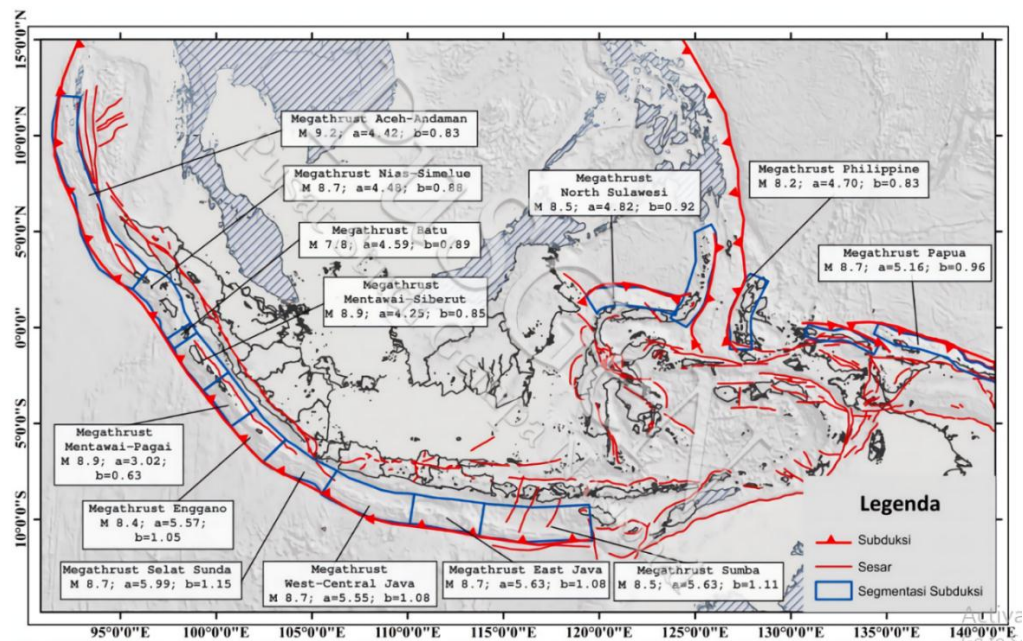


## BAB I PENDAHULUAN

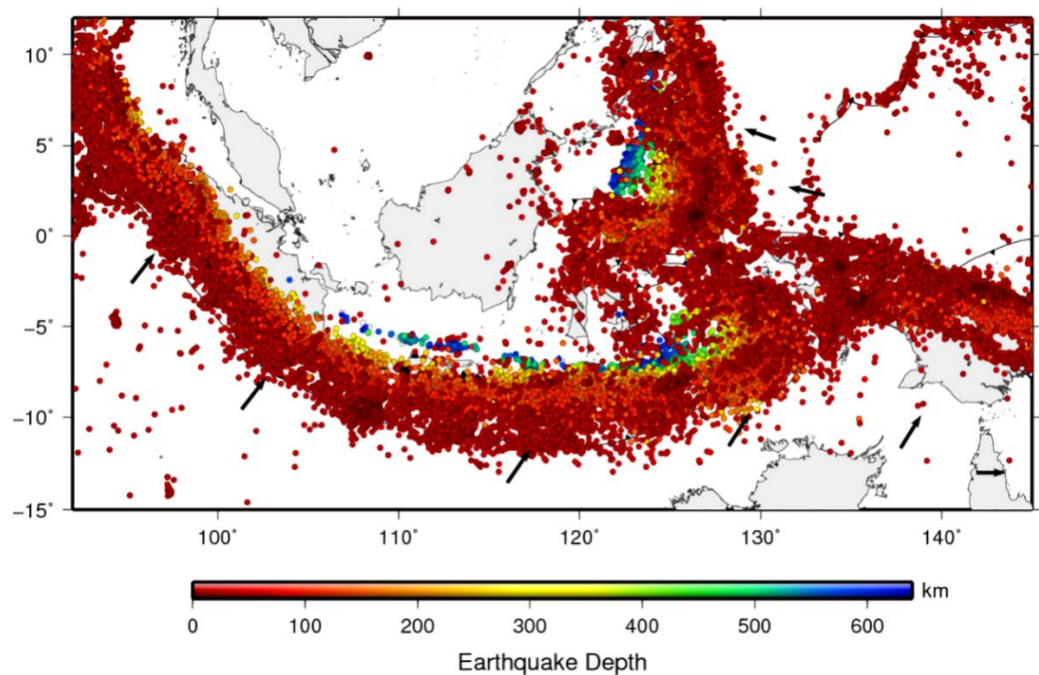
### 1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi gempa bumi dan tsunami yang sangat tinggi karena Indonesia merupakan tempat pertemuan empat lempeng aktif yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik dan Lempeng Philipina. Keempat lempeng aktif bergerak ke berbagai arah, Lempeng Indo-Australia ke arah Utara dengan kecepatan 5-7 cm/tahun, Lempeng Eurasia ke arah Timur-Tenggara dengan kecepatan 0-3 cm/tahun, Lempeng Pasifik ke arah Barat dengan kecepatan 10 cm/tahun serta Lempeng Philipina ke arah Barat (Robert dan Roestam, 2010). Kondisi tersebut menyebabkan adanya zona penunjaman lempeng bagian barat Sumatera hingga bagian selatan Jawa. Penunjaman lempeng ini disebut dengan Megathrust. Gambar 1.1 merupakan peta segmentasi dan magnitudo maksimum subduksi Indonesia.



Gambar 1.1 Peta Segmentasi dan Magnitudo Maximum Subduksi Indonesia.  
Sumber: Pusat Studi Gempa Nasional, 2017.

Megathrust dapat memicu ribuan gempabumi yang beripisentreum di sekitar zona penunjaman lempeng. Selain deformasi pada batas lempeng, pergerakan tektonik lempeng bumi menyebabkan pembentukan banyak patahan-patahan aktif baik di wilayah daratan maupun di dasar laut. Batas lempeng dan patahan-patahan aktif menjadi sumber timbulnya gempabumi tektonik (BNPB, 2012). Pertemuan lempeng tektonik juga membentuk pegunungan api aktif dan mengakibatkan Indonesia menjadi negara “*Ring Of Fire*”. Hal ini menyebabkan Indonesia berpotensi tinggi terhadap bencana gempabumi, erupsi gunungapi dan tsunami. Sebaran kejadian gempabumi di Indonesia dapat dilihat pada gambar 1.2.



Gambar 1.2 Peta Kejadian Gempabumi Indonesia  
Sumber: Pusat Studi Gempa Nasional, 2017

Tsunami adalah bencana sekunder yang terjadi akibat gempabumi didalam laut. Gempabumi memicu kenaikan gelombang air laut yang bergerak dengan kecepatan tinggi (Sunarto, 2010). Menurut catatan sejarah tsunami di Indonesia menunjukkan kurang lebih 172 tsunami yang terjadi dalam kurun waktu antara tahun 1600–2012. Berdasarkan sumber

pembangkitnya diketahui bahwa 90% dari tsunami tersebut disebabkan oleh aktivitas gempabumi tektonik, 9% akibat aktivitas vulkanik dan 1% oleh tanah longsor yang terjadi dalam tubuh air (danau atau laut) maupun longsor dari darat yang masuk ke dalam tubuh air (BNPB, 2012).

Dampak bencana tsunami yang bersifat destruktif sangat merugikan berbagai aspek kehidupan. Tsunami Selat Sunda pada 22 Desember 2018 yang diakibatkan oleh aktivitas vulkanik Anak Krakatau menyebabkan terjadinya longsor material Anak Krakatau dan masuk kedalam laut. Peristiwa tersebut menyebabkan kerusakan di Kabupaten Serang dan Pandeglang, Provinsi Banten serta Kabupaten Tanggamus, Pesawaran, Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Dikutip dari tempo.co, Vindry Florentin (2019) menulis dalam situsnya [www.nasional.tempo.com](http://www.nasional.tempo.com), BNPB menyatakan bahwa terdapat sekitar 437 korban meninggal, 1.459 korban luka dan 10 korban hilang.

Selat Sunda merupakan wilayah tsunamigenik di Indonesia. Beberapa peristiwa alam yang terjadi dapat berpotensi menyebabkan tsunami. Salah satu peristiwa tersebut adalah gempabumi yang berkaitan dengan zona subduksi Sunda. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN), gempabumi maksimum di Megathrust Selat Sunda dapat mencapai 8,2-8,7 Mw. Selain itu, erupsi gunungapi bawah laut (Gunung api Anak Krakatau), longsor di kawasan pantai (Teluk Semangko dan Teluk Lampung), atau longsor bawah laut (*submarinelandslide*) di perbatasan antara perairan Selat Sunda dengan Laut Jawa menjadi faktor pemicu terjadinya tsunami. Dasar laut Selat Sunda merupakan daerah labil karena berkaitan dengan struktur terban Semangko di antara Tinggian Semangko, Tinggian Tabuan, Tinggian Tanggang dan Tinggian Krakatau. Apabila terdapat guncangan akibat gempabumi, daerah ini berpotensi mengalami longsor dan memicu terjadinya tsunami (Yudhicara dan K. Budiono, 2008). Sejarah tsunami di Selat Sunda secara rinci dapat dilihat pada tabel 1.1.

Tabel 1.1 Data Kejadian Tsunami berdasarkan Katalog Soloviev dan Go, 1974

| No. | Tahun           | Kejadian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | 416             | Kitab Jawa yang berjudul “ <i>Book of Kings</i> ” (Pustaka Radja), mencatat adanya beberapa kali erupsi dari Gunung Kapi*, yang menyebabkan <u>naiknya gelombang laut</u> dan menggenangi daratan, dan memisahkan P. Sumatera dengan P. Jawa. *) Gunung Kapi ini diyakini sebagai Gunung api Krakatau saat ini).                                                                                      |
| 2.  | Oktober 1722    | 8:00 terjadi gempa bumi kuat di laut, yang dirasakan di Jakarta dan menyebabkan <u>air laut naik</u> seperti air mendidih.                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 3.  | 24 Agustus 1757 | 2:00, Gempabumi yang kuat dirasakan di Jakarta kurang lebih selama 5 menit. Pada 2:05, selama goncangan yang terkuat, angin dirasakan berasal dari timur laut. Air sungai Ciliwung meluap naik hingga 0,5 meter dan membanjiri Kota Jakarta.                                                                                                                                                          |
| 4.  | 4 Mei 1851      | Di Teluk Betung, di dalam Teluk Lampung di pantai selatan pulau Sumatera, teramati <u>gelombang pasang</u> naik 1,5 m di atas air pasang biasanya.                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 5.  | 9 Januari 1852  | Segera setelah 18:00, dirasakan gempabumi yang menyebar dari bagian barat Jawa hingga bagian selatan Sumatera, dirasakan juga di Jakarta, dan gempa-gempa susulannya dirasakan pula di Bogor dan Serang. Pada 20:00 terjadi <u>fluktuasi air laut yang tidak seperti biasanya</u> .                                                                                                                   |
| 6.  | 27 Agustus 1883 | 10:02, terjadi erupsi yang sangat dahsyat dari gunung api Krakatau, yang diikuti oleh <u>gelombang tsunami</u> . Ketinggian tsunami maksimum teramati di Selat Sunda hingga 30 meter di atas permukaan laut, 4 meter di pantai selatan Sumatera, 2-2,5 m di pantai utara dan selatan Jawa, 1,5-1 m di Samudera Pasifik hingga ke Amerika Selatan. Di Indonesia sebanyak 36.000 orang meninggal dunia. |
| 7.  | 10 Oktober 1883 | Di Cikawung di pantai Teluk Selamat Datang, teramati <u>gelombang laut yang membanjiri pantai</u> sejauh 75 m.                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 8.  | Februari 1884   | Lima bulan setelah kejadian erupsi Gunung api Krakatau, <u>tsunami kecil</u> teramati di sekitar Selat Sunda, diakibatkan oleh suatu erupsi gunung api.                                                                                                                                                                                                                                               |
| 9.  | Agustus 1889    | Teramati <u>kenaikan permukaan air laut</u> yang tidak wajar di Anyer, Jawa Barat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 10. | 26 Maret 1928   | Kejadian erupsi gunung api Krakatau diiringi oleh <u>kenaikan gelombang laut</u> yang teramati di beberapa tempat di sekitar wilayah gunung api.                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 11. | 22 April 1958   | 5:40, dirasakan gempa bumi di Bengkulu, Palembang, Teluk Banten dan Banten yang diiringi dengan <u>kenaikan permukaan air laut</u> yang meningkat secara berangsur.                                                                                                                                                                                                                                   |

Sumber: Yudhicara dan K. Budiono, 2008.

Kota Cilegon adalah salah satu kota yang ada di Provinsi Banten dan berbatasan langsung dengan Selat Sunda, sehingga termasuk daerah rawan bencana tsunami. Panjang pantai Kota Cilegon yang menghadap ke Selat Sunda bila diukur secara “lurus” adalah sekitar 25 Km (BAPPEDA, 2016). Menurut BNPB (2012) Bila terjadi gempa bumi besar di segmen Megathrust Selat Sunda, daerah yang paling terancam tsunami adalah kawasan industri di Kota Cilegon. Dampak tsunami di kawasan industri Kota Cilegon, dikhawatirkan akan mengundang bencana susulan dalam bentuk kegagalan teknologi seperti penyebaran bahan kimia berbahaya yang dapat mengancam masyarakat.

Kota Cilegon merupakan pintu gerbang Pulau Jawa bagian barat yang menghubungkan dua pulau yaitu Pulau Jawa (Pelabuhan Merak) dan Pulau Sumatera. Hal tersebut menjadikan Kota Cilegon sebagai penentu pertumbuhan perekonomian antar pulau serta titik temu pertukaran barang secara nasional maupun internasional. Kegiatan ekspor-impor dilakukan di pelabuhan PT Krakatau Bandar Samudera, sehingga Kota Cilegon berperan penting dalam mendukung laju perekonomian nasional. Kawasan pesisir Kota Cilegon merupakan kawasan vital, banyak infrastruktur di Kota Cilegon yang mendukung pusat-pusat kegiatan penduduk seperti industri, ekonomi dan pariwisata. Maka dari itu penting untuk melakukan penelitian terkait analisis bahaya tsunami di Kota Cilegon.

Analisis bahaya tsunami di Kota Cilegon khususnya di kawasan pesisir perlu dilakukan sebagai bentuk mitigasi bencana sehingga mengurangi dampak bencana yang ditimbulkan. Analisis bahaya tsunami dengan pemodelan tsunami diharapkan dapat memodelkan tsunami sesuai dengan kondisi sebenarnya sehingga menghasilkan estimasi genangan yang tepat. Model numerik dalam pemodelan tsunami digunakan untuk menghitung tinggi *run-up* gelombang tsunami dan perhitungan  $H_{loss}$  untuk mencari luas genangan secara akurat. Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dapat menyediakan informasi secara objektif dan aktual. *Software* pemodelan tsunami telah banyak dibuat untuk memudahkan

penelitian, *software* yang sering digunakan dalam penelitian tsunami adalah *software* TUNAMI-N2 dan *software* COMCOT. *Software* TUNAMI-N2 (Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigation of Near-field tsunami No 2) fokus memodelkan tsunami *near-field* yang dibangkitkan oleh deformasi bawah laut berdasarkan pada simulasi tsunami secara numerik berdasarkan Persamaan Air Dangkal (*Shallow Water Equations*) yang menerapkan *leap-frog scheme* dalam menyelesaikan persamaan-persamaan dasar perambatan gelombang (Imamura, 2006). *Software* COMCOT (Cornell Multi-grid Coupled Tsunami) dapat memodelkan tsunami *near-field* yang dibangkitkan oleh deformasi dasar laut dan longsor bawah laut berdasarkan Persamaan Air Dangkal (*Shallow Water Equations*) yang menerapkan skema *leap-frog* dengan sistem multi-grid hingga 12 *sub level grid* (Wang, 2009). Penelitian ini menggunakan *software* COMCOT versi 1.7 karena sistem multi grid memungkinkan penggunaan banyak area simulasi untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi pemodelan. COMCOT versi 1.7 merupakan generasi terbaru dengan antarmuka yang lebih efisien, format data, dan pencocokan grid yang mudah dan dilakukan otomatis oleh COMCOT. Selain itu, SIG mampu mengintegrasikan fenomena alam dengan aspek lain seperti demografi, sosial, ekonomi dan lainnya, sehingga mendukung penelitian sebagai alat penilai yang ideal.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dapat dirumuskan dari latar belakang diatas adalah sebagai berikut:

1. Berapa tinggi *run-up* gelombang tsunami di Kota Cilegon?
2. Berapa luas genangan akibat gelombang tsunami di Kota Cilegon?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk memberi solusi dari permasalahan yang ada dengan tujuan utama untuk mitigasi bencana tsunami secara cepat

dan tepat sesuai dengan analisis bahaya bencana tsunami. Adapun tujuan khusus, sebagai berikut:

1. Mengetahui tinggi *run-up* gelombang tsunami di Kota Cilegon,
2. Menganalisis luas genangan akibat gelombang tsunami di Kota Cilegon.

#### **1.4 Kegunaan Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat untuk berbagai pihak, baik secara teori maupun praktik diantaranya:

1. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai informasi mengenai kondisi zona rawan tsunami di Kota Cilegon dan sebagai salah satu bahan pertimbangan mitigasi bencana tsunami di Kota Cilegon.
2. Hasil penelitian dapat dijadikan sumber informasi pengenalan dan pemanfaatan *software* COMCOT sebagai salah satu *software* Sistem Informasi Geografis.
3. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai acuan penelitian lanjutan.

#### **1.5 Telaah Pustaka dan Penelitian Sebelumnya**

##### **4.2.1 Telaah Pustaka**

###### **1.5.1.1 Bencana**

Pengertian bencana menurut UU RI No 24 tahun 2007 tentang penanggulangan bencana yaitu, bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor nonalam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis. Jenis bencana dan faktor penyebabnya menurut PP No 64 tahun 2010 dan Perka BNPB No 2 tahun 2012, dapat dilihat pada tabel 1.2.

Tabel 1.2 Jenis Bencana dan Faktor Penyebab Bencana

| PP No 64 tahun 2010 |                              | Faktor Penyebab       | Perka BNPB No 2 tahun 2012 |                                 |
|---------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|
| No                  | Jenis Bencana                |                       | No                         | Jenis Bencana                   |
| 1                   | Gempabumi                    | Alam                  | 1                          | Gempabumi                       |
| 2                   | Tsunami                      | Alam                  | 2                          | Tsunami                         |
| 3                   | Gelombang Ekstrim            | Alam                  | 3                          | Gelombang Ekstrim dan Abrasi    |
| 4                   | Gelombang Laut Berbahaya     | Alam                  | 4                          | Letusan Gunungapi               |
| 5                   | Letusan Gunungapi            | Alam                  | 5                          | Kekeringan                      |
| 6                   | Banjir                       | Alam/Non Alam/Manusia | 6                          | Banjir                          |
| 7                   | Kenaikan Paras Muka Air Laut | Alam/Non Alam/Manusia | 7                          | Tanah Longsor                   |
| 8                   | Tanah Longsor                | Alam/Non Alam/Manusia | 8                          | Cuaca Ekstrim                   |
| 9                   | Erosi Pantai                 | Alam/Non Alam/Manusia | 9                          | Kebakaran Hutan dan Lahan       |
| 10                  | Angin Puting Beliung         | Alam                  | 10                         | Kebakaran Gedung dan Permukiman |
|                     |                              | Alam/Non Alam/Manusia | 11                         | Epidemi dan Wabah Penyakit      |
|                     |                              | Alam/Non Alam/Manusia | 12                         | Gagal Teknologi                 |
|                     |                              | Manusia               | 13                         | Konflik Sosial                  |

Sumber : PP No 64 tahun 2010 tentang Mitigasi Bencana di Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil dan Perka BNPB No 2 tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana.

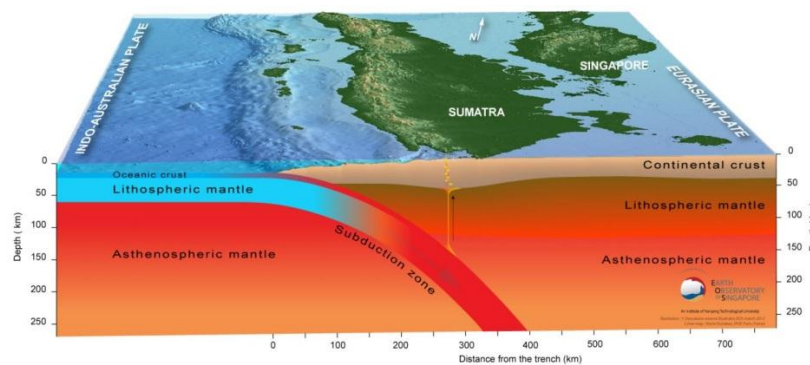
#### 1.5.1.2 Bahaya (*Hazard*)

Menurut UU RI No 24 tahun 2007 tentang penanggulangan bencana, ancaman bencana adalah suatu kejadian atau peristiwa yang bisa menimbulkan bencana. Saputra (2010) mendefinisikan bahaya sebagai fenomena ataupun aktivitas manusia yang dapat menyebabkan hilangnya nyawa atau luka, kerusakan harta benda, kehidupan sosial ekonomi terganggu maupun penurunan kualitas lingkungan.

#### 1.5.1.3 Seismotektonik Selat Sunda

Seismotektonik Selat Sunda dipengaruhi oleh zona subduksi Sumatera dan zona subduksi Jawa. Zona busur muka Andaman-Sumatera-

Jawa terbentang lebih dari 4000 km yang merupakan hasil pertemuan antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Konvergensi di sepanjang Sumatera membentuk pola miring tempat *strain* tektonik dipartisi menjadi komponen dip-slip di bagian megathrust dan komponen mencatat *dextral* di Zona Sesar Sumatera (Fitch, 1972; McCaffreydkk, 2000 dalam Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Subduksi lempeng di Sumatera termasuk jenis subduksi *oblique convergence* mengindikasikan tingginya tingkat kegempaan dengan rupture di bagian dangkal dari plate interface. Kemiringan slab yang menujam sekitar  $13^\circ$  menyebabkan zona megathrust di Sumatera bagian tenggara dapat menimbulkan gempa Mmax 9 (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017).



Gambar 1.3 Penampang Zona Subduksi.  
Sumber: [www.earthjay.com](http://www.earthjay.com)

Perubahan pola subduksi dari *oblique convergence* di Sumatera menjadi *frontal* di selatan Jawa menghasilkan pola struktur dan karakteristik seismisitas yang berbeda antara Jawa dan Sumatera. Zona subduksi Jawa memiliki frekuensi dan magnitude kegempaan yang secara signifikan lebih rendah jika dibandingkan dengan Sumatera (Pusat Penelitian Gempa Nasional, 2017). Nama-nama megathrust yang terbentuk akibat subduksi lempeng dapat dilihat pada tabel 1.3.

Tabel 1.3 Megathrust Sumatera dan Jawa

| Index       | Structure Name          | Segment               | Dip                 | L (km) |
|-------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|--------|
| M1          | Sumateran Megathrust    | Aceh-Andaman          | USGS Slab 1.0 Model | 1300   |
| M2          | Sumateran Megathrust    | Nias-Simelue          |                     | 300    |
| M3          | Sumateran Megathrust    | Batu                  |                     | 80     |
| M4          | Sumateran Megathrust    | Mentawai-Siberut      |                     | 300    |
| M5          | Sumateran Megathrust    | Mentawai-Pagai        |                     | 380    |
| M4-5        | Sumateran Megathrust    | Mentawai              |                     | 760    |
| M3-4        | Sumateran Megathrust    | Batu-Mentawai Siberut |                     | 380    |
| M6          | Sumateran Megathrust    | Enggano               |                     | 250    |
| M7          | Sunda-Strait Megathrust | Sunda Strait (SS)     |                     | 290    |
| M8          | Java Megathrust         | Jawa Barat (JB)       |                     | 280    |
| M9          | Java Megathrust         | Jawa Tengah (JT)      |                     | 280    |
| M10         | Java Megathrust         | Jawa Timur (JTM)      |                     | 280    |
| M6-7        | Java Megathrust         | Enggano-SS            |                     | 540    |
| M6-7-8      | Java Megathrust         | Enggano-SS-JB         |                     | 820    |
| M8-9-10     | Java Megathrust         | JT-JTM                |                     | 560    |
| M6-7-8-9-10 | Java Megathrust         | SS-JB-JT-JTM          |                     | 1130   |
| M11         | Java Megathrust         | Bali                  |                     | 460    |
| M12         | Java Megathrust         | NTB                   |                     | 430    |
| M13         | Java Megathrust         | NTT                   |                     | 540    |

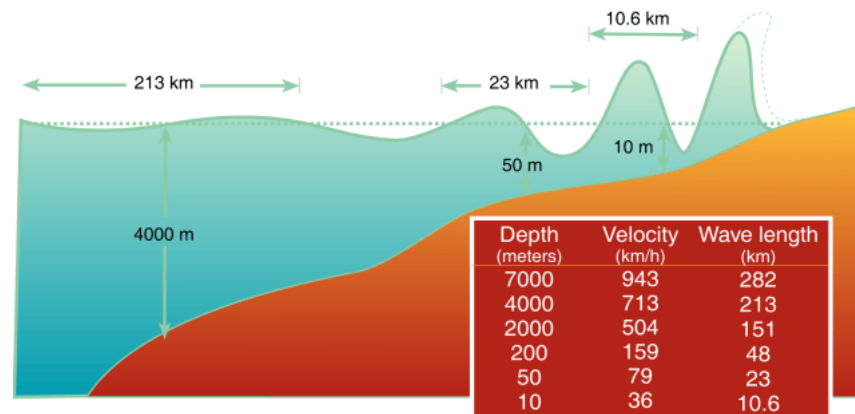
Sumber: Pusat Penelitian Gempa Nasional, 2017.

#### 1.5.1.4 Tsunami

Tsunami berasal dari kata Jepang “tsu” pelabuhan/laut dan “nami” gelombang. Tsunami adalah fenomena alam yang terdiri dari serangkaian gelombang yang dihasilkan ketika sejumlah besar air di laut, atau di danau, dengan cepat dipindahkan (Berryman, 2005). Definisi tsunami menurut Pawirodikromo (2012) adalah peristiwa merambatnya gelombang air laut secara radial (*radially spreading*). Menurut US Army Corps of Engineers (1990) dalam Robert dan Roestam (2010), tsunami adalah gelombang laut yang ditimbulkan oleh gangguan seperti gerakan patahan, gempa, longsor, jatuhnya benda-benda langit (meteor), letusan gunung berapi dibawah laut dan letusan (*explosion*) di dekat muka air laut.

Proses tsunami dijelaskan secara sederhana oleh Yuwono (2006) dalam Robert dan Roestam (2010) bahwa energi tsunami (relatif) kosten

terdiri dari energi kinetis yang mempengaruhi kecepatan dan energi potensial yang mempengaruhi tinggi gelombang. Cepat rambat gelombang tsunami tergantung pada kedalaman laut. Hubungan antara kecepatan rambat gelombang dan kedalaman laut dirumuskan dengan persamaan sederhana sebagai berikut (BMKG, 2010):



Gambar 1.4 Hubungan Kecepatan dan Kedalaman Laut  
Sumber: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika , 2010.

$$v = \sqrt{gd} \dots \dots \dots (1)$$

dimana:  $v$  = kecepatan rambat tsunami (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

$d$  = kedalaman laut (m)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa semakin besar kedalaman laut maka semakin besar kecepatan rambatnya. Gelombang di dalam laut memiliki kecepatan tinggi dapat mencapai ratusan sampai ribuan km/jam namun tinggi gelombang rendah tergantung kedalaman laut. Mendekati pantai dengan kedalaman laut dangkal kecepatan gelombang turun namun gelombang menjadi tinggi (Yuwono, 2006 dalam Robert dan Roestam, 2010).

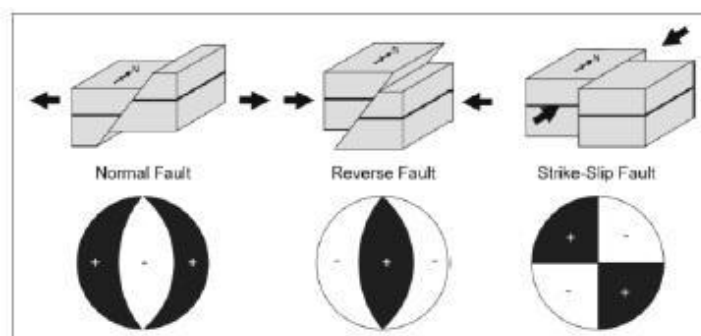
Tsunami telah sering menyebabkan korban jiwa dan kerusakan pada bangunan dan infrastruktur di sepanjang garis pantai yang terekspos dan rentan dalam beberapa dekade terakhir. Pertumbuhan populasi yang cepat, didorong oleh meningkatnya permintaan sosial dan ekonomi untuk

tinggal, bekerja dan berlibur di daerah pesisir, telah mengintensifkan pembangunan gedung dan infrastruktur di lokasi-lokasi tersebut (Twigg, 2015).

#### 1.5.1.5 Deformasi Dasar Laut

Gelombang tsunami umumnya dipicu oleh adanya peristiwa implusif yang berskala besar pada dasar laut, seperti timbulnya patahan (*fault*) tiba-tiba akibat gempa bumi. Fault yang menyebabkan tsunami adalah reverse fault dengan sudut yang cukup besar. Energi dari peristiwa implusif diteruskan dalam bentuk gelombang air dan merambat sampai ke permukaan laut (Pawirodikromo, 2012).

Mekanisme fokus adalah hasil dari analisa bentuk gelombang yang dihasilkan oleh gempa bumi dan direkam oleh seismograf. Sehingga dalam hal ini, mekanisme fokus akan diperoleh dalam bentuk bola fokal yang akan merepresentasikan karakter 3 dimensi dari gelombang seismik yang dipancarkan. Mekanisme fokus memberikan tambahan informasi mengenai parameter gempa bumi seperti jenis sesar gempa bumi. Sesar atau patahan dapat dibedakan atas tiga bentuk gerakan dasar, yaitu : sesar mendatar (*strike slip fault*), sesar turun (*normal fault*) dan sesar naik (*thrust fault/reverse fault*). Jenis patahan secara umum dapat dilihat pada gambar 1.5.



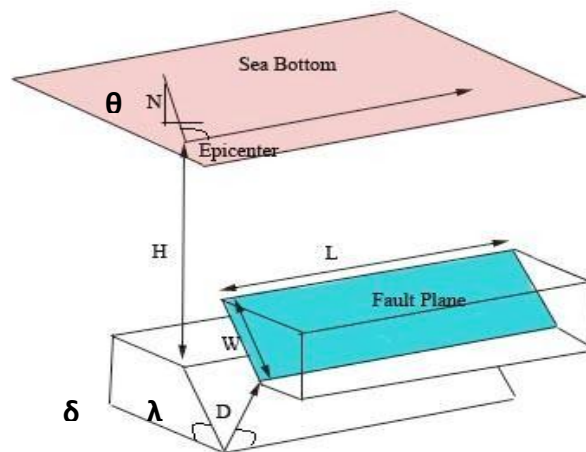
Gambar 1.5 Jenis-Jenis Patahan Secara Umum  
Sumber: Hikmawati. B , 2012.

Kejadian tsunami yang disebabkan oleh gempabumi di laut tergantung pada beberapa faktor berikut (Robert dan Roestam 2010):

1. Kedalaman pusat gempa (episentrum) di bawah laut  $h$  (km).
2. Kekuatan gempa  $M$  yang dinyatakan dalam skala Richter.
3. Kedalaman air di atas episentrum  $d$  (m).

Tsunami yang disebabkan oleh gempabumi memiliki syarat tertentu. Berikut merupakan syarat terjadinya tsunami (Guntoro dan Djameluddin, 2005; Diposaptono dan Budiman, 2006 dalam Robert dan Roestam, 2010):

1. Kekuatan gempabumi lebih dari 6 Skala Richter.
2. Ada pergerakan kulit bumi dalam arah vertikal.
3. Pergerakan kulit bumi tersebut harus menghasilkan deformasi dasar laut secara vertikal cukup besar (lebih dari 2 m).
4. Kedalaman pusat gempa tidak lebih dari 80 km (Sudrajat, 1997).
5. Mekanisme kejadian gempa utamanya adalah tipe *dip-slip* (sebagian di *strike-slip*).



Keterangan:

H : kedalaman gempa

L : panjang sesar

W : lebar sesar

D : dislokasi

$\delta$  : dip

$\lambda$  : slip

$\theta$  : strike

Gambar 1.6 Parameter Sesar  
Sumber: Imamura, 2006.

Parameter sesar diantaranya:

1. *Strike* ( $\Phi$ ) : sudut yang dibentuk antara jurus sesar dengan arah utara, diukur searah jarum jam ( $0^\circ \leq \Phi \leq 360^\circ$ ).

2. *Dip* ( $\delta$ ) : sudut yang dibentuk oleh bidang sesar dengan bidang horizontal diukur dari permukaan horizontal ( $0^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$ ).
3. *Rake* : sudut yang dibentuk oleh arah *strike* dengan arah *slip*. *Slip angle* ( $\lambda$ ), dimana arah *slip* didasarkan pada arah gerak *hangingwall*, ( $-180^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$ ). Jika patahannya berupa *thrust fault*  $\lambda > 0^\circ$ , sedang jika patahannya *normal fault* maka  $\lambda < 0^\circ$ .

#### 1.5.1.6 Batimetri

Batimetri merupakan terminologi yang umum digunakan dikalangan para ahli oseanografi untuk menggambarkan kedalaman laut. Karakteristik massa air laut baik secara fisik, kimia dan biologi dapat diketahui dari informasi dan data kedalaman laut. Proses dinamika gerak air seperti arus, gelombang dan pasang surut dipengaruhi oleh kedalaman laut (Nurjaya dkk, 2012)

#### 1.5.1.7 Kemiringan Lereng (*Slope*)

Terjal dan landainya morfologi pantai akan mempengaruhi jarak jangkauan tsunami yang menghempasnya. Pada pantai yang terjal, tsunami tidak akan terlalu jauh mencapai daratan karena sebagian tsunami tersebut akan tertahan dan dipantulkan kembali oleh tebing pantai, sedangkan pada pantai yang landai tsunami dapat menerjang sampai beberapa kilometer masuk kedaratan (Putra, 2009).

#### 1.5.1.8 Penggunaan Lahan (*Land use*)

Penutupan lahan (*land cover*) dan penggunaan lahan (*land use*) adalah istilah yang seringkali diberi pengertian yang sama, padahal keduanya mempunyai pengertian yang berbeda (Putra, 2009). Penggunaan lahan berhubungan dengan kegiatan manusia pada sebidang lahan, sedangkan penutup lahan lebih merupakan perwujudan fisik obyek-obyek yang menutupi lahan tanpa mempersoalkan kegiatan manusia terhadap obyek-obyek tersebut. Satuan penutup lahan kadang-kadang juga bersifat penutup lahan alami (Lillesand dan Kiefer, 1997 dalam Santoso, 2011).

Kawasan pesisir yang termasuk dalam kerentanan tinggi terhadap bencana tsunami perlu dikembangkan konsep penggunaan lahan yang dapat melindungi daratan dari hantaman gelombang tsunami. Bangunan tersebut dapat berupa *soft protection* seperti pengembangan jalur hijau yang meliputi hutan mangrove dan perkebunan kelapa, maupun yang bersifat *hard protection*, seperti bangunan pemecah gelombang (*breakwater*). Penggunaan lahan yang berkaitan dengan aktivitas manusia untuk keberlangsungan hidup sudah semestinya tidak dibangun pada daerah rawan dan rentan bencana tsunami (Mukaryanti, 2005 dalam Putra, 2009).

#### 1.5.1.9 Garis Pantai (*Coastline*)

Garis pantai adalah garis batas pertemuan antara daratan dan lautan (Wibowo, 2012). Morfologi garis pantai di daerah-daerah selat dan teluk (pantai yang cekung menghadap laut) akan menyebabkan gelombang mengalami refleksi yang memfokuskan energi gelombang tsunami yang sedang berjalan kearahnya sehingga energi gelombang tsunami tersebut terakumulasi pada cekungan dan mampu meningkatkan ketinggian gelombang tsunami yang sampai di pantai (National Tsunami Hazard Mitigation Program, 2001 dalam Putra, 2009).

#### 1.5.1.10 Teori Pemodelan Secara Matematik

Persamaan dasar untuk pemodelan tsunami menurut Goto dan Ogawa (2007) dalam Sugianto dkk (2017) berdasarkan hukum kekekalan massa yang diterapkan pada fluida tak termampatkan di jabarkan sebagai berikut:

1. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

dengan didasarkan persamaan dinamika masa air

- a. Arah  $x$

$$P = h \cdot u = uH \quad \dots\dots\dots(3)$$

b. Arah  $y$

$$Q = h.v = vH$$

.....(4)

## 2. Persamaan Momentum

a. Arah  $x$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left\{ \frac{P^2}{H} \right\} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left\{ \frac{PQ}{H} \right\} + \frac{gH}{R \cos \varphi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fQ + Fx = 0 \quad ..(5)$$

b. Arah  $y$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left\{ \frac{PQ}{H} \right\} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left\{ \frac{Q^2}{H} \right\} + \frac{gH}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} + fP + Fy = 0 \quad ..(6)$$

Keterangan :

$P = h.u$  : debit dalam arah  $x$  ( $m^2/detik$ )

$Q = h.v$  : debit dalam arah  $y$  ( $m^2/detik$ )

$H$  : total kedalaman air dari dasar sampai ke permukaan  
 $= (h + \eta)$  (m)

$h$  : kedalaman air dari dasar laut ke *mean sea level* (m)

$\eta$  : ketinggian air dari permukaan atau elevasi sesaat

$g$  : percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

$t$  : waktu (s)

$R$  : jari-jari bumi

$\varphi, \psi$  : garis lintang dan bujur

$F_x, F_y$  : gesekan bawah arah  $x$  dan arah  $y$  (koefisien Manning)

Tabel 1.4 Nilai Koefisien gesekan dasar

| Channel Material          | N     | Channel Material                       | n     |
|---------------------------|-------|----------------------------------------|-------|
| Neat cement, smooth metal | 0.010 | Natural channels in good condition     | 0.025 |
| Rubble masonry            | 0.017 | Natural channels with stones and weeds | 0.035 |
| Smooth earth              | 0.018 | Very poor natural channels             | 0.060 |

Sumber : Linsey dan Franzini, 1979 dalam Immamura 2006.

#### 1.5.1.11 Sistem Informasi Geografis

Suryanto (2013) dalam Tricahyono dan Dahlia S (2017) mendefinisikan bahwa Sistem Informasi Geografis merupakan ilmu pengetahuan yang berbasis pada perangkat lunak komputer yang digunakan untuk memberikan bentuk digital dan analisis terhadap permukaan terhadap permukaan geografi bumi, sehingga sehingga membentuk suatu informasi keruangan yang tepat dan akurat. Pemanfaatan *software* SIG banyak dikembangkan untuk pemodelan. Salah satu *software* yang dapat memodelkan tsunami secara numerik adalah *software* COMCOT.

COMCOT adalah paket pemodelan tsunami yang mampu mensimulasikan seluruh proses pergerakan tsunami, dari generasi, propagasi, dan luasan genangannya di daerah pesisir. Model numerik berdasarkan persamaan air dangkal sangat efisien dalam mensimulasikan tsunami lintas samudera karena penggunaannya yang eksplisit skema numerik, tidak perlu menyelesaikan turunan tingkat tinggi terkait dengan non linearitas dan dispersi frekuensi (Wang, 2009).

COMCOT merupakan salah satu model berdasarkan Persamaan Air Dangkal (*Shallow Water Equations*) diaplikasikan menggunakan koordinat *spherical* dan koordinat *cartesian*. Dalam persamaan,  $\zeta$  menunjukkan elevasi permukaan bebas; P dan Q adalah debit fluks x dan y arah ( $P = hu$ ,  $Q = hv$ );  $\phi$  dan  $\psi$  berdiri untuk bujur dan lintang, masing- masing..

Gelombang tsunami dapat dibangkitkan berdasarkan *input* pembangkit gelombang, model deformasi dasar laut yang disebabkan oleh gempa bumi, dan longsor. COMCOT juga telah menggunakan sistem multi grid yang memungkinkan penggunaan banyak area simulasi untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi pemodelan (Wang, 2009).

Pilihan grid sisipan sangat diperlukan untuk mensimulasikan penjalaran tsunami pada saat informasi lebih rinci diperlukan terutama ketika tsunami menjalar pada perairan dangkal atau di daratan. Oleh karena itu, di dalam sistem grid yang ada diperlukan grid dengan ukuran yang lebih kecil dari pada grid induknya. Sehingga, di dalam grid yang lebih rinci (grid anakan), informasi lebih rinci dapat di peroleh. Pada COMCOT, pilihan grid sisipan ini dapat diterapkan baik itu untuk model linear maupun nonlinear. Jumlah grid yang dapat disisipkan di dalam sistem COMCOT harus integer dan dapat dimasukkan sebagai grid anakan (*sub level grid*) pada daerah yang diinginkan (*flexible*). COMCOT dapat menggunakan hingga 12 grid anakan (*sub level grid*) pada satu area simulasi (Wang, 2009).

*Software* COMCOT versi 1.0 diciptakan oleh Yongsik Cho dan S.N. SEO berdasarkan teori dan perhitungan numerik Shuto (1991) dan Imamura, et al (1988). Perkembangan *software* terus dilakukan, skema bergerak dengan batas serta validasi terhadap pemodelan dikenalkan oleh Liu, et al (1995). Dr. Seung-Buhm Woo memperkenalkan antarmuka pengguna dan mengembangkan alhoritma pencocokan grid hingga terbentuk COMCOT versi 1.4. Modifikasi *software* COMCOT dilakukan oleh para ahli seperti Tom Logan (ARSC), Steven Lantz (Cornell University), Philip Liu (Cornell University) dan Xiaoming Wang (2003) yang menghasilkan versi 1.5 dan 1.6. Versi tersebut telah beralih dari fortan 77 ke fortan 90 yang memungkinkan alokasi array. Stuktur COMCOT diatur ulang dengan antarmuka pengguna baru, memperkenalkan modul, penyusunan kode yang rapi dan lebih luas.

Algoritma grid-nesting baru dikembangkan untuk memungkinkan pengaturan grid yang luwes. COMCOT versi 1.7 merupakan generasi terbaru dengan antarmuka yang lebih efisien, format data, dan pencocokan grid yang mudah dan dilakukan otomatis oleh COMCOT. Selain itu, dispersi peningkatan algoritma ditambahkan ke dalam pemecah sehingga dapat mensimulasikan gelombang linier dan nonlinier dengan tetap menjaga akurasi dan ketepatan (Wang, 2009).

#### 4.2.2 Penelitian Sebelumnya

Kajian mengenai analisis bahaya tsunami telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti baik peneliti luar negeri maupun dalam negeri. Berikut beberapa penelitian yang telah dilakukan di Indonesia:

Dedi Sugianto, I Wayan Nurjaya, Nyoman MN Natih, Wahyu Pandou (2017), Judul “Potensi Genangan Tsunami Di Wilayah Lebak Banten”. Tujuan penelitian untuk mengetahui *run-up* yang terjadi akibat tsunami dari gempabumi di celah kegempaan (*seismic gap*) sekitar Pulau Jawa, menghitung waktu tempuh tsunami untuk mencapai wilayah Lebak Banten dan mengetahui potensi genangan di wilayah tersebut. Metode yang digunakan dalam penelitian simulasi skenario tsunami dari gempabumi kekuatan 8,7 Mw dengan model TUNAMI-N2 dan analisis keluaran model.

Nurfitrianiani, Gybert E. Mamuaya, Rignolda Djamaluddin, dan Tatok Yatimantoro (2018), Judul “Analisis Potensi Rambatan Tsunami Di Pantai Utara Desa Dulukapa Dan Deme 1 Kabupaten Gorontalo Utara Untuk Mitigasi Bencana Tsunami”. Tujuan penelitian untuk mengestimasi *run-up* gelombang tsunami dan luas daerah genangan tsunami. Metode yang digunakan adalah pemodelan dengan teori gelombang linier berdasarkan skenario terburuk menggunakan model TUNAMI-N2.

Brian Mambu, Gerald H. Tamuntuan dan Guntur Pasau (2019). Judul “Simulasi Ketinggian Dan Waktu Tiba Gelombang Tsunami Di Tahuna Sebagai Upaya Mitigasi Bencana” . Tujuan penelitian untuk mensimulasikan ketinggian dan waktu tiba gelombang tsunami. Metode

yang digunakan adalah pemodelan tsunami menggunakan model TUNAMI-N2.

Penelitian ini memiliki persamaan dan perbedaan dengan penelitian sebelumnya. Persamaan penelitian ini adalah pemodelan tsunami untuk mengetahui tinggi *run-up* dan luas genangan akibat gelombang tsunami. Perbedaan yang paling menonjol adalah lokasi penelitian dan skenario gempa. Skenario gempa disusun berdasarkan buku gempa nasional tahun 2010 dan 2017 untuk besarnya magnitudo gempa. Penentuan panjang, lebar dan perpindahan (dislokasi) bidang sesar dihitung menggunakan rumus papazachoz, et al (2004). Parameter sesar *strike*, *dip*, *slip* dan *depth* ditentukan berdasarkan data parameter sesar dari *website* Global CMT. *Output* dari pemodelan yang dilakukan berupa ketinggian *run-up* tsunami menjadi salah satu bahan perhitungan  $H_{loss}$  untuk mencari luas genangan sehingga menghasilkan indeks bahaya tsunami. Persamaan dan perbedaan penelitian secara ringkas dapat dilihat pada tabel 1.5

Tabel 1.5 Penelitian Sebelumnya

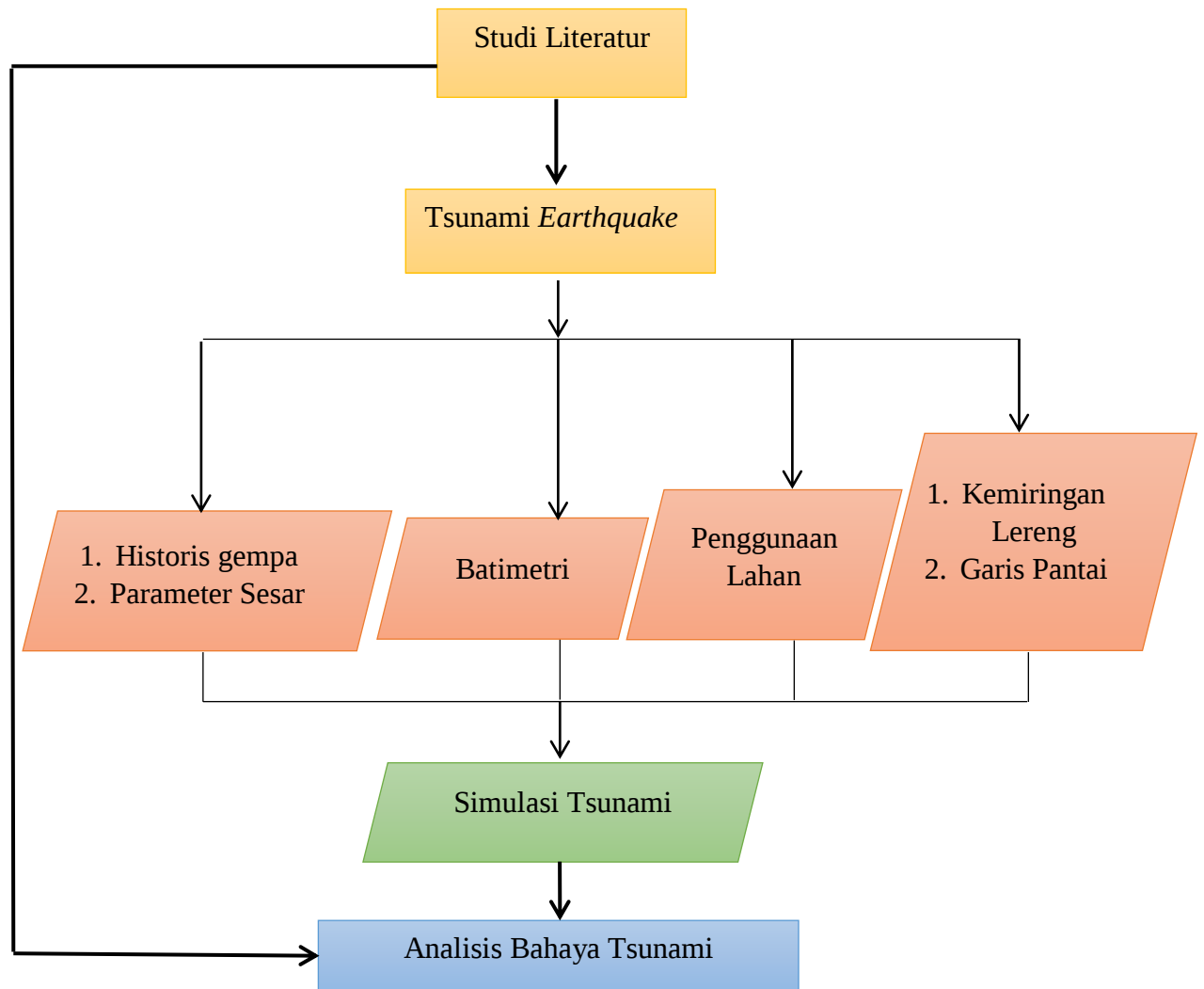
| Nama Penulis                                                                       | Judul                                                                                                                               | Tujuan                                                                                     | Metode                                                                                            | Hasil                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sugianto Dedi, I Wayan Nurjaya, Nyoman MN Natih, Wahyu Pandou, 2017.               | Potensi Genangan Tsunami Di Wilayah Lebak Banten                                                                                    | Mengetahui <i>run-up</i> gelombang tsunami.<br>Menghitung waktu tempuh gelombang tsunami.  | Simulai skenario tsunami dari gempabumi Mw 8,7 dengan model TUNAMI-N2.                            | Potensi genangan tinggi dengan <i>run-up</i> 15-20 m dengan luas genangan 1271,34 ha dalam waktu 15-17 menit.                                                                                                                                  |
| Nurfitriani, Gybert E. Mamuaya, Rignolda Djamaluddin, dan Tatok Yatimantoro, 2018. | Analisis Potensi Rambatan Tsunami Di Pantai Utara Desa Dulukapa Dan Deme 1 Kabupaten Gorontalo Utara Untuk Mitigasi Bencana Tsunami | Mengestimasi <i>run-up</i> gelombang tsunami.<br>Mengestimasiluas daerah genangan tsunami. | Pemodelan dengan teori gelombang linier berdasarkan skenario terburuk menggunakan model TUNAMI-N2 | Desa Dulukapa waktu gelombang dari <i>epicenter</i> 18,2-13,8 menit dengan <i>run-up</i> 9,8-13,8 m dan jarak landaan 800 m. Dan Desa Deme 18,8-23,83 menit dengan <i>run-up</i> 10,76-15,1 m dan jarak landaan 830 m.<br>Luas daerah genangan |

|                                                               |                                                                                                           |                                                                                                 |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                               |                                                                                                           |                                                                                                 |                                                                                     | 1900 m <sup>2</sup> .                                                                                                                                                                                                                                    |
| Mambu Brian, Gerald<br>H. Tamuntuan dan<br>Guntur Pasau, 2019 | Simulasi Ketinggian<br>Dan Waktu Tiba<br>Gelombang Tsunami Di<br>Tahuna Sebagai Upaya<br>Mitigasi Bencana | Mensimulasikan<br>ketinggian dan waktu<br>tiba gelombang tsunami                                | Pemodelan tsunami<br>menggunakan model<br>TUNAMI-N2                                 | Ketinggian gelombang<br>tsunami mencapai 0,23<br>m dengan waktu tiba 50<br>menit.                                                                                                                                                                        |
| Yusdian M F, 2020                                             | Analisis Bahaya<br>Tsunami Di Kota<br>Cilegon Menggunakan<br>Sistem Informasi<br>Geografis                | Mengetahui tinggi <i>run-<br/>up</i> gelombang tsunami<br>Menganalisis luas<br>genangan tsunami | Pemodelan tsunami<br>menggunakan <i>software</i><br>COMCOT dan<br>perhitungan Hloss | Tinggi <i>run-up</i> tsunami<br>masing-masing skenario<br>0,264 m, 1,774 m, dan<br>2,802 m dengan waktu<br>tiba 2 jam 21 menit, 2<br>jam dan 1 jam 24 menit.<br>Luas genangan total<br>masing-masing skenario<br>0,6625 ha, 43,1690ha<br>dan 138,2708 ha |

## 1.6 Kerangka Penelitian

Hasil dari studi literatur menegaskan bahwa pembangkit tsunami terbesar adalah gempa bumi yang terjadi dibawah laut. Jenis gempa yang paling berisiko tinggi menyebabkan tsunami yaitu gempa subduksi antar lempeng. Zona subduksi yang berada di Selat Sunda merupakan zona aktif yang mampu menimbulkan gempa dengan magnitudo besar sehingga dikhawatirkan dapat memicu terjadinya tsunami.

Mitigasi bencana dengan analisis bahaya tsunami menggunakan parameter seperti historis gempa, parameter sesar, batimetri, penggunaan lahan, kemiringan lereng dan garis pantai diharapkan dapat memperhitungkan bahaya tsunami secara tepat. Historis gempa dapat merepresentasikan pola gempa dari waktu ke waktu. Parameter sesar menjelaskan penyebab kejadian gempa akibat aktivitas lempeng yang mampu membangkitkan gelombang tsunami. Batimetri merepresentasikan keadaan topografi dasar laut sebagai media perambatan gelombang tsunami. Penggunaan lahan menggambarkan keadaan daerah penelitian yang dikhawatirkan akan terdampak gelombang tsunami. Kemiringan lereng merepresentasikan topografi darat yang akan dilewati gelombang tsunami. Garis pantai dapat dijadikan sebagai tolak ukur luasan gelombang tsunami. Parameter-parameter tersebut memiliki nilai dalam menghambat ataupun mempercepat perambatan, tinggi *run-up* maupun luasan genangan gelombang tsunami, sehingga ideal digunakan untuk analisis bahaya tsunami. Gambar 1.7 merupakan bagan kerangka penelitian yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 1.7 Kerangka Pemikiran  
Sumber: Penulis, 2019.

## 1.7 Batasan Operasional

### **Bencana**

Bencana menurut UU RI No 24 tahun 2007 tentang penanggulangan bencana yaitu, bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor nonalam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis.

### **Bahaya**

Bahaya sebagai fenomena ataupun aktivitas manusia yang dapat menyebabkan hilangnya nyawa atau luka, kerusakan harta benda, kehidupan sosial ekonomi terganggu maupun penurunan kualitas lingkungan (Saputra, 2010).

### **Tsunami**

Tsunami adalah peristiwa merambatnya gelombang air laut secara radial (*radially spreading*) (Pawirodikromo, 2012). Menurut US Army Corps of Engineers (1990) dalam Robert dan Roestam (2010), tsunami adalah gelombang laut yang ditimbulkan oleh gangguan seperti gerakan patahan, gempa, longsor, jatuhnya benda-benda langit (meteor), letusan gunung berapi dibawah laut dan letusan (*explosion*) di dekat muka air laut.

### **Tsunami Earthquake**

Menurut Kanamori (1972) dalam IOC (2016) tsunami *earthquake* adalah tsunami yang disebabkan oleh gempabumi yang mengakibatkan tsunami besar relatif terhadap besar magnitude gempabumi.