



Deteksi Komponen Frekuensi Rendah pada Tinggi Muka Laut Akibat Pengaruh Gempa Bawah Laut di Stasiun Padang

Marcel, Ni Made Rai Ratih Cahya Perbani

Jurusan Teknik Geodesi
FTSP – Institut Teknologi Nasional, Bandung

Email: wistarinmarcel@gmail.com

Abstrak. Komponen frekuensi rendah merupakan kejadian jarang terjadi yang memiliki periode jangka panjang atau hanya terjadi sekali, termasuk pergerakan lempeng yang menimbulkan gempa bawah laut sebagai indikasi awal terjadinya tsunami, walaupun tidak semua gempa akan berpotensi menimbulkan tsunami. Gempa bawah laut dengan kekuatan 7,8 skala Richter di Perairan Kepulauan Mentawai sangat potensial mempengaruhi perilaku muka laut di sekitarnya, termasuk Stasiun Padang. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui perilaku tinggi muka air di Stasiun Padang akibat komponen frekuensi rendah berupa gempa bawah laut yang terjadi di Perairan Kepulauan Mentawai. Detiding dilakukan menggunakan analisis harmonik pada data muka laut sebulan sebelum hari gempa. Detrending dilakukan pada tinggi muka laut tanpa pasut yang masih memiliki trend menggunakan low pass filtering. Perilaku muka laut yang terjadi akibat gempa bawah laut ditandai dengan meningkatnya tinggi muka laut disertai dengan periode yang lebih singkat, walaupun tidak signifikan. Rata-rata muka laut sebelum gempa hingga terjadinya tsunami kecil mengalami kenaikan sekitar 4,5 cm dengan periode 8,7 menit lebih singkat.

Kata kunci: komponen frekuensi rendah, gempa bawah laut, detiding, detrending.

1 Pendahuluan

Menurut *Intergovernmental Oceanographic Commission* (2006) variasi tinggi muka laut dibangun oleh kontribusi dari berbagai pengaruh fisik yang memiliki periode tertentu. Komponen-komponen pembangun tinggi muka laut di antaranya adalah: gelombang gravitasi permukaan dengan periode satu hingga dua puluh detik, seiches dan tsunami dengan periode menit hingga lebih dari satu jam, pasut bertipe semidiurnal atau diurnal, pengaruh meteorologis dari beberapa hari hingga satu tahun, variabilitas tahunan dan dekade, dan trend jangka panjang pada muka laut disebabkan oleh pengaruh geologis dan klimatologis. Kekuatan dari komponen ini sangat bervariasi. Gelombang

gravitasi permukaan dapat memiliki amplitudo hingga tiga puluh meter. Tsunami cenderung kurang dari satu meter di laut dalam, tetapi mungkin beberapa meter di dekat pantai. Pasang surut relatif kecil di laut, tetapi mungkin dapat mencapai sepuluh meter di dekat pantai. *Storm surges* mungkin hanya beberapa meter di laut dangkal, sedangkan trend jangka panjang tinggi muka laut dalam orde satu milimeter per tahun.

Komponen-komponen pembangun tinggi muka laut ada yang rutin terjadi dan adapula jarang terjadi bahkan hanya satu kali. Kejadian yang rutin terjadi merupakan komponen frekuensi tinggi. Menurut Joseph (2011) yang termasuk dalam kategori ini di antaranya adalah pasang, swell, seiches lokal, storm surges, gelombang gravitasi permukaan. Gangguan atmosfer seperti angin dan tekanan udara skala kecil juga dapat menjadi komponen frekuensi tinggi. Sementara beberapa kejadian yang jarang terjadi yang memiliki periode jangka panjang atau hanya sekali terjadi seperti yang disebabkan oleh faktor geologis merupakan komponen frekuensi rendah.

Kejadian-kejadian pergerakan lempeng merupakan komponen frekuensi rendah yang tidak dapat dirasakan dengan segera. Gempa bawah laut merupakan salah satu kejadian akibat pergerakan lempeng ini dan jika terjadi gerakan dalam arah vertikal dapat menimbulkan tsunami. Tsunami umumnya bukan merupakan fenomena yang rutin terjadi sehingga tsunami merupakan salah satu komponen frekuensi rendah. Dalam *Intergovernmental Oceanographic Commission* (2006) dinyatakan bahwa tsunami merupakan rangkaian gelombang yang disebabkan oleh perubahan kolom air secara vertikal. Gempabumi, tanah longsor, letusan gunungapi, ledakan, dan juga oleh benda-benda angkasa seperti meteor dapat membangkitkan tsunami. Dari beberapa kejadian tsunami yang pernah terjadi di permukaan bumi menurut Malik (2009) hampir 90% diakibatkan oleh gempabumi di dasar laut. Dengan demikian maka terjadinya gempa bawah laut akan menjadi indikasi awal terjadinya tsunami, walaupun tidak semua kejadian gempa akan berpotensi menimbulkan tsunami.

Dari InaTEWS (2012) diinformasikan bahwa Indonesia merupakan negara yang rawan terhadap tsunami, terutama daerah-daerah pantai yang berhadapan langsung dengan pertemuan Lempeng Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik, antara lain bagian barat Pulau Sumatera, selatan Pulau Jawa, Nusa Tenggara, bagian utara Papua, Sulawesi dan Maluku, serta bagian timur Pulau Kalimantan. Dengan demikian perairan Kepulauan Mentawai merupakan bagian dari wilayah yang rawan terhadap tsunami.

Walaupun tsunami bukan kejadian rutin yang terjadi penting untuk dipelajari mengenai perilaku tinggi muka laut saat gempa bawah laut terjadi sebagai

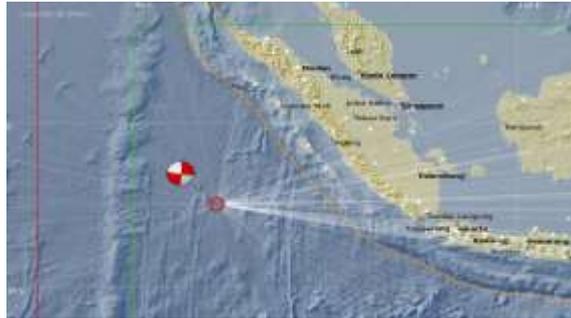
bagian dari komponen frekuensi rendah. Beberapa penelitian mengenai deteksi komponen frekuensi rendah ini termasuk tsunami di antaranya adalah penelitian Satake dkk. (2007) dan Joseph (2011) yang memisahkan tsunami dari data tinggi muka laut. Keberadaan komponen frekuensi rendah ditentukan dengan cara *detiding* pasut menggunakan high pass filtering. Joseph (2011) menentukan pasut menggunakan analisis harmonik prosedur kuadrat terkecil menggunakan TIRA yang dikembangkan oleh *Proudman Oceanographic Laboratory*, Inggris. Analisis spektral dalam metode ini digunakan untuk menentukan energi relatif komponen frekuensi rendah. Douglas dkk. (2000) menggunakan tinggi altimetri untuk menentukan perubahan muka laut dengan frekuensi sangat rendah yang merupakan trend jangka panjang. Shennan dkk. (2015) menggunakan hitungan menggunakan data tinggi muka laut dua puluh hari untuk pasut mencapai kesetimbangan dan menggunakan analisis spektral untuk memisahkan gelombang-gelombang pasut. Jika menggunakan gelombang pasut yang lebih banyak maka diperlukan data paling tidak dua ratus hari.

Dalam penelitian ini akan dilakukan pendeteksian komponen frekuensi rendah akibat gempa bawah laut di Perairan Kepulauan Mentawai, walaupun tsunami tidak terjadi dengan tinggi muka laut yang tinggi sampai puluhan meter, namun menurut Ma'muri (2016) Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) menyatakan tsunami kecil terjadi di Pulau Cocos dan Padang. Perilaku tinggi muka laut saat terjadinya gempa bawah laut akan dianalisis menggunakan metode Joseph (2011). Analisis dilakukan pada lokasi yang mungkin terkena pengaruh gempa bawah laut. Menurut Sugito (2008) tsunami bergerak ke segala penjuru dari daerah asalnya, dengan arah tenaga pergerakan utama umumnya ortogonal terhadap arah zona retak gempabumi. Dengan demikian pada penelitian ini akan dianalisis perilaku tinggi muka laut di Stasiun Padang yang merupakan salah satu dari beberapa stasiun yang memiliki kemungkinan terkena dampak gempa bawah laut di Perairan Kepulauan Mentawai. Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai bagaimana mengenali pola tinggi muka laut yang disebabkan oleh gempa bawah laut sehingga dapat memberikan informasi mengenai tingkat bahaya yang terjadi bagi sistem peringatan dini.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku tinggi muka laut di Stasiun Padang akibat komponen frekuensi rendah berupa gempa bawah laut yang terjadi di Perairan Kepulauan Mentawai. Manfaat dari penelitian mengenai deteksi komponen frekuensi rendah pada tinggi muka laut akibat pengaruh gempa bawah laut adalah sebagai kajian untuk mengetahui perilaku tinggi muka laut saat terjadi gempa bawah laut untuk dapat dinilai tingkat bahaya yang ditimbulkan sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi sebagai masukan dalam pertimbangan sistem peringatan dini untuk mitigasi bencana yang diakibatkan oleh gempa bawah laut, di antaranya adalah tsunami.

2 Metodologi

Pada tanggal 2 Maret 2016 terjadi gempa bawah laut yang terletak di Perairan Kepulauan Mentawai di bagian barat daya Sumatera dengan koordinat $4,91^{\circ}$ LS dan $94,31^{\circ}$ BT di mana lokasi gempa dapat dilihat pada Gambar 1



Sumber: BMKG (2018)

Gambar 1 Lokasi Gempa Bawah Laut di Perairan Kepulauan Mentawai

Data tinggi muka laut Stasiun Padang yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari *Intergovernmental Oceanographic Commission* (2018) yang diunduh dari *website* <http://ioc-sealevelmonitoring.org/>. Data yang digunakan adalah data tinggi muka laut tiga puluh hari sebelum terjadi gempa bawah laut sampai dengan di hari terjadinya gempa. Adapun rentang data yang digunakan, yaitu dari tanggal 1 Februari 2016 sampai dengan 2 Maret 2016. Sampel data tinggi muka laut Stasiun Padang dapat dilihat pada Tabel 1.

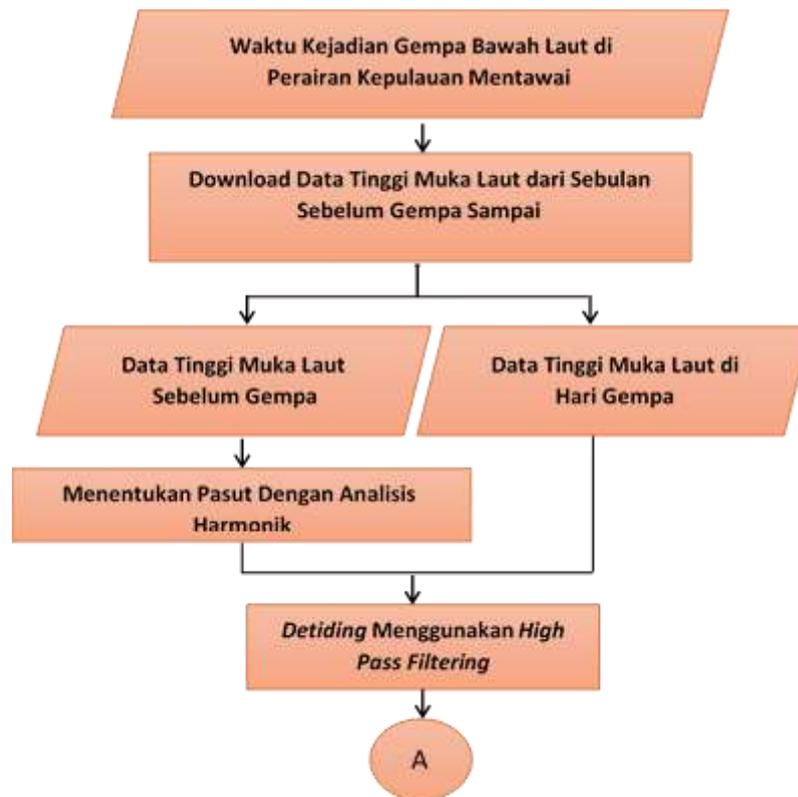
Tabel 1 Sampel Data Tinggi Muka Laut Stasiun Padang

Tide gauge at Padang						
Time (UTC)	bat(V)	enc(m)	prs(m)	rad(m)	sw1(min)	sw2(min)
2/1/2016 0:00			2.814			
2/1/2016 0:01			2.819	5.758		
2/1/2016 0:02			2.826			
2/1/2016 0:03			2.839			
2/1/2016 0:04	14.2	4.017	2.845	5.766	0	60
2/1/2016 0:05			2.853			
2/1/2016 0:06			2.854			
2/1/2016 0:07			2.857	5.775		
2/1/2016 0:08			2.857			
2/1/2016 0:09			2.857			

Sumber: *Intergovernmental Oceanographic Commission* (2018)

Data tinggi muka laut (dalam satuan meter) yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari alat ukur *pressure (prs) gauge* dengan interval pengambilan data satu menit dalam sistem waktu *Universal Time Coordinated (UTC)*.

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian mengenai deteksi komponen frekuensi rendah pada tinggi muka laut akibat pengaruh gempa bawah laut di perairan Kepulauan Mentawai ini didasarkan pada penelitian Joseph (2011) seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.





Gambar 2 Metodologi Penelitian

Adapun batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut: (1) Kualifikasi data tinggi muka laut tidak dilakukan, karena data yang digunakan merupakan jenis kualitas riset Intergovernmental Oceanographic Commission; (2) Gelombang pasut yang digunakan untuk analisis harmonik adalah gelombang yang memiliki densitas energi tinggi, yaitu: M_2 , S_2 , K_1 , O_1 , M_3 , S_3 , M_4 , MS_4 , M_6 , dan $2MS_6$ (Intergovernmental Oceanographic Commission, 2006); (3) Analisis harmonik menggunakan prosedur kuadrat terkecil; (4) Komponen frekuensi tinggi yang dipertimbangkan hanya pasut dan komponen frekuensi rendah selain oleh gempa bawah laut diabaikan.

3 Hasil dan Pembahasan

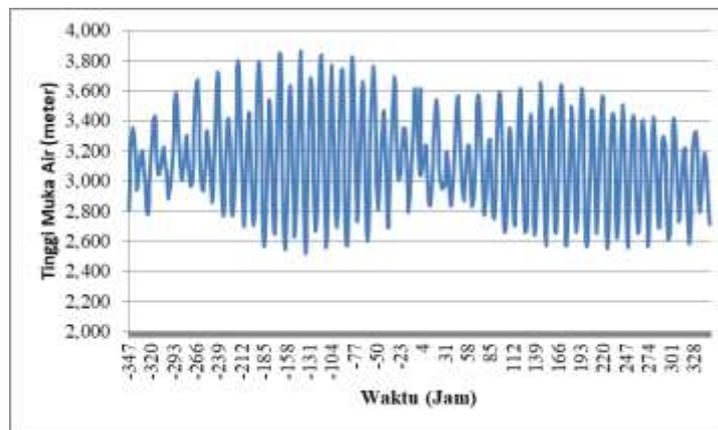
3.1 Analisis Harmonik

Analisis harmonik pasut diawali dengan asumsi bahwa suku-suku gaya astronomis dapat diwakili oleh sejumlah suku-suku harmonik yang memiliki

kecepatan sudut yang berbeda (Johns, 1983). Pasut dibangun oleh konstanta-konstanta pasut yang dibangkitkan oleh gaya pembangkit pasut terutama oleh bulan dan matahari yang memiliki kecepatan sudut yang berbeda-beda. Dalam analisis harmonik artinya tinggi muka laut diasumsikan hanya dipengaruhi oleh pasut. Dengan demikian menurut Levin dkk. (2016) untuk memisahkan pasut dari data tinggi muka laut (detiding) dapat digunakan analisis harmonik. Dalam penelitian ini digunakan analisis harmonik prosedur kuadrat terkecil seperti pada penelitian Joseph (2011).

Stasiun pengukuran muka laut yang dipertimbangkan dalam penelitian ini, yaitu Stasiun Padang. Data di stasiun ini diteliti berdasarkan informasi dari BMKG adanya tsunami kecil yang terjadi akibat gempa bumi 8,3 SR di Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat pada hari Rabu, 2 Maret 2016.

Data yang dianalisis harmonik merupakan data selama tiga puluh hari yang memiliki karakteristik tertentu. Adapun karakteristiknya adalah tidak terjadi gempa untuk melihat pasut dalam keadaan normal. Alasan digunakan data tiga puluh hari karena pasut sudah dianggap mencapai kesetimbangan karena menurut Shennan dkk. (2015) untuk mencapai kesetimbangan cukup menggunakan hitungan data tinggi muka laut dua puluh hari. Konstanta pasut yang digunakan, yaitu M_2 , S_2 , K_1 , O_1 , M_3 , S_3 , M_4 , MS_4 , M_6 , dan $2MS_6$. Menurut *Intergovernmental Oceanographic Commission* (2006) sepuluh konstanta yang digunakan merupakan konstanta yang memiliki densitas energi yang tinggi. Data tinggi muka laut selama tiga puluh hari sebelum terjadi gempa di Perairan Mentawai, yaitu tiga puluh hari sebelum tanggal 2 Maret 2016 dapat dilihat pada Gambar 3.

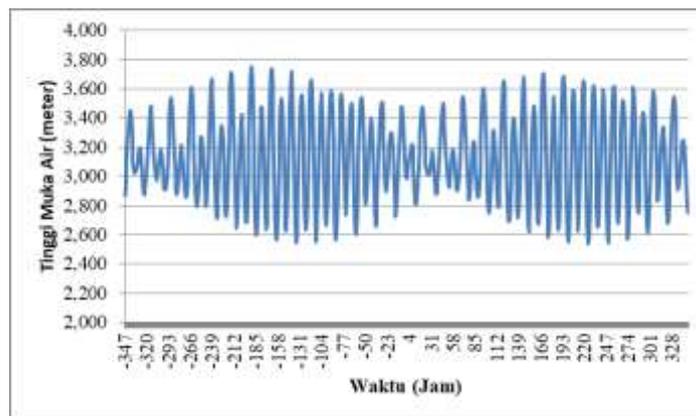


Keterangan: Waktu tengah pengamatan tanggal 16 Februari 2016 jam 11 UTC

Sumber: *Intergovernmental Oceanographic Commission* (2018)

Gambar 3 Data Tinggi Muka Laut Tiga Puluh Hari di Stasiun Padang

Hasil analisis harmonik pasut merupakan model tinggi muka laut yang disebabkan oleh pasut yang memiliki tipe pasut campuran condong ke semidiurnal. Rekonstruksi berdasarkan model tinggi muka laut yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.



Keterangan: Waktu tengah pengamatan tanggal 16 Februari 2016 jam 11 UTC

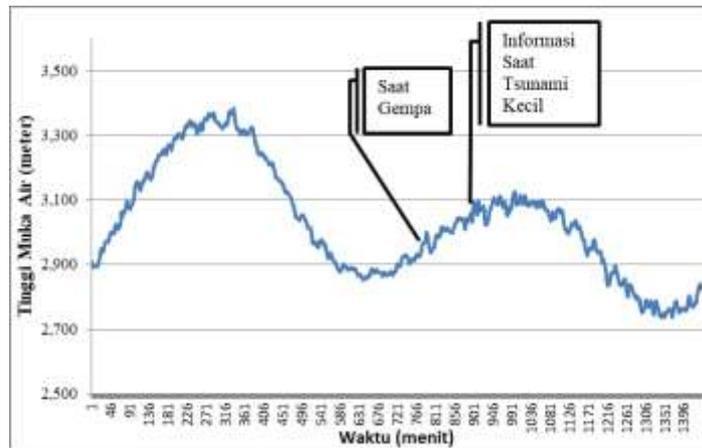
Gambar 4 Rekonstruksi Tinggi Muka Laut oleh Pasut di Stasiun Padang

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 hasil rekonstruksi data tiga puluh hari Stasiun Padang yang dihasilkan memiliki *trend* yang mirip. Menurut Sugiyono (2004) koefisien korelasi bernilai 1 menandakan hubungan yang kuat positif. Data dan hasil rekonstruksi memiliki nilai koefisien sebesar 0,95 mendekati 1 sehingga dikatakan memiliki hubungan kuat positif dan juga mengindikasikan bahwa model yang dihasilkan telah 95% mewakili data. Dengan demikian model yang diperoleh layak digunakan untuk proses *detiding*.

3.2 *Detiding*

Tujuan utama dari *detiding* adalah untuk menghilangkan fluktuasi pasut dalam data yang direkam (Consoli dkk., 2014). Pasut merupakan fenomena yang rutin terjadi di mana menurut Joseph (2011) merupakan bagian dari komponen frekuensi tinggi. Karena yang akan dibahas pada penelitian ini adalah komponen frekuensi rendah maka perlu dilakukan proses *detiding*. Data yang digunakan adalah data pada hari terjadinya gempa di Perairan Kepulauan

Mentawai pada tanggal 2 Maret 2016 yang diperkirakan ada pengaruh komponen frekuensi rendah pada data tersebut. Gambaran mengenai kondisi tinggi muka laut pada hari terjadinya gempa tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. Paling tinggi 3,385 meter dan paling rendah 2,736 meter sehingga memiliki tunggang air 0,649 meter.



Keterangan: Menit ke-1 adalah 349 jam dari waktu tengah pengamatan tanggal 16 Februari 2016 jam 11 UTC

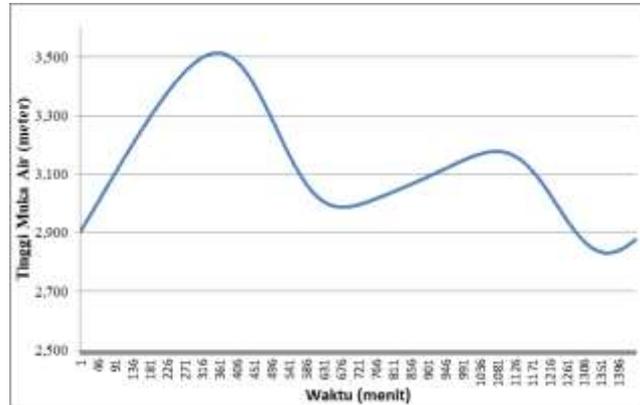
Sumber: *Intergovernmental Oceanographic Commission* (2018)

Gambar 5 Tinggi Muka Laut di Stasiun Padang Saat Terjadi Gempa

Akibat gempabumi yang bersumber di Samudra Hindia tanggal 2 Maret 2016 ini berdasarkan catatan *tide gauge* yang berada di Pelabuhan Pantai Padang mencatat adanya perubahan muka air laut karena gempabumi ini hanya tercatat lima sentimeter hal ini sesuai *level warning* pemodelan tsunami dari BMKG yang mengeluarkan warning waspada untuk pantai Barat Sumatera Barat (0-50cm), dan di Cocos (Australia) tercatat 10 cm (Ma'muri, 2016). Tsunami kecil di Stasiun Padang ini menurut Said (2016) terjadi pada pukul 21.40 WIB. Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa tidak ada perubahan ekstrem dari tinggi muka laut pengamatan baik pada saat terjadi gempa maupun di waktu yang diinformasikan terjadinya tsunami kecil. Dari segi tinggi muka laut tidak terlihat adanya perubahan baik dari sebelum dan saat terjadi gempa, maupun saat terjadi tsunami kecil. Untuk melihat kondisi lebih detail lagi maka dicoba untuk memisahkan pasut dari data tersebut.

Informasi pasut pada data tinggi muka laut saat terjadi gempa di Perairan Kepulauan Mentawai tanggal 2 Maret 2016 di Stasiun Padang dibangun

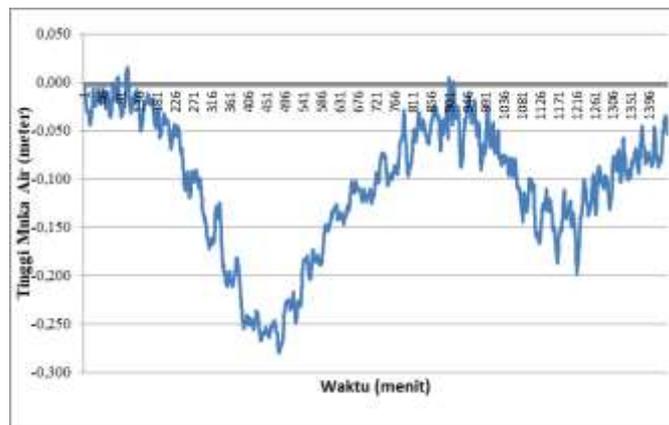
menggunakan model matematika yang dihasilkan dari analisis harmonik. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6.



Keterangan: Menit ke-1 adalah 349 jam dari waktu tengah pengamatan tanggal 16 Februari 2016 jam 11 UTC

Gambar 6 Pasut di Stasiun Padang Saat Terjadi Gempa

Dari Gambar 5 dapat dilihat adanya riak-riak kecil yang beresilasi pada pasut seperti pada Gambar 6. Pasut tersebut akan dipisahkan dari data pengamatan tinggi muka laut. Memisahkan pasut dari data dilakukan dengan cara mengurangkan pasut dari data yang oleh Levin dkk. (2016) dikatakan sebagai aplikasi *high pass filtration* sederhana di dalam proses *detiding*. Hasil dari proses *detiding* ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Keterangan: Menit ke-1 adalah 349 jam dari waktu tengah pengamatan tanggal 16 Februari 2016 jam 11 UTC

Gambar 7 Tinggi Muka Laut Hasil *Detiding* di Stasiun Padang Saat Terjadi Gempa

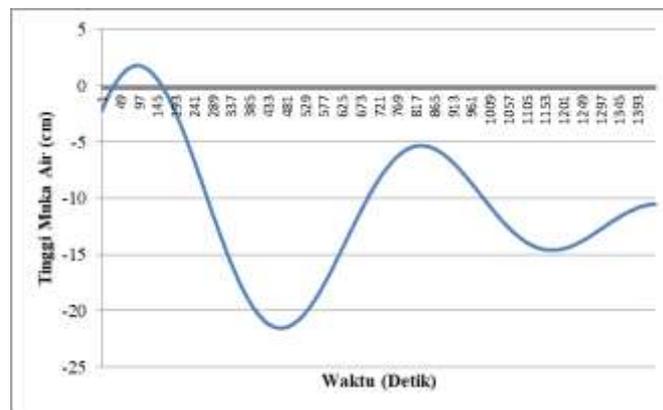
Dengan mengurangi model pasut dari data pengamatan tinggi muka laut akan didapatkan sinyal tsunami yang telah dihilangkan pasutnya, namun perlu dicatat bahwa aplikasi *high pass filtration* pada *detiding* belum tentu akan memberikan jawaban yang memuaskan untuk semua kasus (Levin dkk., 2016). Masalah ini terlihat pula dari hasil penelitian ini. Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa tinggi muka laut hasil *detiding* masih beresilasi pada *trend* tertentu sehingga hasil *detiding* ini belum dapat digunakan untuk analisis komponen frekuensi rendah. *Trend* yang terjadi terlihat memiliki pola periodik di mana terjadi dua puncak dan dua lembah dengan lembah kedua tidak sama tinggi dengan lembah pertama. *Trend* ini terlihat berkaitan dengan tipe pasut di Stasiun Padang yang bersifat campuran condong ke semidiurnal. Sifat pasut ini tidak dapat dicakup oleh proses analisis harmonik dengan panjang data yang hanya satu bulan. Jika dilihat dari kejadian puncak dan lembah maka periode gelombangnya diperkirakan semidiurnal. Namun, karena bersifat campuran maka diperlukan lebih dari satu gelombang untuk memodelkan *trend* tersebut. Untuk menganalisis sifat komponen frekuensi rendah maka hasil *detiding* masih perlu dilakukan proses *detrending*.

3.3 *Detrending*

Menurut Parker (2007) jika data pengamatan pasut sangat pendek, misalnya kurang dari lima belas hari, metode harmonik menghasilkan residual yang mungkin tidak cukup berhasil menghilangkan energi pasang surut. Semakin pendek data pengamatan semakin sedikit konstanta harmonik yang dapat digunakan untuk membuat prediksi sehingga energi dari konstanta yang belum terpecahkan masuk dalam energi dari konstanta yang sudah terpecahkan dan meskipun konstanta harmonik yang keluar dari analisis harmonik data pendek mungkin tidak memberikan hasil yang baik untuk memprediksi periode waktu lain. Seri *detiding* ini masih memiliki energi frekuensi *nontidal* yang lebih tinggi, tetapi kemudian dapat dihilangkan dengan cara *filtering*. Dalam penelitian ini telah digunakan data satu bulan untuk analisis harmonik pasut, namun ternyata masih ada *trend* yang menyerupai pasut sehingga energi pasut masih ada di dalam data hasil *detiding* sehingga masih diperlukan proses *detrending*.

Detrending adalah proses menghilangkan *trend* dari data deret waktu dalam rangka memastikan kestasioneran data (Yan, 2015). *Detrending* pada dasarnya

hampir sama dengan proses *detiding*, hanya saja pada proses *detrending* yang dihilangkan dari data bukan pasut, tapi bisa *trend* jenis apapun. Untuk memodelkan *trend* digunakan gelombang dengan periode semidiurnal. Gelombang yang digunakan adalah gelombang l_2 dan OQ_2 . Analisis harmonik yang dilakukan bukan dimaksudkan untuk analisis pasut karena panjang data yang hanya satu hari sangat tidak cukup untuk mengatasi masalah *aliasing*. Untuk memisahkan kedua gelombang tersebut minimal dibutuhkan waktu tujuh hari. Hasil model *trend* yang digunakan di sini adalah untuk menghilangkan bidang osilasi gelombang-gelombang beramplitudo kecil. Hasil dari model *trend* dapat dilihat pada Gambar 8.



Keterangan: Menit ke-1 adalah 349 jam dari waktu tengah pengamatan tanggal 16 Februari 2016 jam 11 UTC

Gambar 8 Model *Trend* di Stasiun Padang Saat Terjadi Gempa

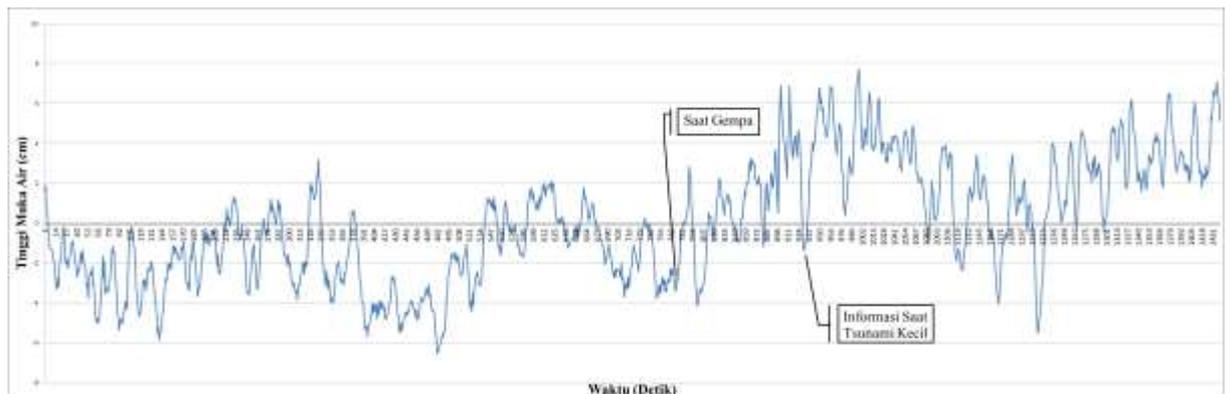
Hasil *detrending* pada tinggi muka laut hasil *detiding* akan digunakan untuk analisis komponen frekuensi rendah.

3.4 Analisis Komponen Frekuensi Rendah

Pada hari Rabu, 2 Maret 2016 gempa besar dengan kekuatan 8,3 skala Richter mengguncang Kepulauan Mentawai pada pukul 19.49 WIB. Namun, kekuatan gempa kemudian direvisi menjadi 7,8 skala Richter. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) menyebut pusat gempa berada di 682 km barat daya Kepulauan Mentawai, posisi episenter gempa terletak di kerak samudera Lempeng Indo-Australia tepatnya di zona Cekungan Wharton (*Wharton Basin*), di kedalaman 10 km, dan berpotensi memicu tsunami. Pulau-pulau di Mentawai sesungguhnya adalah dasar laut yang muncul di permukaan

karena adanya tumbukan lempeng-lempeng bumi. Lempeng bumi itu masih akan terus bertumbukan yang kemudian menimbulkan gempa berpotensi tsunami (Mahbub, 2006). Menurut Heidarzadeh dkk. (2017) di Cekungan Wharton terjadi gempa besar akibat patahan *strike-slip* pada tahun 1928 (7,7 skala Richter), tahun 1949 (6,8 skala Richter), tahun 2000 (7,9 skala Richter) dan tahun 11 april 2012 (8.6 dan 8.2 skala Richter dengan interval sekitar dua jam). Gempa *intraplate* di Cekungan Wharton merupakan gempa yang jarang terjadi karena selama ini di Cekungan Wharton dapat dikatakan sebagai zona *aseismic* atau zona stabil dari aktivitas kegempaan (Raharjo dkk., 2018).

Gempa bawah laut yang terjadi di Perairan Kepulauan Mentawai bukanlah fenomena yang rutin terjadi jika ditinjau berdasarkan informasi dari Heidarzadeh dkk. (2017) dan Raharjo dkk. (2018) yang mana kejadiannya dengan selang waktu yang tidak seragam dengan fraksi belasan dan puluhan tahun. Dengan demikian fenomena ini dapat dikatakan sebagai salah satu komponen frekuensi rendah. Untuk mengetahui perilaku tinggi muka laut di Stasiun Padang akibat gempa bawah laut di Perairan Kepulauan Mentawai ini digunakan tinggi muka laut hasil *detrending* pada saat gempa terjadi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 9.



Keterangan: Menit ke-1 adalah 349 jam dari waktu tengah pengamatan tanggal 16 Februari 2016 jam 11 UTC

Gambar 9 Tinggi Muka Air Hasil *Detrending* di Stasiun Padang Saat Terjadi Gempa

Dari Gambar 9 secara umum dapat dilihat bahwa dibandingkan saat sebelum gempa terjadi kenaikan muka laut dua jam setelah gempa terjadi meskipun hanya beberapa sentimeter. Rata-rata muka laut sebelum terjadi gempa adalah -1,88 cm, saat terjadi gempa sampai dengan terjadinya tsunami kecil meningkat

menjadi 0,02 cm, dan saat terjadi tsunami kecil menjadi 2,58 cm. Rata-rata muka laut saat terjadi tsunami kecil meningkat 4,45 cm atau sekitar 5 cm dibandingkan saat belum terjadi gempa. Sejalan dengan informasi BMKG dalam Said (2016) yang menyatakan bahwa tsunami kecil terjadi dengan tinggi 5 cm. Gempa bawah laut di Perairan Kepulauan Mentawai menjadikan meningkatnya muka laut setinggi 5 cm.

Berdasarkan Gambar 9 dapat juga dilihat terjadi puncak-puncak gelombang dengan periode lebih singkat dibandingkan sebelum terjadinya tsunami kecil, yaitu dengan rata-rata 6,7 menit. *Intergovernmental Oceanographic Commission* (2016) menyatakan bahwa periode tsunami adalah dalam fraksi menit sampai dengan jam. Dengan demikian kondisi ini dapat dikatakan memenuhi kriteria periode tsunami. Dalam kondisi normal periode puncak-puncak gelombang rata-ratanya sekitar 15,4 menit. Jadi, berdasarkan Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa tsunami kecil ditandai dengan meningkatnya tinggi muka laut dan periode yang lebih singkat, walaupun di Stasiun Padang ini tidak sampai menimbulkan bahaya.

Menurut *Intergovernmental Oceanographic Commission* (2016) tsunami berkelakuan sebagai gelombang perairan dangkal dan merambat dengan kecepatan akar dari perkalian percepatan gravitasi dan jarak. Untuk laut dengan kedalaman 4.000 meter tsunami dapat merambat sekitar 200 km/jam sampai lebih dari 700 km/jam. Kejadian tsunami kecil yang diinformasikan terjadi dua jam setelah gempa. Adapun lokasi gempa yang diteliti berkoordinat $4,91^{\circ}$ LS dan $94,31^{\circ}$ BT, sedangkan Stasiun Padang berkoordinat $0,95^{\circ}$ LS dan $100,37^{\circ}$ BT. Jarak antar lokasi gempa dengan Stasiun Padang sejauh 803,795 kilometer. Kedalaman lokasi gempa di Perairan Kepulauan Mentawai yang terletak di Samudra Indonesia dengan kedalaman 4.000 s.d. 5.000 meter. Dengan demikian diperkirakan kecepatan gelombang gempa lebih kurang 400 km/jam seperti kriteria kecepatan merambatnya tsunami.

4 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini adalah: (1) rata-rata muka laut sebelum terjadi gempa hingga terjadi tsunami kecil mengalami kenaikan sekitar 4,5 cm, sedangkan periode gelombang mengalami peningkatan sekitar 8,7 menit; (2) perilaku muka laut yang terjadi akibat gempa bawah laut ditandai dengan meningkatnya tinggi muka laut dan periode yang lebih singkat walaupun tidak signifikan. Adapun kenaikan muka laut di Stasiun Padang yang terjadi hanya dalam fraksi sentimeter relatif lebih kecil dibandingkan dengan kenaikan muka laut oleh pasut berupa tunggang air sebesar 0,649 meter.

5 Daftar Pustaka

- BMKG. (2018). Data Gempa Bawah Laut Perairan Mentawai. Dipetik 10 April 2018 dari <http://www.bmkg.go.id/>
- Consoli, S, Diego R.R, Vanni, Z. (2013). A Survey On Tidal Analysis And Forecasting Methods For Tsunami Detection. National Research Council (CNR), Institute of Cognitive Sciences and Technologies, Via Gaifami 18 - 95028 Catania, Italy.
- Douglas, B., Kearney, M.T., Leatherman, S.P. (2000). Sea Level Rise: History and Consequences. Academic Press, California.
- Heidarzadeh, M., Harada T., Satake K., Ishibe T., dan Takagawa T. 2017. Tsunamis from strike-slip earthquakes in the Wharton Basin northeast Indian Ocean: March 2016 Mw 7.8 event and its relationship with the April 2012 Mw 8.6 event. *Geophys. J. Int.*
- InaTEWS. (2012). Pedoman Pelayanan Peringatan Dini Tsunami. Dipetik 12 Agustus 2016 dari <http://www.gitews.org/tsunami-kit/id/E3/InaTEWS.pdf>
- Intergovernmental Oceanographic Commission. (2006). Manual and Guides 14: Manual on Sea Level (Measurement and Interpretation). Volume IV: An Update to 2006, JCOMM Technical Report No. 31 WMO/TD. No. 1339, UNESCO
- Intergovernmental Oceanographic Commission. (2018). Sea Level Station Monitoring Facility. Dipetik April 2018 dari <http://www.iocsealevelmonitoring.org>.
- Johns, B. (1983). Physical Oceanography of Coastal and Shelf Seas. Elsevier Science Publisher B. V., Amsterdam
- Joseph. (2011). Tsunamies: Detection, Monitoring, and Early Warning Technologies. Elsevier, Inc.
- Levin, B. W. Dan Nosov, M. A. (2016). Physics of Tsunami, Second Edition. Springer International Publishing, A.G. Switzerland
- Mahbub, H. (2016). Ramalan dan Siklus Gempa 200 Tahunan Mentawai. Dipetik 30 Juli 2018 dari <https://www.liputan6.com/global/read/2449811/ramalan-dan-siklus-gempa-200-tahunan-mentawai>
- Malik, Y. (2009). Gempa Bumi dan Tsunami. Bandung: Buana Nusantara.
- Ma'muri. 2016. Kejadian Gempabumi Wilayah Sumatera Barat Periode Tahun 2016 dan Evaluasinya. Seksi Data Dan Informasi Sta. Geof. Kelas I

Silaing Bawah - Padang Panjang, Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika.

- Parker, B.B. (2007). *Tidal Analysis and Prediction*. National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, Maryland.
- Raharjo, F. D., Triyono R., dan Syafriani. (2018). *Mengenal Tatanan Tektonik dan Kegempaan Cekungan Wharton (Wharton Basin) di Samudera Hindia*.
- Said, S. M. (2016). Ternyata Ada Tsunami Akibat Gempa Mentawai 8,3 SR. *Sindonews.com*. Dipetik 1 Agustus 2018 dari <https://daerah.sindonews.com/read/1089966/174/ternyata-ada-tsunami-akibat-gempa-mentawai-83-sr-1456936029>
- Shennan, I., Long, A. J., Horton, B. P. (2015). *Handbook of Sea Level Research*. John Wiley and Sons, UK.
- Satake, K., Okal, A.E., Borrero, J.C. (2007). *Tsunami and its Hazards in the Indian and Pacific Oceans*. Birkhauser Verlag A. G., Basel, Boston, Berlin.
- Sugito, N.T., (2008). *Tsunami*. Jurusan Pendidikan Geo-grafi. Fakultas Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial. Universitas Indonesia.
- Sugiyono. (2004). *Metode Penelitian Bisnis*. Alfabeta, CV. Bandung.
- Yan, J. (2015). *Machinery Prognostics and Prognosis Oriented Maintenance Managements*. John Wiley & Sons, Singapore Pte. Ltd.