanaan dan program	1	Adanya kebijakan untuk perlindungan wilayah pesisir
		2	Adanya dokumen perencanaan untuk perlindungan wilayah pesisir
		3	Adanya kebijakan untuk mengendalikan pemekaran kota yang tidak teratur
		4	Adanya pengintegrasian perubahan iklim dan manajemen risiko bencana ke dalam kebijakan pembangunan
2	Layanan dasar	5	Tersedianya akses listrik bagi setiap rumah tangga
		6	Tersedianya akses air bersih (PDAM) bagi setiap rumah tangga
		7	Tersedianya akses fasilitas sanitasi dan limbah padat bagi setiap rumah tangga
		8	Tersedianya armada transportasi angkutan umum
3	Mekanisme kerja sama partisipatif	9	Adanya forum/ pokja untuk melakukan program-program peningkatan ketahanan wilayah pesisir
		10	Adanya kerjasama dengan berbagai stakeholder termasuk LSM, pihak swasta, akademisi, dl
		11	Program pengelolaan sumber daya pesisir telah memasukkan isu-isu pengurangan risiko
		12	Program pengembangan sosial ekonomi telah memasukkan isu-isu pengurangan risiko
4	Dukungan teknis dan keuangan	13	Adanya alokasi anggaran rutin maupun bantuan untuk mendukung kegiatan yang dapat mengurangi risiko kerusakan yang diakibatkan oleh bahaya pesisir
		14	Pemimpin masyarakat (kepala desa/ lurah) memiliki sumber daya dan peralatan untuk membangun ketahanan masyarakat dalam kegiatan sehari-hari
		15	Anggaran di desa/ kelurahan telah memasukkan prioritas untuk mengelola, meningkatkan dan mitigasi sarana dan prasarana penting
		16	Pemerintah Kota telah mengidentifikasi alternatif untuk menambah anggaran desa/ kelurahan tersebut

Tabel A.2 Indikator untuk tiap variabel pada parameter di dalam instrumen kajian ketahanan kota (2)

Parameter 2. Sosial dan Ekonomi			
Variabel		Indikator	
5	Modal sosial dan keterampilan	17	Adanya upaya pengembangan ekonomi untuk mengurangi kerentanan masyarakat
		18	Adanya program untuk melatih/ memberikan ketrampilan kepada masyarakat untuk alternatif mata pencaharian
		19	Tersedianya jaringan pengaman sosial untuk membantu sektor masyarakat yang rentan
		20	Masyarakat memiliki cara untuk beradaptasi untuk memulihkan penghidupan ekonomi kembali setelah bencana
6	Mata pencaharian	21	Presentase penduduk yang bekerja pada sektor pertanian memadai
		22	Presentase penduduk yang bekerja pada sektor perikanan memadai
		23	Presentase penduduk yang bekerja pada sektor perdagangan memadai
		24	Adanya strategi yang telah ditetapkan untuk mengatasi pemulihan ekonomi akibat bencana
7	Jaringan sosial dan budaya	25	Adanya jaringan sosial dan budaya yang melibatkan kelompok masyarakat, budaya, swasta, dan lembaga non-pemerintah lainnya, yang mendukung kegiatan peningkatan ketahanan masyarakat
		26	Adanya jaringan sosial atau kelompok masyarakat yang dapat membantu saat dan pasca bencana
		27	Adanya mekanisme penyelesaian masalah untuk mewujudkan masyarakat yang tertib dan damai
		28	Adanya mekanisme yang digunakan untuk meningkatkan partisipasi masyarakat dalam perencanaan pembangunan
8	Stabilitas ekonomi	29	Ada sumber daya teknis yang memberikan bantuan kepada masyarakat dalam diversifikasi mata pencaharian yang ramah lingkungan (seperti dari universitas, program pemerintah, proyek donor, dll)
		30	Tersedianya bantuan hibah, bantuan teknis atau pinjaman untuk mengembangkan alternatif usaha
		31	Pengembangan/ pembiayaan usaha mikro telah dilakukan untuk memberikan alternatif mata pencaharian yang berkelanjutan
		32	Tersedianya layanan asuransi jika terjadi kerugian produksi usaha pada saat bencana terjadi

Tabel A.3 Indikator untuk tiap variabel pada parameter di dalam instrumen kajian ketahanan kota (3)

Parameter 3. Manajemen Sumber Daya Pesisir			
Variabel		Indikator	
9	Implementasi dan pemantauan sumber daya pesisir	33	Adanya mekanisme untuk mengkaji sumber daya dan bahaya pesisir secara rutin
		34	Hasil kajian digunakan untuk mengidentifikasi risiko di masyarakat dan menjadi masukan untuk merencanakan pengelolaan sumber daya pesisir
		35	Adanya mekanisme umpan balik untuk mengupdate rencana pengelolaan sumberdaya pesisir
		36	Adanya forum yang berbasis masyarakat yang terlibat dalam penyelesaian masalah di wilayah pesisir
10	Perlindungan habitat, ekosistem dan fitur alam yang sensitif	37	Adanya kawasan tutupan hutan lindung/ kawasan resapan air
		38	Adanya kawasan tutupan hutan mangrove
		39	Adanya kawasan tutupan terumbu karang
		40	Adanya peraturan yang mengatur tentang pemanfaatan sumber daya alam berdasarkan prioritas konservasi dan pengurangan risiko
11	Pelibatan masyarakat dalam perencanaan, pelaksanaan dan pemantauan	41	Adanya prosedur untuk meninjau rencana yang disusun berdasarkan isu-isu di wilayah pesisir dan umpan balik dari masyarakat
		42	Masyarakat secara aktif terlibat dalam perencanaan program perlindungan wilayah pesisir
		43	Masyarakat secara aktif terlibat dalam pelaksanaan program perlindungan wilayah pesisir
		44	Masyarakat secara aktif terlibat dalam pemantauan program perlindungan wilayah pesisir
12	Investasi dalam manajemen dan konservasi	45	Pemerintah telah melakukan manajemen sumber daya alam, seperti hutan, sungai, pantai dll, untuk mengurangi risiko
		46	Adanya aktivitas rehabilitasi dan konservasi ekosistem pesisir (Mangrove/ terumbu karang, dll)
		47	Adanya kelompok pengelolaan ekosistem pesisir (terumbu karang/ mangrove, dll)
		48	Adanya kegiatan pemantauan kondisi ekosistem pesisir

Tabel A.4 Indikator untuk tiap variabel pada parameter di dalam instrumen kajian ketahanan kota (4)

Parameter 4. Manajemen Penggunaan Lahan dan Infrastruktur			
Variabel		Indikator	
13	Kebijakan penggunaan lahan dan standar bangunan	49	Presentase jalan ke desa yang beraspal/ beton memadai
		50	Adanya upaya untuk mencegah pencemaran di wilayah pesisir
		51	Kondisi bangunan pemukiman penduduk (permanen/semi-permanen)
		52	Adanya upaya untuk mengurangi presentase rumah penduduk yang melintang dengan garis pantai
14	Keberadaan infrastruktur penting	53	Luas kawasan terbangun proporsional
		54	Fasilitas umum berada di luar area berisiko (sekolah, rumah ibadah, kantor pemerintah, fasilitas kesehatan)
		55	Penentuan tapak dan desain untuk perumahan, rumah sakit dan infrastruktur penting lainnya didasarkan pada rencana tata guna lahan dan kajian risiko bahaya pesisir
		56	Struktur rekayasa pantai telah dirancang untuk mengurangi kerentanan dan meminimalkan dampak terhadap habitat pesisir
15	Pengarutamaan pengurangan risiko ke lokasi dan desain struktur	57	Developer dan arsitek memiliki pemahaman dan mampu menerapkan standar bangunan yang mengintegrasikan pengurangan risiko
		58	Perancang/ ahli struktural memiliki pemahaman dan kemampuan untuk merancang dan membangun infrastruktur yang aman
		59	Standar bangunan di daerah bahaya telah diadopsi dengan menyesuaikan lokasi, desain dan infrastruktur bangunan
		60	Program sosialisasi tentang praktik dan desain bangunan yang mengintegrasikan pengurangan risiko telah menjangkau masyarakat
16	Pendidikan, penelitian, dan pelatihan	61	Adanya pelatihan/ penyuluhan dan penyebaran informasi kepada masyarakat tentang penggunaan lahan dan standar bangunan
		62	Adanya pelatihan untuk para developer, arsitek dan kontraktor
		63	Adanya program sertifikasi tentang mitigasi bahaya bagi arsitek dan kontraktor
		64	Perguruan tinggi/ lembaga pelatihan telah memasukkan kurikulum tentang kebijakan penggunaan lahan, standar bangunan, dan mitigasi bahaya

Tabel A.5 Indikator untuk tiap variabel pada parameter di dalam instrumen kajian ketahanan kota (5)

Parameter 5. Strategi Pengurangan Risiko		
Variabel		Indikator
17	Pengetahuan risiko	65 Adanya pemetaan dan analisis ancaman, kerentanan, dan kapasitas untuk melihat risiko
		66 Akses masyarakat terhadap informasi dari hasil analisis ancaman, kerentanan, kapasitas dan risiko
		67 Adanya pembangunan fisik (mitigasi) untuk mengurangi risiko bencana di wilayah pesisir
		68 Pengetahuan masyarakat terhadap risiko
18	Peringatan dini dan evakuasi	69 Tereadanya sistem peringatan dini untuk memberikan waktu penyelamatan diri dan aset bagi masyarakat
		70 Adanya sarana informasi bencana
		71 Adanya peta dan jalur evakuasi, dan menyediakan tempat evakuasi khusus untuk tempat pengungsian
		72 Akses masyarakat terhadap informasi peringatan dini dan strategi evakuasi
19	Tanggap darurat	73 Ketersediaan jalur evakuasi bencana
		74 Ketersediaan shelter penampungan
		75 Ketersediaan sistem dan mekanisme distribusi sumberdaya/ bantuan kepada masyarakat pasca bencana
		76 Rencana Tanggap Darurat masyarakat
20	Mobilisasi sumber daya	77 Adanya perlindungan aset-aset produktif utama masyarakat dari dampak bencana
		78 Adanya peningkatan kapasitas aparatnya untuk melaksanakan/ mengikuti pelatihan dan menyediakan perlengkapan dan peralatan, sarana dan prasarana, logistik, dan personil
		79 Adanya cadangan strategis (rencana kontinjensi) dalam menghadapi bencana
		80 Kapasitas mobilisasi sumber daya masyarakat