

Penentuan Nilai v_p/v_s Provinsi Bali: Kasus Gempabumi Bali 22 Maret 2017

Determination of v_p/v_s on Bali Province: Case of Bali Earthquake March 22, 2017

Febi Niswatul Auliyah¹, Komang Ngurah Suarbawa¹, Indira²

¹Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia 80361

²Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah 3 Denpasar

Email: niswatul.auliyah@student.unud.ac.id; *suarbawa@unud.ac.id

Abstrak - Telah diteliti perbandingan kecepatan gelombang P dan kecepatan gelombang S di wilayah Provinsi Bali dengan menggunakan studi kasus gempabumi pada tanggal 22 Maret 2017. Penelitian difokuskan untuk mengetahui apakah ada anomali nilai v_p/v_s sebelum dan sesudah gempabumi. Data gempabumi didapatkan dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Wilayah III Denpasar, yang terdiri dari gempabumi utama pada tanggal 22 Maret 2017 dan data gempabumi pada bulan Agustus 2016 sampai Mei 2017. Data diolah dengan menggunakan metode diagram wadati, diperoleh bahwa nilai v_p/v_s pada stasiun SRBI, IGBI, DNP dan RTBI adalah sebesar 1,5062 sampai 1,8261. Sebelum terjadi gempabumi ditemukan anomali nilai v_p/v_s pada keempat stasiun tersebut, yaitu pada stasiun SRBI sebesar 10,35%, pada stasiun IGBI sebesar 16,16%, pada stasiun DNP sebesar 12,27% dan pada stasiun RTBI sebesar 4,62%.

Kata kunci: Prekursor, anomali, nilai v_p/v_s , Diagram Wadati, gempabumi.

Abstract – P-wave velocity and S-wave velocity have been investigated in the Bali Province by using earthquake case studies on March 22, 2017. The study was focused on finding out whether there were anomalies in the values of v_p/v_s before and after the earthquake. Earthquake data was obtained from the Meteorology, Climatology and Geophysics Agency (BMKG) Region III Denpasar, which consisted of the main earthquake on March 22, 2017 and earthquake data in August 2016 to May 2017. Data was processed using the wadati diagram method, obtained that the v_p/v_s on SRBI, IGBI, DNP and RTBI stations are shifted from 1.5062 to 1.8261. Before the earthquake occurred the anomaly of the value of v_p/v_s was found on the four stations, at the SRBI station at 10.35%, at the IGBI station at 16.16%, at DNP station at 12.27% and at RTBI station at 4.62%.

Keywords: Precursor, anomaly, value v_p/v_s , Wadati Diagram, earthquake.

1. Pendahuluan

Indonesia terletak pada jalur pertemuan tiga lempeng tektonik utama yaitu lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara, lempeng Eurasia yang bergerak ke selatan dan lempeng Pasifik yang bergerak ke barat [1]. Akibatnya Indonesia merupakan salah satu wilayah yang tingkat kegempaanannya sangat tinggi.

Salah satu wilayah di Indonesia yang berpotensi tingkat kegempaanannya tinggi adalah wilayah Provinsi Bali. Ini disebabkan oleh adanya subduksi lempeng Indo-Australia di selatan pulau Bali yang bergerak menunjam terhadap lempeng Eurasia. Hasil rekap data pemantauan gempabumi di Bali dari tahun 2009 sampai 2014, rata-rata dalam sehari terjadi 5 sampai 10 kali gempabumi dengan kedalaman dan kekuatan yang bervariasi. Dalam setahun terjadi gempabumi sebanyak 1000 sampai 2000 dengan gempa merusak sebanyak 60 kali.

Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, gempabumi terkini di wilayah Provinsi Bali yaitu terjadi pada tanggal 22 Maret 2017 dengan magnitudo sebesar 5,6 skala richter. Gempabumi ini berpusat di 8,79° LS dan 115,19° BT dengan kedalaman 122 km pada pukul 07:10:27 WITA. Getaran gempabumi ini dirasakan di sebagian wilayah Provinsi Bali, Jawa Timur dan Nusa Tenggara Barat.

Analisis perhitungan nilai kecepatan gelombang P (v_p) dan kecepatan gelombang S (v_s) yang terjadi sebelum dan sesudah gempabumi adalah untuk mengetahui apakah ada indikasi anomali perubahan v_p/v_s menjelang gempabumi. Pada tulisan ini, penulis hanya menganalisis besarnya nilai v_p/v_s setiap bulannya dimulai dari bulan Agustus 2016 sampai Februari 2017 sebagai bulan sebelum terjadinya gempabumi, bulan Maret 2017 saat terjadi gempabumi dan bulan April 2017 sampai Mei 2017 sebagai bulan sesudah gempabumi.

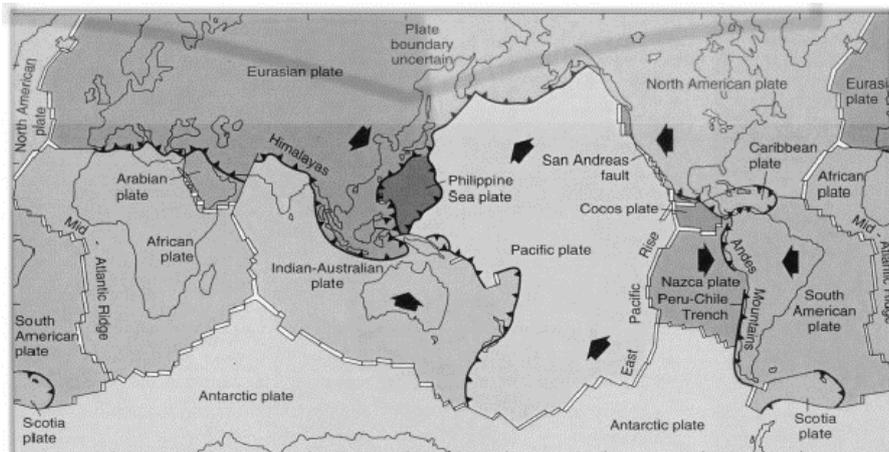
2. Landasan Teori

2.1 Pengertian gempabumi

Gempabumi tektonik merupakan peristiwa bergetarnya bumi karena adanya pelepasan energi di dalam bumi secara mendadak akibat patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Pengaruh gempabumi tektonik dirasakan

dipermukaan bumi sampai batas radius tertentu, luas daerah yang terkena pengaruh bergantung pada besarnya energi yang dilepaskan dan posisi sumber gempa [2].

Menurut teori pergerakan lempeng tektonik yang ditunjukkan pada Gambar 1, bagian luar kulit bumi tersusun dari beberapa lempeng tektonik yang saling bergerak. Pada lapisan paling atas merupakan lapisan litosfer yang bersifat kaku dan memiliki bentuk yang terpisah-pisah karena dari sifat kekakuannya tersebut tidak dapat bertahan dari getaran-getaran bumi yang bergerak secara terus-menerus. Litosfer memiliki ketebalan sekitar 15 km di bawah samudera dan sampai 80 km di daratan. Dibawah litosfer terdapat lapisan astenosfer yang berbentuk padat dan materialnya dapat bergerak karena adanya perbedaan tekanan yang disebabkan oleh adanya arus konveksi yang terjadi di dalam bumi [3].



Gambar 1. Lempeng-lempeng tektonik dunia [4].

Jika dua buah lempeng bertumbukan pada perbatasan dua lempeng salah satu lempeng akan menyusup ke bawah lempeng lainnya kemudian masuk ke bawah lapisan astenosfer. Pada umumnya lempeng samudra akan menyusup ke bawah lempeng benua karena lempeng samudra memiliki densitas yang lebih besar dibandingkan lempeng benua. Pada saat tumbukan terjadi peningkatan tegangan, apabila tegangan semakin membesar hingga melewati kekuatan kulit bumi mengakibatkan adanya patahan kulit bumi pada daerah yang terlemah. Kulit bumi yang patah melepaskan energi sebagian atau seluruhnya untuk kembali ke keadaan semula. Peristiwa pelepasan energi ini merupakan peristiwa gempabumi [3].

2.2 Prediksi gempabumi

Prediksi gempabumi yaitu kegiatan meramalkan kejadian gempabumi dimasa yang akan datang. Kegiatan tersebut sangat mengandung resiko sosial dibandingkan dengan ramalan cuaca. Menurut teoritis, sebelum terjadi gempabumi biasanya akan terjadi perubahan parameter secara fisis yang disebut precursor gempabumi [4].

Scholz, dkk tahun 1973 mengungkapkan bahwa, untuk memprediksi gempabumi dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, yaitu menggunakan teori v_p/v_s , resistivitas listrik (*electrical resistivity*), kenaikan air tanah (*rate of flow water*) Pengukuran Geodetik (*Geodetic Measurements*) dan jumlah kejadian seismik (*number of seismic events*) [5]:

a. Teori v_p/v_s

Teori ini merupakan perbandingan perubahan kecepatan gelombang P (v_p) dan kecepatan gelombang S (v_s) atau v_p/v_s . Dalam kejadian gempabumi perubahan v_p/v_s dapat diamati dan dihitung menggunakan diagram wadati. Untuk mengamati perubahan v_p/v_s diperlukan parameter diantaranya selisih waktu tiba gelombang S dan waktu tiba gelombang P ($t_s - t_p$) dan selisih waktu tempuh gelombang P dengan waktu kejadian gempabumi atau *origin time* ($t_p - t_{OT}$). Perubahan v_p/v_s sangat berkaitan dengan kejadian gempabumi, hal ini dikarenakan jika suatu batuan yang diberi gaya secara berkelanjutan akan patah (melebihi batas elastisitas). Sebelum batuan mengalami tingkat elastisitas yang maksimal, terjadi perubahan *stress* dan *strain* disekitar fokus patahan sehingga pada sekitar episenter terjadi deformasi pada lapisan batuan karena adanya penumpukan energi sebelum dilepaskan menjadi gelombang seismik.

b. Resistivitas listrik

Penelitian tentang kelistrikan bumi digunakan untuk mengetahui perubahan resistivitas dan potensial bumi. Pengamatan perubahan anomali potensial bumi berhubungan dengan aktivitas seismik. Sebelum

gempabumi terjadi dilaporkan bahwa resistivitas dibawah permukaan pada daerah fokal menurun sekitar 10-20%.

c. Kenaikan air tanah

Sebelum terjadi gempabumi adanya gaya tekan ke dalam sehingga mengangkat level permukaan air tanah sedangkan setelah terjadi gempabumi, maka timbul gaya reaksi kembali ke keadaan semula sehingga air sempat turun dan bercampur menjadi payau.

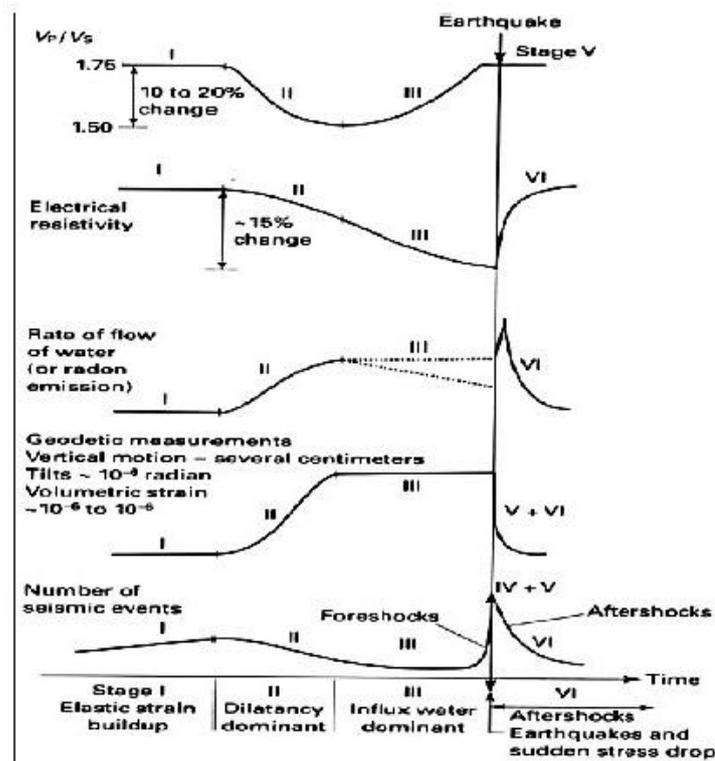
d. Pengukuran geodetik

Beberapa ilmuwan menyelidiki hubungan antara fenomena gempabumi dan kemagnetan bumi. Mereka menemukan bahwa *precursor* gempabumi ditunjukkan dengan melihat perubahan anomali geomagnetika ULF (*Ultra Low Frequency*) yaitu adanya variasi perbandingan aktivitas magnetik antara komponen *vertikal* dan *horizontal* yang ditandai dengan kenaikan harga standar deviasi.

e. Jumlah kejadian seismik

Didefinisikan sebagai kekosongan distribusi gempabumi di suatu wilayah pada sudut pandang pengamatan ruang atau waktu. Hal ini dapat dijadikan referensi bahwa pada wilayah yang mengalami kekosongan distribusi gempabumi tersebut, akan terjadi gempabumi dimasa yang akan datang.

Salah satu prediksi gempabumi yaitu menggunakan teori v_p/v_s yang berhubungan dengan teori dilatansi. Teori dilatansi memiliki 5 tahap seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 [5], yaitu pada tahap pertama ketika nilai v_p/v_s dianggap normal. Tahap kedua, mulai mengalami penurunan karena adanya regangan elastik yang menyebabkan batuan mengalami dilatancy (kenaikan volume batuan) sehingga munculnya retakan-retakan mikro dan air keluar dari batuan yang menyebabkan nilai v_p mengalami penurunan saat melewati batuan. Pada tahap ketiga mulai mengalami kenaikan karena terjadi perembesan air tanah yang mengisi celah-celah retakan mikro sehingga menyebabkan nilai v_p meningkat. Tahap keempat, merupakan terjadinya gempabumi dan tahap kelima nilai v_p/v_s kembali pada keadaan normal.



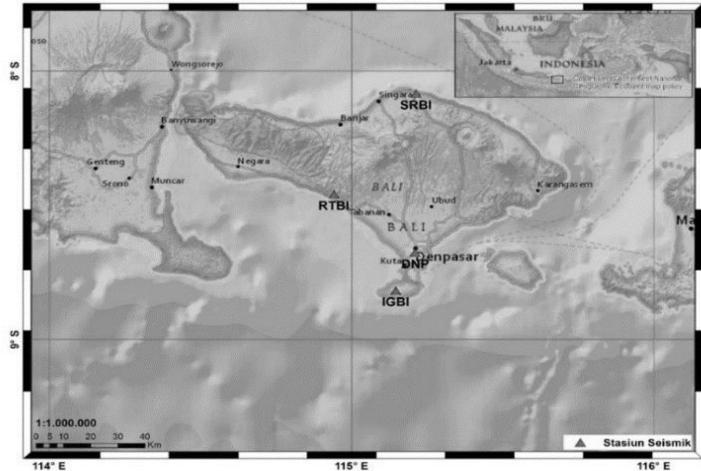
Gambar 2. Tahapan gempabumi dan hubungannya dengan v_p/v_s [5].

3. Metode Penelitian

3.1 Sistem pengambilan data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data gempabumi pada bulan Agustus 2016 sampai Mei 2017 untuk wilayah Provinsi Bali dengan koordinat 8° LS sampai 10° LS dan $114,40^{\circ}$ BT sampai 116° BT seperti ditunjukkan pada Gambar 3 yang bersumber dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Wilayah III Denpasar. Jumlah kejadian gempabumi yang digunakan sebanyak 120 kejadian gempabumi dengan

kedalaman yang bervariasi dan memiliki magnitudo >2 . Kejadian gempa bumi tersebut merupakan gabungan dari gempa bumi yang terekam di stasiun pengamatan SRBI (Singaraja Bali Indonesia), IGBI (Ingas Bali Indonesia), DNP (Denpasar) dan RTBI (Rangdo Tabanan Bali Indonesia). Parameter yang digunakan diantaranya waktu tiba gelombang P (t_p), waktu tiba gelombang S (t_s) dan waktu kejadian gempa bumi atau *origin time* (t_{OT}).



Gambar 3. Peta daerah penelitian.

3.2 Metode pengolahan

Metode pengolahan yang digunakan untuk mendapatkan anomali nilai (v_p/v_s) secara garis besar yaitu, pertama, adalah menentukan perubahan kecepatan gelombang P dengan kecepatan gelombang S (v_p/v_s). Kedua, menentukan hubungan v_p dan v_s menggunakan metode statistik berupa diagram wadati. Ketiga, menentukan anomali perubahan kecepatan gelombang P dengan kecepatan gelombang S (v_p/v_s). Perhitungan secara detail pada keempat stasiun pengamatan untuk mengamati bahwa adanya perubahan (v_p/v_s), maka diperlukan beberapa parameter diantaranya selisih waktu tiba gelombang S dan waktu tiba gelombang P ($t_s - t_p$) sebagai y_i dan selisih waktu tempuh gelombang P dengan waktu kejadian gempa bumi atau *origin time* ($t_p - t_{OT}$) sebagai x_i . Kemudian mencari x_i, y_i, x_i^2 dan y_i^2 selanjutnya menghitung nilai b menggunakan persamaan [4]:

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (1)$$

Sehingga nilai v_p/v_s dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{v_p}{v_s} = b + 1 \quad (2)$$

Nilai anomali perubahan kecepatan gelombang P dengan kecepatan gelombang S (v_p/v_s) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Delta = \frac{X - Y}{Z} 100\% \quad (3)$$

dengan Δ merupakan besar anomali (%), X merupakan nilai v_p/v_s terendah sebelum gempa bumi, Y merupakan nilai v_p/v_s pada keadaan normal sebelum gempa bumi dan Z merupakan rata-rata nilai v_p/v_s .

4. Hasil Dan Pembahasan

Hasil perhitungan nilai b dan nilai v_p/v_s pada stasiun pengamatan SRBI, IGBI, DNP dan RTBI yang ditunjukkan pada Tabel 1, 2, 3 dan 4.

Tabel 1. Stasiun pengamatan SRBI.

Bulan	Nilai b	Nilai v_p/v_s
Ags-2016	0,7232	1,7232
Sep-2016	0,7428	1,7428
Okt-2016	0,7174	1,7174
Nov-2016	0,7380	1,7380
Des-2016	0,7310	1,7310
Jan-2017	0,6937	1,6937
Feb-2017	0,5617	1,5617
Mar-2017	0,7242	1,7242
Apr-2017	0,7213	1,7213
Mei-2017	0,6789	1,6789

Tabel 2. Stasiun pengamatan IGBI.

Bulan	Nilai b	Nilai v_p/v_s
Ags-2016	0,7190	1,7190
Sep-2016	0,7266	1,7266
Okt-2016	0,7827	1,7827
Nov-2016	0,7750	1,7750
Des-2016	0,5062	1,5062
Jan-2017	0,5897	1,5897
Feb-2017	0,7194	1,7194
Mar-2017	0,7920	1,7920
Apr-2017	0,7978	1,7978
Mei-2017	0,6998	1,6998

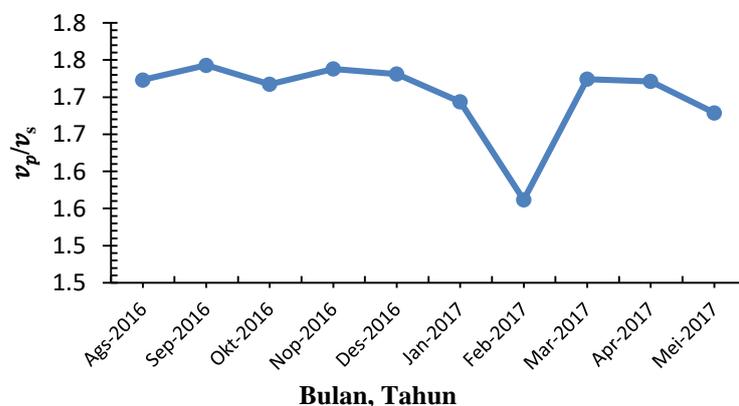
Tabel 3. Stasiun pengamatan DNP.

Bulan	Nilai b	Nilai v_p/v_s
Ags-2016	0,7112	1,7112
Sep-2016	0,7361	1,7361
Okt-2016	0,7065	1,7065
Nov-2016	0,6756	1,6756
Des-2016	0,5650	1,5650
Jan-2017	0,5300	1,5300
Feb-2017	0,6536	1,6536
Mar-2017	0,7366	1,7366
Apr-2017	0,7393	1,7393
Mei-2017	0,7385	1,7385

Tabel 4. Stasiun pengamatan RTBI.

Bulan	Nilai b	Nilai v_p/v_s
Ags-2016	-	-
Sep-2016	-	-
Okt-2016	-	-
Nov-2016	0,8080	1,8080
Des-2016	0,8227	1,8227
Jan-2017	0,7394	1,7394
Feb-2017	0,7961	1,7961
Mar-2017	0,8261	1,8261
Apr-2017	0,8218	1,8218
Mei-2017	0,8068	1,8068

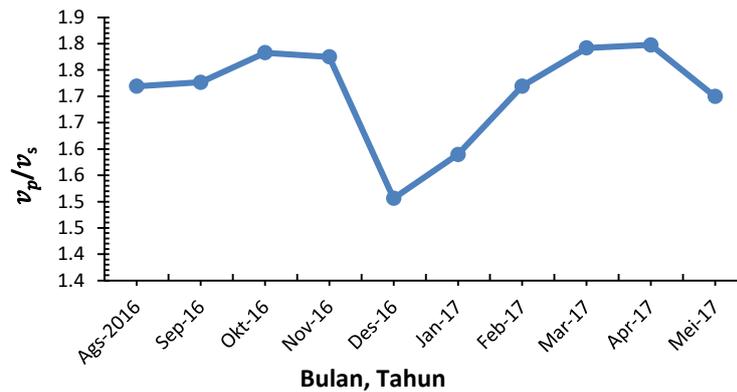
Hasil perhitungan nilai v_p/v_s yang diperoleh dari pengolahan data parameter gempa bumi di stasiun pengamatan SRBI, IGBI, DNP dan RTBI dapat ditunjukkan pada Gambar 4, 5, 6 dan 7.



Gambar 4. Grafik nilai v_p/v_s di Stasiun SRBI.

Dari Gambar 4, teramati bahwa nilai v_p/v_s pada bulan Agustus 2016 sampai bulan Mei 2017 di stasiun pengamatan SRBI mengalami perubahan pada tiap bulannya, ini menindikasikan bahwa terdapat anomali sebelum gempa bumi utama terjadi pada tanggal 22 Maret 2017. Anomali tersebut berupa pola penurunan nilai v_p/v_s dimulai dari bulan November 2016 yang diikuti dengan peningkatan kembali ke arah normal sampai bulan Maret 2017. Dari 3 bulan sebelum gempa bumi utama anomalnya mencapai 10,35 % dari nilai normal.

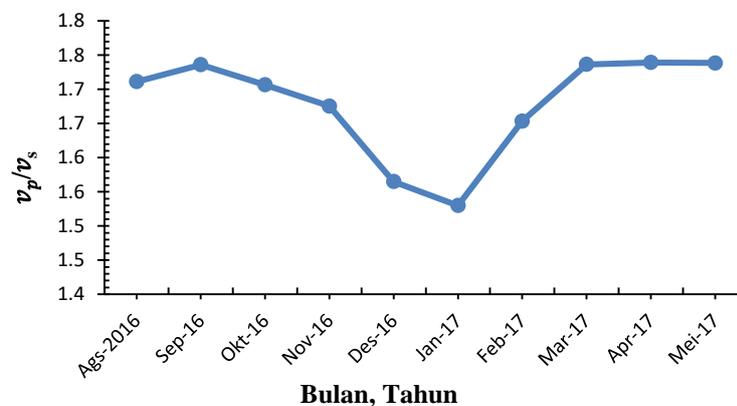
Untuk stasiun pengamatan IGBI, perubahan nilai v_p/v_s seperti ditunjukkan pada Gambar 5, tampak adanya perubahan nilai v_p/v_s dari bulan Agustus 2016 sampai bulan Mei 2017.



Gambar 5. Grafik nilai v_p/v_s di Stasiun IGBI.

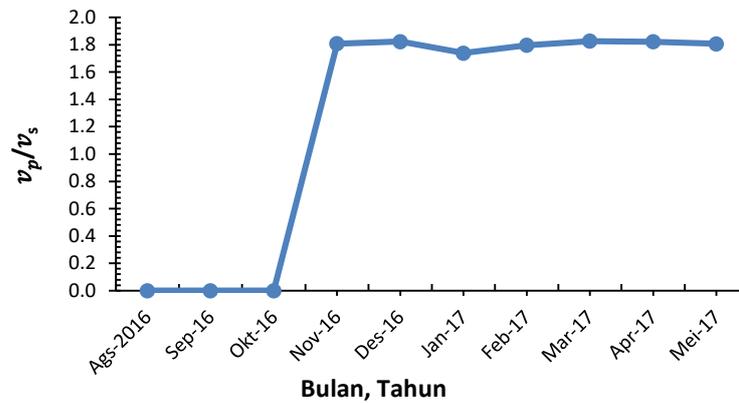
Teridentifikasi terdapat anomali sebelum gempa bumi utama terjadi pada tanggal 22 Maret 2017. Anomali tersebut berupa pola penurunan nilai v_p/v_s dimulai dari bulan Oktober 2016 yang diikuti dengan peningkatan kembali ke arah normal sampai bulan Maret 2017. Anomali sebesar 16,16 % dari nilai normal teramati dari 4 bulan sebelum gempa bumi utama.

Perubahan nilai v_p/v_s untuk stasiun pengamatan DNP seperti ditunjukkan pada Gambar 6, terlihat adanya perubahan pada tiap bulannya, mengindikasikan terdapat anomali sebelum gempa bumi utama terjadi pada tanggal 22 Maret 2017. Anomali tersebut berupa pola penurunan nilai v_p/v_s dimulai dari bulan September 2016 yang diikuti dengan peningkatan kembali ke arah normal sampai bulan Maret 2017. Anomali sebesar 12,27 % dari nilai normal, teramati dari 5 bulan sebelum gempa bumi utama.



Gambar 6. Grafik nilai v_p/v_s di Stasiun DNP.

Selanjutnya, untuk stasiun pengamatan RTBI, nilai v_p/v_s seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Dari bulan Agustus 2016 sampai Oktober 2016 stasiun pengamatan RTBI mengalami gangguan sehingga sinyal tidak dapat dianalisa. Namun demikian teramati adanya perubahan yang signifikan pada bulan Januari 2017. Terdapat anomali sebelum gempa bumi utama terjadi pada tanggal 22 Maret 2017. Anomali tersebut berupa pola penurunan nilai v_p/v_s dimulai dari bulan Desember 2016 yang diikuti dengan peningkatan kembali ke arah normal sampai bulan Maret 2017. Anomali sebesar 4,62% dari nilai normal, teramati dari 2 bulan sebelum gempa bumi utama.



Gambar 9. Grafik nilai v_p/v_s di Stasiun RTBI.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang diperoleh maka dapat disimpulkan bahwa terdapat anomali dari hasil perhitungan nilai v_p/v_s pada stasiun SRBI, IGBI, DNP dan RTBI. Besar anomali pada stasiun-stasiun secara berturut-turut yaitu 10,35%, 16,16%, 12,27 % dan 4,62%, yang mana dapat digunakan sebagai salah satu komponen dalam memprediksi akan terjadinya gempa bumi.

Pustaka

- [1] Sunarjo, T. Gunawan dan S. Pribadi, *Gempabumi Edisi Populer*. Jakarta, 2012.
- [2] D. Pranata, *Analisis Mekanisme Fokus Gempabumi Di Meulaboh (Nanggroe Aceh Darussalam) 9 Mei 2010*, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta, 2010.
- [3] Ibrahim, G. dan Subardjo, *Pengetahuan Seismologi*, Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta, 2005.
- [4] A. Satriyo, *Penentuan Anomali Perubahan Kecepatan Gelombang Primer Dengan Kecepatan Gelombang Sekunder (v_p/v_s) Pada Daerah Papua Barat Studi Kasus Gempa Bumi Manokwari*, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta, 2010.
- [5] C. H. Scholz, L. R. Sykes dan Y. P. Aggarwal, *Earthquake Prediction: A Physical Basis Science*, vol. 181, 1973, pp. 803-810.
- [6] Daryono, *Identifikasi Sesar Naik Belakang Busur (Back Arc Thrust) Daerah Bali Berdasarkan Seismisitas dan Solusi Bidang Sesar*, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta, 2011.
- [7] M. Fahmi, *Identifikasi Pola Tektonik Daerah Bali Dan Nusa Tenggara Berdasarkan Seismisitas Dan Komposit Mekanisme Sumber Gempabumi*, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta, 2014.
- [8] D. Harmadhoni, *Analisis Mekanisme Fokus Gempa Di Blitar-Jawa Timur 17 Mei 2011*, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta, 2011.
- [9] T. Ismawati, *Mekanisme Fokus Gempa Bumi Mentawai*, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta, 2011.
- [10] R. McCaffrey dan J. Nabelek, Earthquakes, Gravity, and The Origin Of The Bali Basin: An Example Of A Nascent Continental Fold and Thrust Belt, Cambridge, *Journal of Geophysical Research*, vol. 92, no. B1, 1987, pp 441-460.