

BAB II

TEORI BENCANA TSUNAMI

2.1 Definisi Bencana

Definisi bencana berdasarkan Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana [7] adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor non-alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis.

Bencana menurut UN-ISDR [8] adalah sebuah gangguan serius terhadap berfungsi sebuah komunitas atau masyarakat yang mengakibatkan kerugian dan dampak yang meluas terhadap manusia, materi, ekonomi dan lingkungan, yang melampaui kemampuan komunitas atau masyarakat yang terkena dampak tersebut untuk mengatasinya dengan menggunakan sumber daya mereka sendiri. Dampak dari bencana yang ditimbulkan, yaitu hilangnya nyawa, cedera, penyakit dan efek-efek negatif lainnya terhadap fisik, mental dan kesejahteraan sosial manusia, dibarangi dengan kerusakan harta benda, kehancuran aset, hilangnya layanan, gangguan sosial dan ekonomi dan degradasi lingkungan.

Potensi bencana di Indonesia dapat dikelompokkan dalam 3 (tiga) jenis bencana, yaitu [7]:

- a. Bencana alam: Bencana yang terjadi akibat serangkaian peristiwa alam seperti gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor.
- b. Bencana non-alam: Bencana yang terjadi akibat serangkaian peristiwa non alam seperti gagal teknologi, gaga; modernisasi, epidemi, dan wabah penyakit.

- c. Bencana sosial: Bencana yang terjadi akibat serangkaian peristiwa ulah/interaksi manusia dalam beraktivitas yang konflik sosial antarkelompok atau antarkomunitas masyarakat, dan teror.

Faktor-faktor yang menyebabkan bencana antara lain [8]:

- a. Bahaya alam (*natural hazards*) dan bahaya karena ulah manusia (*man-made hazards*) yang dikelompokkan menjadi bahaya geologi (*geological hazards*), bahaya hidrometeorologis (*hydrometeorological hazards*), bahaya biologis (*biological hazards*), bahaya teknologi (*technological hazards*), dan penurunan kualitas lingkungan (*environmental degradation*).
- b. Kerentanan (*vulnerability*) yang tinggi dari masyarakat, infrastruktur serta elemen-elemen di dalam kota/kawasan yang berisiko bencana.
- c. Kapasitas yang rendah dari berbagai komponen di dalam masyarakat.

2.2 Definisi Bahaya (*Hazard*)

Bahaya merupakan fenomena, substans, aktivitas manusia atau kondisi berbahaya yang bisa menyebabkan hilangnya nyawa, cedera atau dampak-dampak kesehatan lain, kerusakan harta benda, hilangnya penghidupan dan layanan, gangguan sosial dan ekonomi, atau kerusakan lingkungan [8].

Berdasarkan *United Nations International Strategy for Disaster Reduction* (UN-ISDR) [8], bahaya dibedakan menjadi lima kelompok, yaitu:

1. Bahaya alam (*natural hazards*), yaitu proses atau fenomena alam yang bisa menyebabkan hilangnya nyawa, cedera atau dampak kesehatan lain, kerusakan harta benda, hilangnya penghidupan dan layanan, gangguan sosial dan ekonomi, atau kerusakan lingkungan.
2. Bahaya biologis (*biological hazards*), yaitu proses atau fenomena yang bersifat organik atau yang dinyatakan keterpaparan terhadap mikro-organisme yang bersifat patogen, toksin dan bahan-bahan bioaktif yang bisa

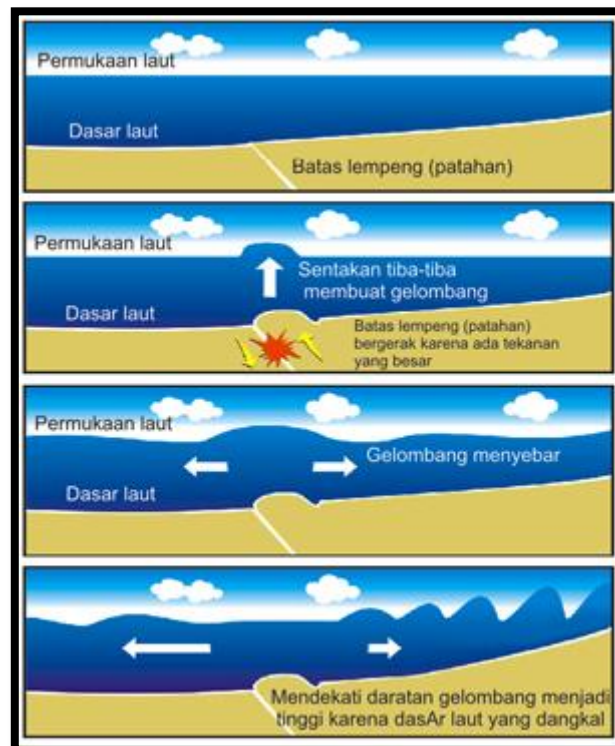
mengakibatkan hilangnya nyawa, cedera, sakit, atau dampak-dampak kesehatan lainnya, kerusakan harta benda, hilangnya penghidupan dan layanan, gangguan sosial dan ekonomi, atau kerusakan lingkungan. Contohnya seperti wabah penyakit, hama, dan penyakit tanaman.

3. Bahaya geologis (*geological hazards*), yaitu proses atau fenomena geologis yang bisa mengakibatkan hilangnya nyawa, cedera atau dampak-dampak kesehatan lain, kerusakan harta benda, hilangnya penghidupan dan layanan, gangguan sosial dan ekonomi, atau kerusakan lingkungan. Contohnya seperti gempa bumi, tsunami, gunung api, dan longsor.
4. Bahaya hidrometeorologis (*hydrometeorological hazards*), yaitu proses atau fenomena yang bersifat atmosferik, hidrologis atau oseanografis yang bisa menyebabkan hilangnya nyawa, cedera atau dampak-dampak kesehatan lain, kerusakan harta benda, hilangnya penghidupan dan layanan, gangguan sosial dan ekonomi, atau kerusakan lingkungan. Contohnya seperti badai petir, badai es, tornado, badai salju, dan gelombang badai pesisir, banjir dan banjir bandang, kekeringan, gelombang panas dan *cold spells*.
5. Bahaya sosial alami (*social hazards*), yaitu fenomena meningkatnya kejadian peristiwa-peristiwa ancaman bahaya geofisik dan hidrometeorologis tertentu yang diakibatkan oleh interaksi antara ancaman bahaya-ancaman bahaya alam dengan sumber daya lahan dan lingkungan yang dimanfaatkan secara berlebihan atau rusak. Contohnya seperti tanah longsor, banjir, amblesan tanah, kekeringan.
6. Bahaya teknologi (*technological hazards*), yaitu suatu ancaman bahaya yang berasal dari kondisi teknologi atau industri, termasuk kecelakaan, prosedur berbahaya, kegagalan prasarana atau aktivitas khusus oleh manusia, yang bisa menyebabkan hilangnya nyawa, cedera, sakit atau dampak-dampak kesehatan lainnya, kerusakan harta benda, hilangnya penghidupan dan layanan, gangguan sosial dan ekonomi, atau kerusakan lingkungan. Contohnya seperti

polusi industri, radiasi nuklir, limbah beracun, runtuhnya waduk, kecelakaan transportasi, ledakan pabrik, kebakaran, dan kebocoran kimiawi.

2.3 Gelombang Tsunami

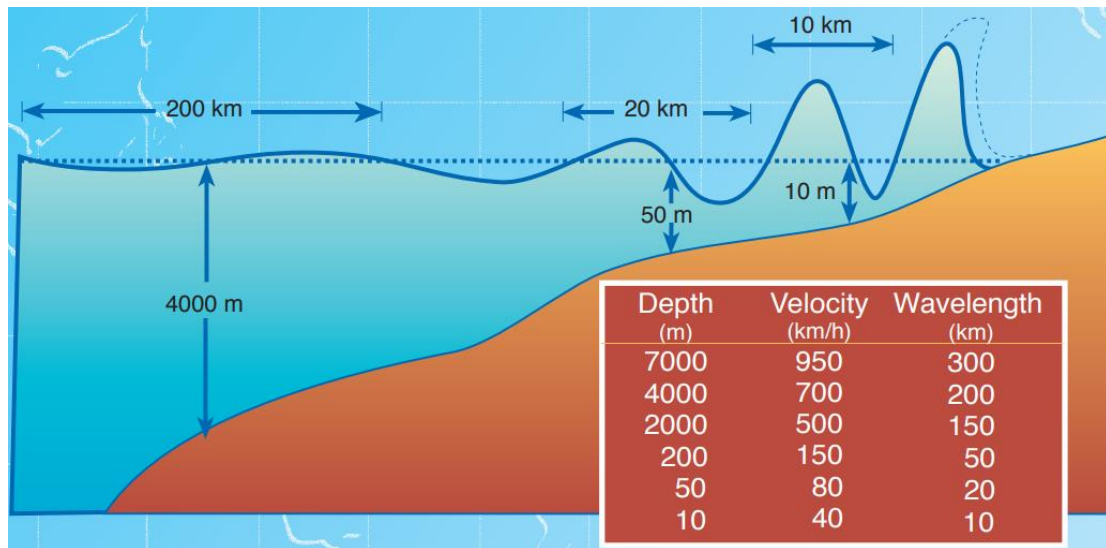
Tsunami berasal dari Bahasa Jepang yang berarti gelombang ombak lautan “*tsu*” berarti lautan, “*nami*” berarti gelombang ombak. Tsunami adalah serangkaian gelombang ombak laut raksasa yang timbul karena adanya pergeseran di dasar laut akibat gempa bumi [9]. Serangkaian gelombang yang berjalan sangat jauh dengan periode waktu yang panjang, biasanya ditimbulkan oleh guncangan-guncangan yang berhubungan dengan gempa bumi yang terjadi di bawah atau dekat dasar laut. Letusan-letusan gunung berapi, tanah longsor di bawah laut, dan terbanan karang pantai (seperti meteor besar yang menimpa lautan) yang memicu tsunami.



Gambar 2.1 Proses Terjadinya Tsunami [2]

Kecepatan tsunami bergantung pada kedalaman laut, akibatnya gelombang tersebut mengalami percepatan atau perlambatan sesuai dengan bertambah atau berkurangnya kedalaman perairan, dengan proses ini arah pergerakan arah gelombang juga berubah dan energi gelombang bias menjadi terfokus atau juga menyebar. Di perairan dalam tsunami mampu bergerak dengan kecepatan 500 sampai 1000 kilometer per jam sedangkan di dekat pantai, kecepatannya melambat hingga beberapa puluh kilometer per jam, demikian juga ketinggian tsunami juga bergantung pada kedalaman perairan. Amplitudo tsunami yang hanya memiliki ketinggian satu meter di perairan dalam bias meninggi hingga puluhan meter di garis pantai [10]. Kecepatan akan berkurang pada saat gelombang mendekati pantai, karena adanya geserak dasar laut. Sedangkan gelombang tsunami justru semakin tinggi pada saat mendekati pantai [11].

Sebuah gelombang tsunami yang hanya memiliki ketinggian satu meter di laut dalam bisa meninggi hingga puluhan meter pada garis pantai. Berbeda dengan gelombang laut yang terjadi karena terpaan angin yang hanya mengganggu permukaan laut, maka energi gelombang tsunami meluas sampai ke dalam lautan. Di dekat pantai, energi gelombang tsunami meluas sampai ke dalam lautan. Di dekat pantai, energi gelombang ini terkonsentrasi pada arah vertikal karena berkurangnya kedalaman air dan berubah arah menjadi horizontal ketika memendeknya panjang gelombang yang diakibatkan perlambatan gerak gelombang [10].



Gambar 2.2 Kecepatan Gelombang Tsunami Terhadap Kedalaman Laut [12]

Berdasarkan sejarah, di Selat Sunda tercatat bahwa tsunami terjadi akibat fenomena geologi, diantaranya erupsi gunung api bawah laut Krakatau yang terjadi tahun 1883. Peristiwa letusan Gunung Api Krakatau tahun 1883 memuntahkan material yang memicu terjadinya tsunami sehingga melanda wilayah sekitar gunung tersebut, salah satunya pesisir Lampung Selatan. Sebanyak kurang lebih 36.000 jiwa manusia tewas akibat peristiwa tersebut. Kejadian tersebut terjadi pada 27 Agustus 1883. Erupsi yang dahsyat dari gunung tersebut diikuti oleh gelombang tsunami yang teramati di Selat Sunda hingga 30 meter di atas permukaan laut [13].

Kemudian tsunami terjadi juga di Selat Sunda pada tahun 2018 akibat adanya aktivitas erupsi Gunung Anak Krakatau (GAK) di Lampung dengan tinggi kolom abu yang teramati kurang lebih 400 meter dari atas puncak gunung dan 738 meter dari atas permukaan laut pada tanggal 21 Desember 2018 dan memberi peringatan dini gelombang tinggi yang berlaku dari tanggal 22 Desember 2018 hingga 25 Desember 2018 di wilayah perairan Selat Sunda dengan ketinggian 1,5 – 2,5 meter [3].

Pada tanggal 22 Desember 2018 terjadi erupsi Gunung Anak Krakatau tersebut memicu longsornya lereng gunung seluas 64 hektar ke dalam laut. Hal tersebut yang menyebabkan terjadinya tsunami yang melanda Selat Sunda yang disebabkan akibat

aktivitas vulkanik. Longsornya lereng gunung pun mengakibatkan terjadinya getaran dan perubahan permukaan air laut. Getaran tersebut yang terjadi akibat aktivitas vulkanik setara dengan kekuatan magnitudo 3,4. Tercatat pada *tide gauge* Serang di Pantai Jambu, Bulakan, Kecamatan Cinangka, Kabupaten Serang pada pukul 21.27 WIB ketinggian air mencapai 0,9 meter. Lalu pada *tide gauge* Banten di Pelabuhan Ciwandan, Kecamatan Ciwandan tercatat pada pukul 21.33 WIB ketinggian air mencapai 0,35 meter. Pada *tide gauge* di Kota Agung, Kecamatan Kota Agung, Lampung tercatat pada pukul 31.35 WIB dengan ketinggian 0,36 meter. Dan kemudian pada *tide gauge* Pelabuhan Panjang, Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung tercatat pada pukul 21.53 WIB dengan ketinggian 0,28 meter. Lalu setelah itu pada pukul 22.30 WIB, BMKG mengeluarkan pernyataan resmi bahwa tsunami telah melanda perairan Banten dan Lampung yang tidak dipicu oleh gempa bumi tektonik, melainkan aktivitas vulkanik [3].

Dampak yang terjadi akibat tsunami Selat Sunda pada tahun 2018 tersebut menewaskan sebanyak 426 korban jiwa yang berjatuh, lalu sebanyak 7.202 orang yang mengalami luka-luka, dan jumlah orang yang hilang akibat bencana tersebut sebanyak 159 orang. Selain korban jiwa, dampak dari bencana tersebut merusak harta dan benda manusia, seperti rumah yang rusak sebanyak 1.296, lalu 78 penginapan rusak, 434 perahu warga rusak, 69 kendaraan roda empat, 38 kendaraan roda dua, dan 1 dermaga rusak akibat terjangan bencana tsunami. Untuk di wilayah pesisir Kabupaten Lampung Selatan terdapat 4 kecamatan yang mengalami dampak terparah akibat bencana tersebut. Kecamatan tersebut berada di Kecamatan Kalianda, Rajabasa, Sidomulyo, dan Katibung dengan tercatat sebanyak 116 orang meninggal dunia [6, 16].

2.4 Penutup Lahan

Penutup lahan merupakan garis yang menggambarkan batas penampakan area penutup di atas permukaan bumi yang terdiri dari bentang alam dan/atau bentang buatan [15]. Penutup lahan dapat diartikan juga sebagai penutup biofisik pada

permukaan bumi yang dapat diamati dan merupakan hasil pengaruhan, aktivitas, dan perlakuan manusia yang dilakukan pada jenis penutup lahan tertentu untuk melakukan kegiatan produksi, perubahan, ataupun perawatan pada areal tersebut [16].

Penggunaan lahan berkaitan dengan kegiatan manusia pada bidang lahan tertentu. Informasi penutupan lahan dapat dikenali secara langsung dengan menggunakan penginderaan jauh yang tepat. Sedangkan informasi tentang kegiatan manusia pada lahan (penggunaan lahan) tidak selalu dapat ditafsirkan secara langsung dari penutupan lahannya [17].

2.5 Garis Pantai

Kawasan pantai merupakan daerah datar atau bergelombang dengan perbedaan ketinggian tidak lebih dari 200 meter dari permukaan laut, yang dibentuk oleh endapan pantai dan sungai yang bersifat lepas, dicirikan dengan adanya bagian yang kering (daratan) dan basah (rawa) [18]. Garis pantai merupakan garis pertemuan antara daratan dan air lautan yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut [15], namun dapat juga diartikan sebagai wilayah pantai yang memiliki pantai yang berpasir, berlumpur, rawa atau tumbuhan semak, dan lain-lain. Oleh karena itu, posisi garis pantai bersifat tidak tetap dan dapat berpindah sesuai dengan pasang surut air laut dan abrasi pantai atau endapan lumpur. Garis pantai pada hal ini didefinisikan untuk ketinggian gelombang tsunami ketika mencapai di garis pantai untuk mengetahui sejauh mana rambatan gelombang tsunami ke daratan sehingga dari sana akan menghasilkan luas genangan.

Untuk meminimalisir rambatan gelombang tsunami yang masuk ke daratan, maka dibutuhkan daerah vegetasi yang mampu menghadang gelombang tersebut. Dengan melakukan konfigurasi vegetasi pantai dengan ketebalan dan kerapatan tertentu maka akan membentuk sabuk pantai yang memberikan banyak manfaat bagi lingkungan dan masyarakat, salah satunya ialah untuk upaya mitigasi bencana tsunami di daerah

yang rawan terhadap bencana tersebut. Peran atau fungsi dari sabuk pantai dalam mereduksi tsunami ialah sebagai berikut [18]:

- a. Sebagai perangkap, yaitu untuk menghentikan kayu yang hanyut (pohon tumbang, dll), reruntuhan (rumah yang hancur, dll), dan puing lainnya (perahu, dll).
- b. Sebagai peredam energi tsunami, yaitu efek untuk mengurangi kecepatan aliran air, tekanan aliran, dan kedalaman genangan air.
- c. Sebagai pegangan, yaitu untuk menjadi sarana penyelamatan dengan cara berpegangan pada cabang-cabang pohon.
- d. Sebagai sarana melarikan diri, yaitu untuk menjadi cara dengan memanjat pohon dari tanah atau dari suatu bangunan.
- e. Sebagai pembentuk gumuk pasir, yaitu untuk mengumpulkan pasir yang tertiuip angin dan membentuk gumuk/bukit, yang bertindak sebagai penghalang alami terhadap tsunami.

2.6 Model Genangan Tsunami

Metode Berryman merupakan model genangan yang dibuat dengan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) menggunakan formula yang dikembangkan oleh Berryman [4]. Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan suatu sistem informasi berbasis komputer untuk menyimpan, mengelola dan menganalisis, serta memanggil data bereferensi geografis yang berkembang pesat pada lima tahun terakhir ini. Aplikasi sistem informasi geografis dapat digunakan untuk melakukan analisis model genangan yang dikembangkan oleh Berryman yang dilakukan dengan cara pengolahan data spasial.

Bahaya tsunami didefinisikan sebagai tinggi gelombang tsunami yang mencapai garis pantai dan rambatan gelombang tsunami ke daratan sehingga menghasilkan luas

genangan [19]. Metode Berryman ini merupakan pemodelan genangan berdasarkan 3 variabel atau parameter perhitungan bahaya bencana tsunami, yaitu kemiringan lereng, kekasaran permukaan, dan ketinggian gelombang dari garis pantai.

1. Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng merupakan permukaan tanah yang disebabkan adanya perbedaan ketinggian antara dua tempat. Sudut yang membentuk 2 ketinggian disebut sudut kemiringan (*slope*). Daerah yang datar memiliki nilai *slope* yang kecil, sedangkan daerah yang berupa dataran tinggi memiliki nilai *slope* yang tinggi.

Dalam variabel ini, digunakan data DEM (*Digital Elevation Model*) untuk menjadikannya kelas lereng. Semakin tinggi permukaan tanah suatu tempat, maka tingkat bahaya tsunaminya semakin kecil. Rendaman yang masuk ke daratan akan semakin berkurang jika kemiringan lerengnya besar [20], karena ketika di daerah pesisir memiliki kemiringan lereng yang besar maka air gelombang tsunami yang masuk ke daratan dengan kemiringan lereng yang tinggi akan kembali lagi sehingga genangan air yang masuk ke daratan akan berkurang.

2. Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan sistem pemberian nilai koefisien yang didasarkan pada tipe jenis penutup lahan. Penutup lahan sangat berfungsi dalam menghadang gelombang tsunami yang masuk ke daratan, terutama pada jenis tumbuh-tumbuhan. Setiap nilai koefisien kekasaran permukaan memiliki nilai yang beragam, tergantung dari jenis penutup lahannya [19]. Kekasaran permukaan dilakukan dalam penentuan zona bahaya bencana tsunami karena pada setiap penutup lahan yang berada di wilayah pesisir memiliki tingkat ketahanan yang berbeda terhadap tekanan gelombang tsunami yang masuk menuju daratan [21]. Kekasaran permukaan dilakukan agar rambatan tsunami

dari garis pantai menuju ke daratan mendekati dengan kenyataan yang ada di lapangan [22]. Semakin besar nilai kekasaran permukaannya, maka semakin besar pula jenis penutup lahan dalam menghadang gelombang tsunami. Perbedaan spesifik pada kekasaran permukaan terletak pada lahan terbangun, vegetasi, dan lahan terbuka. Hal ini dikarenakan jenis penutup lahan seperti diterjemahkan menjadi sebuah koefisien kekasaran permukaan yang menggambarkan kenampakan penutup lahan seperti yang sebenarnya [19]. Adapun koefisien kekasaran permukaan yang disajikan dalam indeks oleh Berryman [4] pada Tabel 2.1:

Tabel 2.1 Indeks Koefisien Permukaan Lahan oleh Berryman [23]

| No. | Jenis Penutupan/Penggunaan Lahan | Nilai Koefisien Kekasaran Permukaan |
|-----|----------------------------------|-------------------------------------|
| 1. | Badan Air | 0.007 |
| 2. | Belukar/Semak | 0.040 |
| 3. | Hutan | 0.070 |
| 4. | Kebun/Perkebunan | 0.035 |
| 5. | Lahan Kosong/Terbuka | 0.015 |
| 6. | Lahan Pertanian | 0.025 |
| 7. | Pemukiman/Lahan Terbangun | 0.045 |
| 8. | Mangrove | 0.025 |
| 9. | Tambak/Empang | 0.010 |

3. Ketinggian Gelombang

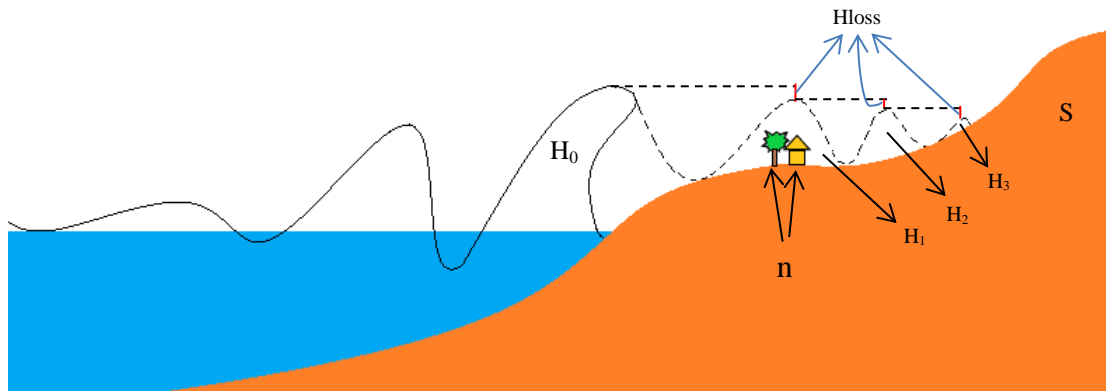
Ketinggian gelombang merupakan dasar dalam penentuan skenario dalam analisis bahaya bencana tsunami. Ketinggian gelombang tsunami yang diperhitungkan adalah ketinggian gelombang pada di garis pantai. Ketinggian gelombang tsunami didapat berdasarkan data sejarah atau data historis saat terjadinya bencana tsunami.

Pemodelan luas genangan dilakukan dengan menggunakan model penurunan tinggi muka air gelombang tsunami ketika mencapai daratan. Persamaan yang digunakan untuk memodelkan penurunan tinggi gelombang tsunami ialah dengan menggunakan metode H_{loss} yang dikembangkan oleh Berryman. Berikut merupakan formula untuk menghitung sebaran rendaman bencana tsunami berdasarkan kemiringan lereng, koefisien kekasaran permukaan, dan ketinggian gelombang di garis pantai [23]:

$$H_{loss} = \frac{167n^2}{H_0^{1/3}} + 5 \sin S \quad (2.1)$$

Dimana:

- H_{loss} : nilai penurunan ketinggian air saat masuk ke daratan
- n : koefisien kekasaran permukaan
- H_0 : ketinggian gelombang tsunami di garis pantai (meter)
- S : besarnya lereng permukaan ($^{\circ}$)



Gambar 2.3 Skema dari perhitungan Hloss

Hasil dari besarnya nilai kelereng (S) adalah dalam bentuk derajat ($^{\circ}$), maka perlu dilakukan konversi derajat ke radian dengan menggunakan rumus berikut [24]:

$$\sin S = \sin (slope \times 0,01745) \quad (2.2)$$

Dimana:

$slope$: besarnya lereng permukaan ($^{\circ}$)

S : besarnya lereng permukaan (radian)

0,01745 : hasil perhitungan $\frac{\pi}{180}$

Nilai 0,01745 didapat dari hasil perhitungan $\frac{\pi}{180}$. Prinsip ini berlaku di dalam prinsip trigonometri spasial untuk satu data dengan satuan derajat [24].

Operasi matematika pada model ini berbasis piksel, maka besarnya Hloss harus dibagi ukuran sel dari DEM yang digunakan dengan menggunakan rumus [24]:

$$H_{loss\ per\ m} = \frac{H_{loss}}{Ukuran\ Sel\ DEM} \quad (2.3)$$

Dimana:

$H_{loss\ per\ m}$: nilai penurunan ketinggian air per meter saat masuk ke daratan

H_{loss} : nilai penurunan ketinggian air saat masuk ke daratan

Penelitian ini juga menggunakan metode potong ketinggian (*cut elevation*), dimana pada metode ini wilayah-wilayah yang memiliki ketinggian di atas tinggi gelombang tsunami di garis pantai dikeluarkan dari kalkulasi Hloss, karena wilayah yang memiliki ketinggian di atas tinggi gelombang tsunami tidak akan tergenangi. Selanjutnya pengaruh ketinggian belum dimasukkan dalam persamaan tersebut, sehingga dapat terjadi *overestimate* akibat pengaruh lereng. Maka dilakukanlah perhitungan dengan membatasi nilai ketinggian gelombang tsunami yang hilang sesuai dengan besarnya nilai H_0 dengan menggunakan rumus berikut [24]:

$$H_{loss_elevasi} = SetNull (DEM > H_0, H_{loss\ per\ m}) \quad (2.4)$$

Dimana:

- $H_{\text{loss_elevasi}}$: nilai penurunan ketinggian air per meter saat masuk ke daratan dengan pemotongan ketinggian
- H_0 : ketinggian gelombang tsunami di garis pantai (meter)
- $H_{\text{loss per m}}$: nilai penurunan ketinggian air per meter saat masuk ke daratan

Hloss hanya menunjukkan berapa air yang hilang dan bukan arah air. Untuk mengetahui arah air maka dilakukanlah operasi *cost distance*. *Cost distance analysis* menentukan jarak terdekat dari satu piksel ke piksel lain menuju lokasi sumber gelombang, dalam hal ini adalah garis pantai. Hasil dari operasi Hloss dan *cost distance* menghasilkan peta rencaman tsunami [25]. Berikut rumus yang digunakan adalah sebagai berikut [24]:

$$\text{Bahaya Tsunami} = H_{\text{loss}} - \text{cost distance} \quad (2.5)$$