

APLIKASI PENGINDERAAN JAUH DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFI UNTUK PEMETAAN DAERAH BERPOTENSI TSUNAMI DI KABUPATEN KUPANG PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR

Lidia Agustina Rumaal, Jehunias L.Tanesib, Jonshon Tarigan

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 85111, Indonesia

email: jehunias@staf.undana.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan pemetaan daerah rawan tsunami berdasarkan estimasi waktu tiba gelombang dan tutupan lahan di Kabupaten Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur menggunakan aplikasi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, memetakan daerah rawan tsunami dan tingkat kerawannya menurut estimasi waktu tiba gelombang dan tutupan lahan sebagai upaya mitigasi dampak bencana tsunami terhadap kepadatan penduduk. Metode penelitian secara umum dibagi dalam empat tahap utama yaitu pembangunan basis data berupa pembuatan peta tutupan lahan, peta gempa dan peta batimetri. Analisis data kerawanan dari peta tutupan lahan dan estimasi waktu tiba gelombang, penyajian hasil data dalam bentuk tingkat kerawanan masing-masing peta dan analisis hasil penelitian berupa tingkat kerawanan secara kualitatif masing-masing daerah titik pantau menurut peta tutupan lahan maupun estimasi waktu tiba gelombang. Selain itu, dampak kerawanan tsunami diklasifikasikan menurut tingkat kepadatan penduduk untuk kebutuhan mitigasi sebagai berikut Kecamatan Kupang Timur, Kupang Barat, Sulamu, Amfoang Timur, Semau, Semau Selatan, Amfoang Utara, Amfoang Barat Daya, Amfoang Barat Laut dan Fatuleu Barat.

Kata kunci : *Peta rawan tsunami, Penginderaan Jauh, Sistem Informasi Geografi, Estimasi Waktu Tiba Gelombang*

Abstract

Mapping of hazard tsunami areas based on estimation of arrival time of wave and land cover in Kupang Regency of East Nusa Tenggara Province using remote sensing application and geographic information system has been done. The aims of this research are to mapping the hazard tsunami area and tsunami vulnerability level in Kupang Regency East Nusa Tenggara according to the estimated arrival time of the wave and land cover as an effort to mitigate the impact of the tsunami disaster on population density. These generally divided into four main phase namely development of database in the form of land cover map, seismic maps and bathymetry maps, data analysis of research results in the form of qualitative vulnerability of each monitoring area according to land cover map and estimated wave arrival time. Presentation of data results in the form of vulnerability level of each map and analysis and results analysis of research the form of vulnerability level of each map and analysis of research results in the form of qualitative vulnerability of each monitoring area according to land cover map and estimated wave arrival time. And then, the impact of tsunami vulnerability is classified according to population density levels for mitigation needs as follows Kupang Timur, Kupang Barat, Sulamu, Amfoang Timur, Semau, Semau Selatan, Amfoang Utara, Amfoang Barat Daya, Amfoang Barat Laut and Fatuleu Barat.

Keywords: *Tsunami Hazard Map, Remote Sensing, Geographic Information System, Estimated Time of arrival Wave*

PENDAHULUAN

Indonesia berada pada wilayah pertemuan tiga lempeng tektonik (*tectonic plate*) yang terus bergerak dengan arah yang berbeda satu dengan yang lain. Lempeng Pasifik yang relatif ke arah barat (110 mm per tahun) menekan lempeng Indo Australia yang bergerak ke utara (71 mm per tahun) menekan dan menunjam ke dalam lempeng Eurasia. Akibat pergerakan lempeng-lempeng inilah yang membuat Indonesia menjadi

salah satu kawasan rawan bencana alam. Bencana ini kerap melanda kawasan *Ring of Fire*, dengan tatanan geologi ini menempatkan geografis Indonesia sebagai negara kepulauan dan memiliki garis pantai terpanjang ke dua di dunia.

Kemajuan aplikasi sistem informasi geografi dewasa ini berkembang dengan pesatnya. Hal ini dilatar belakangi oleh kebutuhan akan manfaat aplikasi tersebut pada banyak sektor seperti sektor lingkungan hidup, pertanian, pendidikan, telekomunikasi,

pertanahan, pertahanan dan keamanan, keuangan, serta tenaga kerja. Salah satu peranan sistem informasi geografi yang berkaitan dengan lingkungan yaitu dapat menganalisa daerah rawan bencana alam. Bencana alam yang terjadi di Indonesia salah satunya adalah tsunami yang berdampak sangat besar, yaitu lingkungan yang mengalami kerusakan baik sedang maupun parah, wabah penyakit, kehilangan tempat tinggal, gangguan jiwa bahkan sampai menelan korban jiwa.

Tsunami merupakan kejadian alam yang diakibatkan oleh patahan yang melepaskan energi hasil akumulasi yang dapat menaikkan volume air laut menjadi gelombang besar yang tingginya lebih dari tinggi badai. Ada beberapa faktor penyebab tsunami yaitu gempa bumi, letusan gunung api bawah laut, longsoran besar bawah laut maupun akibat jatuhnya meteor. Secara umum tsunami adalah serangkaian gelombang tunggal yang panjang gelombang dan periodenya sangat besar berkisar antara orde menit sampai orde jam. Tsunami yang diakibatkan oleh gempa yang sumbernya di wilayah Indonesia, hanya mempunyai perbedaan selang waktu yang relatif singkat antara waktu terjadinya gempa dan waktu tibanya gelombang tsunami yaitu sekitar 30-60 menit. Berbeda dengan tsunami yang mempunyai sumber gempa di lautan pasifik dan sekitarnya, memiliki interval waktu yang cukup lama antara waktu kejadian gempa dengan waktu tiba gelombang tsunami yang berkisar lebih dari 10 jam. Dari gambaran ini tsunami yang diakibatkan oleh gempa lokal lebih berbahaya dan membutuhkan perhatian yang lebih serius dibandingkan dengan tsunami yang diakibatkan gempa jauh.

Salah satu upaya meminimalkan dampak negatif bencana tsunami yaitu dengan tersedianya peta daerah rawan tsunami. Peta ini dapat dipakai sebagai alternatif selain menggunakan alat perekam tsunami lokal untuk perencanaan dan penanggulangan dini (*early warning system*). Peringatan dini merupakan informasi awal yang diberikan pihak terkait khususnya masyarakat tentang bencana tsunami, peringatan dini ini dilengkapi dengan waktu tiba gelombang di masing-masing tempat. Sistem informasi geografi (SIG) merupakan salah satu metode yang tepat dalam pemetaan daerah rawan tsunami.

Penelitian dengan aplikasi penginderaan jauh untuk pemetaan daerah rawan tsunami telah dilakukan oleh [1] untuk kota Padang Sumatra Barat, sedangkan untuk perhitungan waktu tiba

gelombang tsunami telah dilakukan oleh [2] untuk daerah Bengkulu. Khusus untuk daerah Nusa Tenggara Timur, penelitian dengan aplikasi penginderaan jauh dan sistem informasi geografi telah dilakukan oleh beberapa peneliti, salah satunya [3] yaitu memetakan dan mengkalisifikasikan daerah rawan banjir masing-masing kecamatan di Kabupaten Kupang.

Pemetaan daerah rawan tsunami dapat diidentifikasi secara cepat melalui sistem informasi geografi dengan membuat dan menganalisis parameter-parameter tsunami seperti: peta kegempaan yang berpotensi tsunami, bentuk atau morfologi dasar laut sekitar daerah kecepatan tsunami hingga waktu tiba gelombang dan peta tutupan lahan. Melalui SIG diharapkan akan mempermudah penyajian informasi spasial khususnya yang terkait dengan penentuan tingkat kerawanan tsunami serta dapat menganalisis dan memperoleh informasi baru dalam mengidentifikasi daerah-daerah rawan tsunami untuk kepentingan mitigasi. Hal ini dikarenakan kejadian gempa bumi yang tidak dapat diprediksikan maka tsunami akibat gempa bumi pun menjadi bencana besar yang tak terduga kapan terjadinya dan dibutuhkan banyak langkah mitigasi.

Salah satu daerah yang dijadikan sebagai lokasi penelitian yaitu Kabupaten Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur. Hal ini dilatarbelakangi oleh batas daerah Kabupaten Kupang yang berbatasan langsung dengan laut Sawu dan Laut Timor yang merupakan laut lepas menjadikan daerah Kabupaten Kupang riskan atau rawan terjadi tsunami. Hal ini didukung pula dengan banyaknya daerah di Kabupaten Kupang yang berada di pesisir pantai dan kebanyakan mata pencaharian penduduk sekitar pantai adalah melaut maka akan terkena dampak jika terjadi bencana tsunami ini.

Dengan kemajuan teknologi penginderaan jauh yang memungkinkan proses identifikasi kondisi fisik suatu daerah dapat diperoleh dengan cepat, akurat, dan dapat menghemat waktu, tenaga, dan biaya. Serta perkembangan teknologi sistem informasi geografi yang juga memungkinkan pengguna data spasial untuk menyimpan, mengolah, dan menganalisis data spasial yang dimiliki lebih mudah dan lebih cepat.

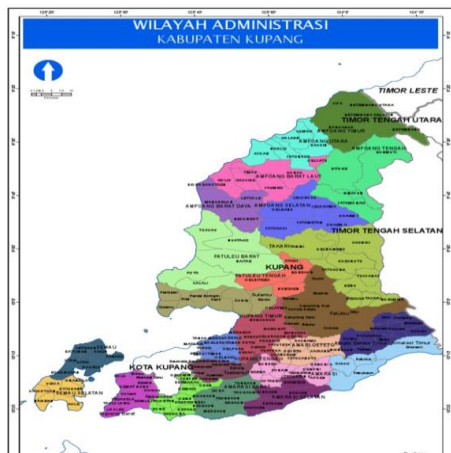
Maka berdasarkan uraian di atas, penulis ingin melakukan penelitian dengan mengaplikasikan penginderaan jauh dan sistem informasi geografi untuk pemetaan daerah rawan tsunami di Kabupaten Kupang Propinsi Nusa

Tenggara Timur. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi, memetakan daerah rawan tsunami dan tingkat kerawannya di Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur menurut estimasi waktu tiba gelombang dan tutupan lahan sebagai upaya mitigasi dampak bencana tsunami terhadap kepadatan penduduk.

DASAR TEORI

Gambaran Umum Kabupaten Kupang

Secara geografis Kabupaten Kupang terletak antara $9^{\circ}15'11,78'' - 10^{\circ}22'14,25''$ Lintang Selatan dan antara $123^{\circ}16'10,66'' - 124^{\circ}11'42,15''$ Bujur Timur. Luas wilayah Kabupaten Kupang adalah $5.490,97 \text{ km}^2$, terdiri dari 24 kecamatan. Kecamatan Takari memiliki luasan terbesar yaitu $655,79 \text{ km}^2$ sedangkan Kecamatan Kupang Tengah memiliki luasan terkecil yaitu $94,79 \text{ km}^2$. Peta administrasi Kabupaten Kupang dapat dilihat pada Gambar 1.



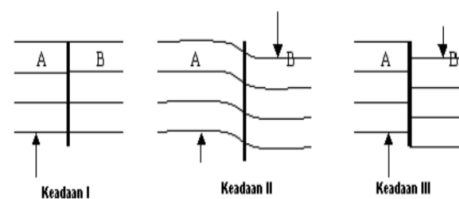
Gambar 1. Peta administrasi Kabupaten Kupang Dengan batas wilayah sebagai berikut: Sebelah Utara berbatasan dengan laut Sawu dan selat Ombai, Sebelah barat dengan Kota Kupang, Kabupaten Rote Ndao, Kabupaten Sabu Raijua dan laut Sawu, Sebelah Selatan berbatasan dengan Samudera Hindia, Sebelah Selatan berbatasan dengan Kabupaten Timor Tengah Selatan dan Negara Timor Leste.

Teori Kegempaan

Gempa bumi merupakan salah satu akibat dari pergerakan lempeng yang ada di dalam bumi. Dimana pergerakannya saling mengalami pertabrakan sehingga pada suatu saat tertentu akan menimbulkan adanya lipatan dan setelah melewati batas elastisitas maka akan terjadi patahan, pada saat patahan itu terjadi maka gempa

bumi itu akan terjadi. Bentuk energi yang dilepaskan saat terjadinya gempa bumi antara lain adalah energi deformasi dan gelombang.

Energi deformasi dapat dilihat pada perubahan bentuk volume setelah terjadinya gempa bumi, seperti misalnya tanah naik, tanah turun dan pergeseran batuan. Sedangkan energi gelombang akan menggetarkan medium elastis disekitarnya dan akan menjalar ke segala arah. Gelombang yang dipancarkan oleh gempa tektonik tersebut akan menjalar ke segala penjuru, tidak hanya melewati permukaan bumi melainkan juga melalui bagian bumi dalam dan bahkan seringkali gelombang tersebut melewati inti bumi sebelum ditangkap oleh suatu stasiun pencatat gempa [2].



Gambar 2 Mekanisme gempa bumi yang menjadi sumber gempa tektonik

Pada keadaan I menunjukkan suatu lapisan yang belum terjadi perubahan bentuk geologi. Karena di dalam bumi terjadi gerakan yang terus-menerus, maka akan terdapat stress yang lama-kelamaan akan terakumulasi dan mampu merubah bentuk geologi lapisan batuan.

Pada keadaan II menunjukkan suatu batuan telah mendapat dan mengandung stress dimana telah menjadi perubahan bentuk geologi. Untuk daerah A mendapat stress ke atas, sedangkan daerah B mendapat stress ke bawah. Proses ini berjalan terus samapi stress yang terjadi (dikandung) di daerah ini cukup besar untuk merubahnya menjadi gesekan antara daerah A dan daerah B. Lama kelamaan karena batuan sudah tidak mampu lagi menahan stress, maka akan terjadi suatu pergerakan secara tiba-tiba yang disebut gempa bumi.

Pada keadaan III menunjukkan lapisan batuan yang sudah patah, karena adanya pergerakan yang tiba-tiba dari batuan tersebut. Gerakan perlahan-lahan sesar ini akan berjalan terus, sehingga seluruh proses diatas akan diulangi lagi dan sebuah gempa akan terjadi setelah beberapa waktu lamanya, demikian seterusnya. Teori ini dikenal dengan nama "Elastic Rebound Theory" [2].

Tsunami

Tsunami merupakan kejadian alam yang diakibatkan oleh patahan yang melepaskan energi hasil akumulasi yang dapat menaikkan volume air laut menjadi gelombang besar yang tingginya lebih dari tinggi badai. Ada beberapa faktor penyebab tsunami yaitu gempa bumi, letusan gunung api bawah laut, longsoran besar bawah laut maupun akibat jatuhnya meteor.

Tidak semua gempa bumi dapat menyebabkan tsunami, hanya gempa bumi dengan pusat gempa dangkal atau kurang dari 70 km yang terjadi di dasar laut, pusat gempa di bawah laut dengan kekuatan $> 6,5$ SR, dan patahan kerak bumi terjadi secara vertikal sehingga air laut meninggi. Panjang patahan juga mempengaruhi lebar gelombang awal dan arah patahan mempengaruhi arah dominan perambatan gelombang.

Di lautan dalam dengan kecepatan tsunami yang kuat dapat bergerak 700 km/jam. Tsunami bergerak ratusan kilometer per jam di samudera dengan tinggi gelombang hanya 1 meter. Semakin dalam laut, semakin cepat gelombang tsunami merambat. Namun ketika memasuki perairan dangkal dekat daratan, kecepatan tsunami melambat tetapi ketinggian gelombang semakin bertambah. Tinggi gelombang tsunami yang sampai di pantai dapat mencapai 30 meter [4].

Informasi penting tentang tsunami perlu dipelajari, hal ini bermanfaat dalam proses pengumpulan data, pengolahan dan analisis sehingga menjadi parameter-parameter tsunami yaitu kecepatan gelombang, tinggi gelombang, jarak landaan dan intensitas tsunami

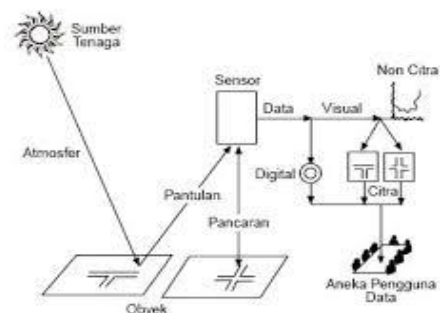
Peta dan Pemetaan

Peta merupakan suatu gambaran unsur-unsur alam dan atau buatan manusia, yang berada di atas maupun di bawah permukaan bumi yang digambarkan pada suatu bidang datar dengan skala tertentu. Pemetaan adalah proses pengukuran, perhitungan, dan penggambaran permukaan bumi (terminologi geodesi) dengan menggunakan cara dan atau metode tertentu sehingga didapatkan hasil berupa *softcopy* maupun *hardcopy* peta yang berbentuk vektor maupun raster.

Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh merupakan suatu upaya untuk mengetahui suatu objek dengan menggunakan sensor, baik alamiah maupun buatan. Menurut [5] untuk memperoleh data

dengan sensor jauh, sangat penting peranan media perantara dalam hal ini adalah gelombang elektromagnetik yang berasal dari spektrum radiasi matahari. Proses pengambilan data atau informasi dengan sensor jauh sampai ke pemakai atau pemanfaat data penginderaan jauh dapat dilihat pada Gambar 3, dimana data yang ditangkap sensor jauh dapat berbentuk visual maupun digital. Data visual atau non digital dapat berbentuk citra atau non citra, sedangkan data digital berbentuk citra yang langsung dapat diolah dengan komputer, menggunakan perangkat lunak (*software*). Data citra asli atau yang sudah diolah dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan analisis maupun perencanaan dan perancangan.



Gambar 3 Komponen sistem penginderaan jauh [5].

Data yang diperoleh dari teknik penginderaan jauh dapat diperoleh dengan dua cara yaitu manual dan digital, pengolahan data manual sangat tergantung pada manusia dalam membedakan tingkat keabuan (*grey level*) atau warna. Sedangkan pengolahan data atau citra digital menggunakan komputer sehingga dalam membedakan tingkat keabuan atau warna jauh lebih baik.

Pengolahan data digital pada umumnya telah tersedia perangkat lunak (*software*), langkah pengolahan data/citra secara umum diawali dengan penentuan pusat lintasan (*orbit*), koordinat lintang dan bujur, membuat grid-grid sesuai lintang dan bujur. Pengolahan data/citra digital, grid-grid didigitasi yang dikenal dengan konsep digitasi perubahan-perubahan data/citra analog menjadi digital. dalam konsep ini, data/citra dengan distribusi kontinyu tingkat keabuan atau warna, diubah menjadi bentuk grid-grid dengan ukuran tertentu, tersusun menjadi nomor *pixel* dan nomor garis. *Pixel* adalah sebuah titik yang merupakan elemen paling kecil pada citra satelit. Harga numerik tunggal pada setiap *pixel* menjelaskan tingkatan kecerahan secara menyeluruh.

Sistem Informasi Geografi

Menurut Aronaf dalam [6] Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem informasi yang didasarkan pada kerja komputer yang memasukan, mengelola, memanipulasi dan menganalisa data serta memberi uraian. SIG juga dapat diartikan sebagai pengelolaan data geografis yang didasarkan pada kerja komputer. Sumber informasi geografis selalu berubah dari waktu ke waktu (dinamis) sejalan dengan perubahan gejala alam dan gejala social.

Sistem Peringatan Dini

Sistem peringatan dini digunakan untuk memberikan informasi tentang sesuatu hal yang akan terjadi, agar bisa memberikan peringatan sedini mungkin untuk menghindari atau meminimalkan akibat yang akan ditimbulkan. Hal ini dikarenakan gelombang gempa jauh lebih cepat dibandingkan gelombang tsunami. Kecepatan gelombang gempa berkisar antara 4-11 km/detik, sedangkan kecepatan penjalaran gelombang tsunami bervariasi antara 10 km/jam) sampai dengan 800 km/jam bergantung pada kedalaman air laut, pada laut yang dalam kecepatannya sangat tinggi. Walaupun demikian, gelombang tsunami jauh tertinggal dibanding gelombang gempa, makin jauh jarak penjalaran tsunami makin jauh gelombang tsunami tertinggal. Selisih waktu datang keduanya cukup besar inilah yang menjadi peluang untuk merancang sistem peringatan dini [7].

METODE PENELITIAN

Luas lokasi penelitian terbentang sepanjang wilayah Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur yang terletak di Pulau Timor, khususnya di pesisir pantai yaitu bagian timur dari Pulau Timor secara keseluruhan.

Survei Lokasi.

Proses penelitian diawali dengan melakukan survei lokasi. Tahap awal ini sangat membantu untuk memahami masalah dan proses interpretasi rawan tsunami.

Pembangunan Basis Data

Pembuatan Peta Gempa Bumi

Untuk pembuatan peta gempa bumi pada lokasi penelitian dilakukan dengan cara mendownload data gempa pada situs buletin ISC, data yang diperoleh dikerjakan dengan software ArcGIS yang sebelumnya telah disortir terlebih dahulu. Hasil pemetaan berupa peta gempa dapat

dipakai sebagai titik awal untuk pengerjaan lanjutan pada peta batimetri.

Pembuatan Peta Tutupan lahan

Untuk pembuatan peta tutupan lahan di daerah penelitian dilakukan dengan cara *mendownload* data citra *landsat* 8 dari *usgs*. Ada beberapa file *band*, 1 file BQA, dan 1 file metadata citra. Dari banyaknya data yang didapatkan, yang digunakan adalah citra *band* 4, 5, dan 6. Dari ketiga *band* yang didapatkan kemudian diklasifikasikan dalam beberapa warna yang mewakili beberapa faktor yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Setelah klasifikasi di atas dipasangkan nama-nama tempat yaitu kecamatan di daerah penelitian untuk digunakan dalam analisis akhir penentuan kerawanan tsunami dengan hasil pemetaan gempa dan pemetaan batimetri.

Pembuatan Peta Batimetri

Untuk pembuatan peta kedalaman laut pada lokasi penelitian dilakukan dengan cara mendownload data topografi dari situs www.sandwellandsmith.com. Data yang telah dipanggil dalam *surfer* di-*digitize* dilanjutkan dengan *slice* untuk mendapatkan profil kedalaman laut daerah penelitian. Dari hasil *slice* didapatkan kedalaman laut sekitar daerah penelitian. Selanjutnya dibuat *slice* lain untuk menampilkan lebih banyak beberapa variasi kedalaman laut yang akan dipakai untuk menghitung kecepatan tsunami. Kemudian dari kecepatan dapat dihitung waktu tiba gelombang di masing-masing lokasi pantau yaitu masing-masing kecamatan.

Interpretasi Data

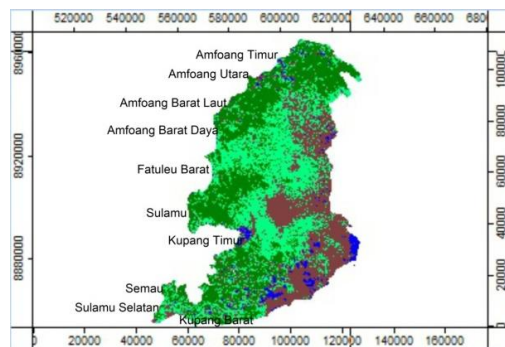
Penafsiran atau interpretasi data dilakukan secara kualitatif dan secara terpisah masing-masing peta kerawanan yaitu untuk kerawanan menurut peta tutupan lahan dan kerawanan menurut estimasi waktu tiba gelombang tsunami. Hal yang sama pula diinterpretasikan secara kualitatif untuk dampak kerawanan ditinjau dari kepadatan penduduk.

HASIL PENELITIAN

Peta Tutupan Lahan

Gambar 4 merupakan gambar Peta daerah penelitian yang diolah dari data citra *landsat* yang dikerjakan dengan SAGA GIS. Proses pengolahan data dimulai dengan pemetaan tutupan lahan yang menggunakan sistem informasi geografi dengan pemanfaatan

penginderaan jauh berupa citra landsat ketika diolah menjadi peta tutupan lahan. Hasil dari peta tutupan lahan ini diperoleh informasi bahwa beberapa kecamatan memiliki tutupan lahan yang mengindikasikan kerawanan jika terjadi tsunami di daerah-daerah tersebut. Keterkaitan peta tutupan lahan dalam penelitian ini adalah dari peta tutupan lahan ini didapatkan salah satu indikasi daerah dapat dikatakan rawan tsunami sesuai tujuan penelitian ini yaitu jika di daerah itu memiliki sungai atau kali yang bermuara langsung di laut, yang diwakiliki oleh warna biru pada peta tutupan lahan. Sedangkan di daerah yang terindikasi itu tidak memiliki atribut penahan gelombang alami yaitu hutan bakau. Hutan bakau sendiri sangat berperan penting dalam pemecah gelombang yang datang di bibir pantai.



Gambar 4 Peta Tutupan Lahan Daerah Penelitian

Proses pemetaan tutupan merupakan hasil penggunaan penginderaan jauh dengan sensor jauh di mana pemanfaatannya untuk pemetaan bentuk muka muka bumi dalam hal ini pemetaan tutupan lahan dengan foto udara. Foto udara dilakukan dengan wahana pesawat udara dan sejenisnya dengan pengambilan data berjarak ribuan *feet* atau meter dari permukaan. Sedangkan sensornya adalah sensor jauh dengan sistem sensor pasif dengan kamera foto, yang menerima panjang gelombang elektromagnetik cahaya tampak yang dipantulkan oleh target atau obyek. Sistem Informasi Geografi sendiri diselenggarakan dengan penginderaan jauh dalam memperoleh informasi obyek dalam hal ini tutupan lahan tanpa bersentuhan dengan obyek dikarenakan citra saelit merekam obyek di permukaan bumi sehingga dari interpretasi yang diwakili dengan pengolahan data manual dalam membedakan tingkat keabuan (*grey level*) atau warna sehingga dapat diketahui kondisi penutupan lahan/penggunaan lahan saat perekaman yang diselenggarakan dengan tujuan penelitian dalam

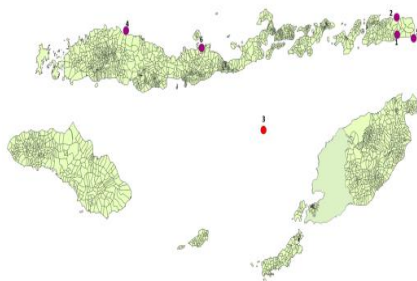
menyajikan informasi yang dibutuhkan secara aktual dan akurat.

Peta tutupan lahan daerah penelitian dijadikan patokan dan setelah dianalisis maka ada beberapa daerah yang dijadikan sampel atau titik pantau karena keadaan yang terlihat pada peta tutupan lahan itu sendiri. Warna yang dominan adalah hijau tua dan hijau muda menyimbolkan hutan dan padang rumput. Jika disekitar pantai terdapat hutan yang lebat maka hal itu baik bagi daerah tersebut, pada peta hasil pemetaan tutupan lahan ini Kecamatan Fatuleu Barat memiliki tutupan lahan yang baik di sekitaran pantainya disusul oleh Kecamatan Kupang Barat, Sulamu, Amfoang Barat laut, Amfoang Barat Daya, Amfoang Timur, Amfoang Utara dan Kupang Timur. Keterkaitan peta tutupan lahan dalam penelitian ini adalah dari peta tutupan lahan ini didapatkan salah satu indikasi daerah dapat dikatakan rawan tsunami sesuai tujuan penelitian ini yaitu jika di daerah itu memiliki sungai atau kali yang bermuara langsung di laut, yang diwakiliki oleh warna biru pada peta tutupan lahan. Sedangkan di daerah yang terindikasi itu tidak memiliki atribut penahan gelombang alami yang disimbolkan dengan warna hijau tua, yang menyatakan adanya daerah hutan atau daerah dengan pemecah gelombang sendiri sangat berperan penting dalam meredam bahaya gelombang tsunami yang sampai di bibir pantai. Selain itu, tanaman disekitar pantai juga sangat berpengaruh dalam menentukan tingkat kerawanan tsunami di suatu daerah khususnya di daerah penelitian. Hasil dari peta tutupan lahan yaitu terkhususnya sebaran warna biru yang menandakan air (kali) ditindaklanjuti dengan menjadikan daerah-daerah tersebut menjadi titik-titik fokus yang dihitung waktu kedatangan gelombangnya. Hal tersebut dilakukan karena daerah yang memiliki kali yang bermuara di pantai cukup beresiko jika gelombang tsunami sampai, dikarenakan gelombang datang memiliki akses masuk yang leluasa mengikuti alur sungai atau kali yang cenderung melengkung dan dapat menampung air. Ditambah lagi dengan tidak adanya tanaman penghalang yang berfungsi sebagai pemecah gelombang sesuai survei awal maka daerah-daerah rentan dapat mewakili masing-masing kecamatan di sisi barat daerah penelitian secara keseluruhan dijadikan titik-titik sampel untuk perhitungan. Daerah-daerah dengan tingkat kerawanan tinggi bedasarkan peta tutupan lahan yaitu Kecamatan Kupang Timur, Amfoang Timur, Amfoang Utara, Amfoang Barat Laut,

Amfoang Barat Daya, Kupang Barat, Semau Selatan, Semau, Sulamu dan Fatuleu Barat.

Peta Gempa Bumi

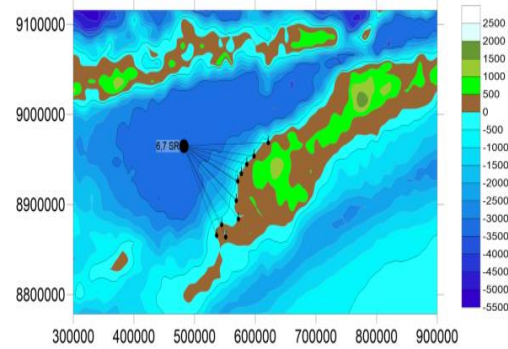
Peta tutupan lahan daerah penelitian dijadikan pedoman untuk dijadikan lokasi yang akan dihitung waktu tiba gelombang ketika terjadi gempa yang berpotensi menimbulkan tsunami. Gempa yang dijadikan titik acuan adalah gempa yang terjadi pada tanggal 23 April 2004, alasan menjadikan gempa ini sebagai sampel adalah bukan disebabkan gempa ini bukanlah satu-satunya gempa yang terjadi di sekitar daerah penelitian. Melainkan gempa ini memiliki beberapa kriteria yang dapat memicu terjadinya tsunami yaitu epicenter atau pusat gempanya berada di laut, terjadi di kedalaman 65,8 km dan memiliki magnitude 6,7 SR. Berikut ini merupakan data yang menghasilkan peta gempa yang dijadikan tolak ukur perhitungan waktu tiba gelombang tsunami dalam penelitian ini dan diperjelas menggunakan Arc GIS tertera pada Gambar 5.



Gambar 5 Peta Gempa Bumi Daerah Penelitian

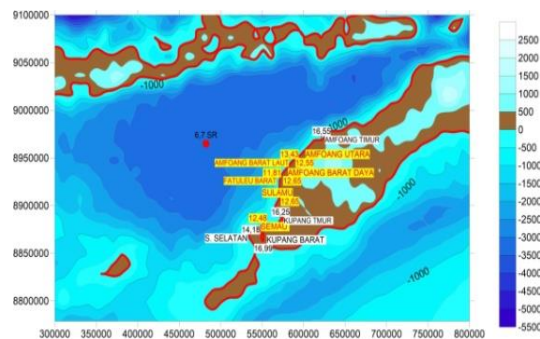
Gempa yang menjadi patokan pada penelitian ini memenuhi 3 kriteria gempa pemicu tsunami namun tidak terjadi tsunami pada gempa ini disebabkan karena jenis patahannya bukan salah satu dari jenis patahan penyebab tsunami yaitu patahan sesar naik dan sesar turun. Namun pelepasan akumulasi energi yang terjadi cukup untuk menaikkan ketinggian gelombang di daerah penelitian.

Jarak yang bervariasi ini tergantung pada posisi geografis masing-masing titik pantau yang ada, sedangkan ujung-ujung titik pantau di samakan pada titik 0 pada permukaan laut. Atau dengan kata lain, titik pantau masing-masing daerah merupakan titik terendah di daratan yang dihitung menjadi jarak dari titik sumber gempa.



Gambar 6 Peta Batimetri Kabupaten Kupang

Dari jarak masing-masing titik pantau tersebut dapat diperoleh kecepatan gelombang untuk memperkirakan waktu tiba gelombang di masing-masing titik pantau yang dihitung dan menghasilkan hasil akhir berupa kecepatan gelombang, waktu tiba gelombang dan tingkat kerawanan tertera dalam Peta Rawan Berdasarkan Estimasi Waktu Tiba Gelombang Tsunami



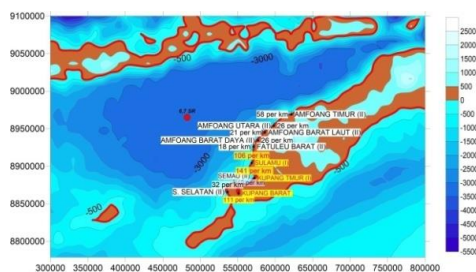
Gambar 7 Peta Rawan Berdasarkan Estimasi Waktu Tiba Gelombang Tsunami

Perhitungan kecepatan gelombang ke masing-masing titik pantau dihitung dari jarak titik pantau ke titik gempa (epicenter) menggunakan rumus $v = \sqrt{gh}$ dengan g adalah nilai gravitasi sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$ dan h merupakan kedalaman masing-masing bagian laut yang sangat bervariasi titik-titik pantau yang dihasilkan pada lampiran III (hal 72). Dari variasi kedalaman yang diperoleh dari peta batimetri didapatkan kecepatan masing-masing titik pantau dimana hasil kecepatannya semakin kecil ketika gelombang ada pada jarak terjauh dari titik gempa dan memiliki kedalaman yang minimum. Namun jika dilihat dari tabel hubungan kecepatan, panjang gelombang dan tinggi gelombang maka, semakin kecil kecepatannya pada kedalaman minimum menghasilkan tinggi gelombang yang maksimum. Karena hal demikian maka

dibutuhkan perhitungan waktu tiba gelombang di masing-masing titik pantau agar dapat dilakukan mitigasi atau evakuasi dari daerah tersebut. Perhitungan mencari estimasi waktu tiba gelombang tsunami di mana dengan gempa yang dipakai diperoleh estimasi waktu tiba gelombang dari yang paling singkat berturut-turut adalah Kecamatan Amfoang Barat Daya(11,81'), Kupang Barat (16,99'), Amfoang Barat Laut (12,55'), Fatuleu Barat (12,65'), Sulamu (12,65'), Amfoang Utara (13,43'), Kupang Timur (16,25'), Amfoang Timur (16,55'), Semau (12,48') dan Semau Selatan (14,18').

Peta Kepadatan Penduduk

Selain kerawanan tsunami yang ditinjau dari peta tutupan lahan dan estimasi waktu tiba gelombang tsunami. Sedangkan adapula tingkat kerawanan lain dari dampak tsunami yaitu, dipertimbangkannya kepadatan penduduk di masing-masing lokasi pantau yang tersebar sepanjang pesisir barat Pulau Timor yang tertera pada gambar 4.5 berikut ini



Gambar 8 Peta Rawan Dampak Tsunami Terhadap Kepadatan Penduduk

Dalam penentuan kerawanan suatu daerah sangat penting terlihat dari seberapa parah dampaknya pada kehidupan manusia yang ditandai dengan kepadatan penduduk. Dari tabel kepadatan penduduk diketahui daerah dengan kepadatan penduduk terbesar adalah Kecamatan Kupang Timur yaitu 141 per km² menempatkan Kupang Timur dalam daerah rawan terkena dampak bencana alam tsunami. Jika terjadi gempa yang mampu memicu terjadinya tsunami. Daerah selain Kupang Timur yang berada dalam daerah rawan I berikutnya adalah Kupang Barat dan Sulamu terlihat dari kepadatan penduduknya yaitu 111 dan 106 per km². Pada tingkat kerawanan sedang terjadi di daerah rawan II meliputi Kecamatan Amfoang Timur, Semau, Semau Selatan, Amfoang Utara, Amfoang Barat Daya, Amfoang Barat Laut dan Fatuleu Barat dengan kepadatan penduduk 58 per km², 48 per

km², 32 per km², 26 per km², 26 per km², 21 per km² dan 18 per km². Daerah-daerah tersebut tergolong rawan terkena dampak bencana alam tsunami, karena jika terjadi gempa yang memicu tsunami maka daerah-daerah tersebut memiliki populasi penduduk yang cukup banyak untuk segera dievakuasi pasca terjadinya bencana alam khususnya tsunami. Ditinjau dari pemicu tsunami yaitu gempa belum dapat diprediksi kejadiannya maka sangat dibutuhkan kesadaran untuk tanggap bahaya bencana alam dan penanggulangannya terkhusus dalam kasus ini berupa tsunami.

KESIMPULAN

1. Mengidentifikasi kerawanan tsunami berdasarkan peta tutupan lahan dari yang paling rawan adalah Kecamatan Kupang Timur, Amfoang Timur, Amfoang Utara, Amfoang Barat Laut, Amfoang Barat Daya, Kupang Barat, Semau Selatan, Semau, Sulamu dan Fatuleu Barat.
2. Mengidentifikasi kerawanan tsunami berdasarkan estimasi waktu tiba gelombang di mulai dari yang paling rawan yaitu Kecamatan Amfoang Barat Daya, Semau, Amfoang Barat Laut, Fatuleu Barat, Sulamu, Amfoang Utara, Semau Selatan, Kupang Timur, Amfoang Timur, dan dan Kupang Barat.
3. Berdasarkan kepadatan penduduk daerah rawan dampak tsunami adalah Kecamatan Kupang Timur, Kupang Barat, Sulamu, Amfoang Timur, Semau, Semau Selatan, Amfoang Utara, Amfoang Barat Daya, Amfoang Barat Laut dan Fatuleu Barat.

SARAN

Menyadari akan keterbatasan dalam penulisan ini, maka peneliti menyarankan sebagai berikut:

1. Untuk menggabungkan seluruh peta dengan cara *overlay* yang didahului dengan pengskoran dan pembobotan.
2. Untuk membuat peta rawan tsunami yang lebih akurat, perlu adanya penambahan parameter kerawanan tsunami seperti peta tekanan atmosfer dan peta tutupan lahan dengan resolusi yang lebih baik.
3. Perlu adanya pengembangan dan sumbangan ide dari cabang ilmu pengetahuan lain untuk menyempurnakan metode analisis daerah rawan tsunami
4. Pemerintah Kabupaten Kupang dapat mengambil tindakan mitigasi dan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan dan pengembangan wilayah secara optimal dan

berkelanjutan serta prioritas utama dalam penanganan daerah yang rawan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Trisakti, B., Carolita, I., Nur, M., 2007. *Simulasi Jakur Evakuasi Untuk Bencana Tsunami Berbasis Data Penginderaan Jauh (Studi Kasus: Kota Padang Provinsi Sumatera Barat)*, Jurnal.
2. Ardiansyah, S., 2014. *Penentuan Waktu Datang Gelombang Tsunami di Beberapa Kota Pantai Bengkulu Dalam Upaya Penyelamatan Secara Preventif Menghadapi Bencana Tsunami*. Stasiun Geofisika Kapahiang-Bengkulu.
3. Titi, Y, L, A., 2013, *Aplikasi Penginderaan Jauh Dan Sistem Informasi Geografi Untuk Pemetaan Daerah Rawan Banjir Di Kabupaten Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur*, *Skripsi Jurusan Fisika, FST UNDANA, Kupang*
4. Pramana, B, S., 2015. *Pemetaan Kerawanan Tsunami di Kecamatan Pelabuhanratu Kabupaten Sukabumi*, *Social Science Education Journal 2 (1) 76-91*
5. Soenarmo, S.H., 2003. *Penginderaan Jauh dan Pengenalan Sistem Informasi Geografi Untuk Bidang Ilmu Kebumihan*. ITB: Bandung
6. Romenah., Rahardjo, E, T., Budiastuti, U., 2008. *Sistem Informasi Geografi*, Modul Geografi, 5-13
7. Sianturi, H. L., 2010. *Pengantar Seismologi*, Departemen Pendidikan nasional Undana: Kupang.