
ANALISIS PERUBAHAN IONOSFER AKIBAT LETUSAN GUNUNG BERAPI DENGAN PENGAMATAN *TOTAL ELECTRON CONTENT* GNSS (STUDI KASUS : GUNUNG AGUNG BALI)

Mokhamad Nur Cahyadi¹, Adhi Dermawan², Buldan Muslim³

^{1,2}Departemen Teknik Geomatika FTSLK-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111

³Lembaga Antariksa Dan Penerbangan Nasional (LAPAN)

e-mail : adhi.dermawan@gmail.com¹, cahyadi@geodesi.its.ac.id², mbuldan@gmail.com³

Abstrak

Letusan Gunung Agung terjadi terakhir pada Tahun 1963 hingga tahun 1964 dengan letusan yang bersifat eksplosif. Letusan ini memakan korban jiwa sebanyak 1.344 jiwa. Pada tahun 2017, Gunung Agung kembali menunjukkan aktifitasnya hingga awal tahun 2018. Menurut data dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, letusan yang besar terjadi pada 22 November 2017 pukul 01.00 WITA. Letusan gunung tersebut menghasilkan tekanan ke atas yang disertai oleh lava yang tersembur melalui mulut gunung. Dari letusan ini, menghasilkan beberapa perambatan gelombang yakni *Acoustic*, *Gravity*, dan *Rayleigh*. Pada saat gelombang letusan mencapai ionosfer, gangguan tersebut dapat diketahui dari sinyal GPS yang melaluinya. Pada gangguan di ionosfer tersebut dapat diukur dengan menggunakan kombinasi L4 yang biasa disebut *linear ionospheric combination* sehingga didapat nilai TEC (*Total Electron Content*) dimana 1 TECU adalah 10^{16} el/m². Nilai inilah yang berfungsi untuk menentukan kadar besaran gangguan akibat letusan yang terjadi pada Gunung Agung 2017.

Dalam penelitian ini, menggunakan data GNSS (Global Navigation Satellite System) CORS (Continuously Operating Reference Station) untuk mengetahui perubahan nilai TEC sesaat setelah letusan Gunung Agung, data GNSS (CORS diambil dari stasiun yang terletak di sekitar Gunung Agung. Hasil Penelitian ini diketahui satelit GPS nomor 3 dan 23 dapat mendeteksi perubahan TEC (*Total Electron Content*) setelah terjadi letusan. Fluktuasi TEC (*Total Electron Content*) terbesar bernilai 1,5 TECU untuk satelit GPS.

Kata Kunci— Letusan Gunung Agung, Satelit GPS, TEC

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia adalah negara yang memiliki jumlah gunung berapi aktif yang sangat banyak. Sekitar 30% dari gunung aktif dunia berada di Indonesia. Gunung berapi adalah gunung yang masih aktif dalam mengeluarkan material panas di dalamnya. Ini tentu menjadi ancaman sendiri karena gunung aktif dapat bergejolak sewaktu-waktu (Sinensis 2017).

Gunung Agung merupakan salah satu gunung aktif di Indonesia yang berada di pulau Bali dan mulai menunjukkan aktifitas erupsi pada tanggal 21 November 2017. Gunung Agung terletak pada Kecamatan Rendang, Kabupaten Karangasem tepatnya pada posisi 8° 20' 30" Lintang Selatan dan 115° 30' 30" Bujur Timur. Akibat dari erupsi gunung Agung menyebabkan beberapa hal termasuk perubahan ionosfer. Saat terjadinya erupsi, magma yang berada dalam perut bumi tidak stabil dan akan terjadi tekanan ke atas. Tekanan ini akan

membentuk dan merambatkan energi gelombang permukaan maupun dibawah tanah dalam bentuk getaran. Perambatan yang berada pada permukaan bumi dan merambat secara horizontal disebut dengan gelombang Rayleigh (kecepatan 4 km/s). Gelombang rayleigh inilah yang akan mengakibatkan gempa bumi. Pada letusan Gunung Api terdapat dua gelombang yang dominan yang biasa disebut dengan gelombang akustik (kecepatan 1 km/s) dan Gravity (kecepatan 0.3 km/s). Pada saat gelombang ini mencapai ionosfer maka akan terjadi gangguan ionosfer yang terdeteksi dengan sinyal GNSS yang dikirimkan ke receiver permukaan bumi. Gangguan ini direkam dengan frekuensi L4 yang terdiri dari kombinasi L1 (1575,42 MHz) dan L2 (1227,60 MHz). Dengan data dari beberapa satelit yang melintasi di atasnya, gangguan ini terlihat setelah 11 – 16 menit terjadinya gempa dan merambat dengan kecepatan ~0,7 km/detik (Cahyadi dan Heki 2013).

GNSS juga menawarkan metode alternatif untuk menganalisa pergerakan temporal dan spasial ionosfer. Untuk mengetahui perubahan ionosfer ini dapat digunakan teknologi GNSS karena posisi orbit satelit GNSS yang terletak 20.000 km di atas permukaan bumi, sehingga lapisan ionosfer yang terletak 50-1000 km dapat terpantau oleh satelit ini. Lapisan ionosfer sebenarnya merupakan delay sinyal dan bias yang menyebabkan adanya kesalahan dalam penentuan posisi. *Time-delay* atau penundaan ini dapat digunakan untuk melihat bagaimana variasi ionosfer, melalui kuantitas yang dikenal sebagai *Total Electron Content* (TEC). TEC merupakan jumlah elektron sepanjang lintasan antara dua titik (*point*) yang dinyatakan dalam TECU (*TEC Unit*) dengan 1 TECU adalah 10^{16} elektron/m² (Muslim 2009).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui variasi ionosfer yang disebabkan adanya letusan Gunung Agung 2017 yang ditunjukkan dari aktivitas TEC, sekaligus didalamnya dianalisa bagaimana karakter perubahan ionosfer akibat letusan. Titik CORS yang digunakan milik Badan Informasi Geospasial (BIG) yang terletak di daerah Jawa, Bali, NTB yaitu CDNP, CMAT, CNYU, CPES pada tanggal 22 November 2017 (day of year 326)

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

- Untuk mengetahui pengaruh aktifitas vulkanik pada ionosfer di sekitar Gunung Agung tahun 2017.
- Untuk mengetahui gangguan pada ionosfer akibat erupsi Gunung Agung tahun 2017 menggunakan pengukuran *Total Electron Content* (TEC).
- Untuk mengetahui karakteristik letusan dari Gunung Agung pada tahun 2017.

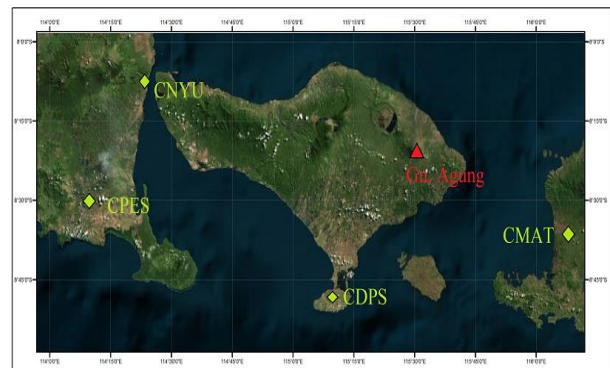
METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di lokasi Gunung Agung pada koordinat 8° 20' 30" Lintang Selatan dan 115° 30' 30" Bujur Timur dengan sebaran stasiun pengamatan antara lain adalah CDNP, CNYU, CMAT, CPES dengan posisi pada Gambar 1. Penentuan nilai ionosfer dalam bentuk TEC

dilakukan dengan metode *differential linear combination* (persamaan 1) dimana ini didapatkan dari selisih dari gelombang pembawa GPS (*Global Positioning System*) L1 dan L2. Nilai TEC ini ditetapkan nilainya pada perpotongan antara nilai *line of sight* dari satelit dengan lapisan ionosfer yang disebut dengan *Ionospheric Pierce Point* (IPP) yang diproyeksikan ke nilai SIP (*Sub Ionospheric Point*). Nilai STEC (*Slant TEC*) ditentukan dengan formula di bawah ini:

$$\delta\text{STEC} = \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{40.28 \cdot (f_2^2 - f_1^2)} \cdot (\delta L_1 - \delta L_2) \dots\dots(1)$$

f_1 , f_2 merupakan frekwensi pada gelombang pembawa, dan L_1 , L_2 merupakan adalah pseudorange pada gelombang pembawa.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Badan Informasi Geospasial 2017)

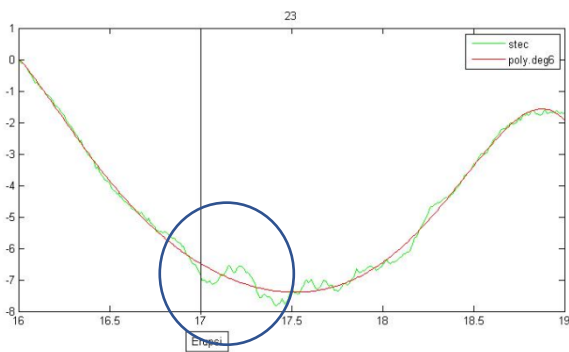
Pengolahan Data

Ada dua data pokok yang digunakan dalam studi penelitian ini. Data tersebut adalah data observasi dan data navigasi dalam bentuk rinex. Pada data ini, akan diproses sehingga akan didapatkan hasil variasi seri waktu STEC pada rentang waktu tertentu. Dari hasil seri waktu tersebut, selanjutnya dipilah mana saja satelit yang mereka terjadinya gangguan gangguan di ionosfer. Jika ada catatan gangguan ionosfer, maka akan ada suatu anomali yang berbeda dengan yang lainnya. Pada penelitian ini satelit yang mengalami anomali adalah satelit 3 dan satelit 23 untuk satelit GPS.

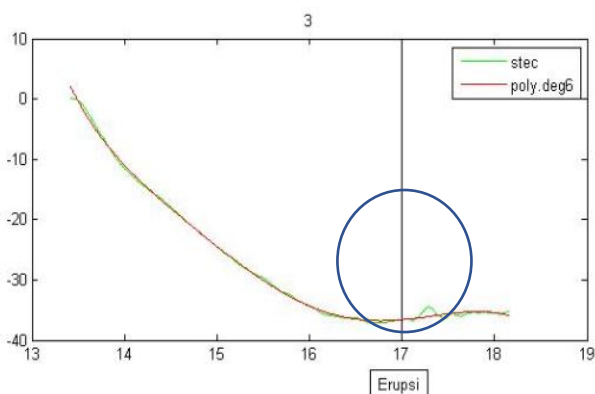
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengamatan Ionosfer dengan pengukuran TEC

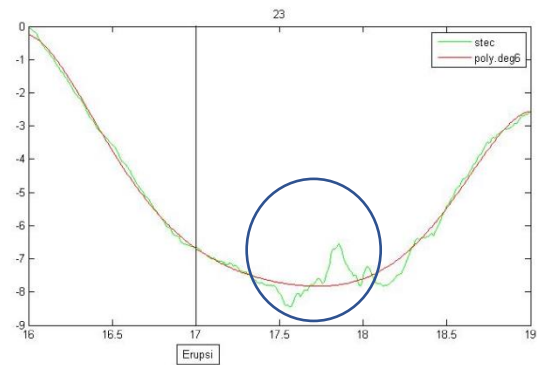
Sinyal yang melalui Dari perjalanan tersebut, maka sinyal akan mengalami refraksi atau pembelokan terutama pada lapisan ionosfer. Besarnya nilai delay bergantung pada kondisi ionosfer pada saat itu, semakin besar gangguan ionosfer yang terjadi seperti letusan gunung api maka pembelokan sinyal akan lebih besar pula. Besarnya nilai delay sinyal ini bisa ditunjukkan dengan STEC. Nilai STEC ini mempunyai noise yang besar sehingga perlu dilakukan adanya filtering. Nilai *Slant Total Electron Content* ini dikurangkan dengan polinomial pangkat 6 sebagai pendekatan dari nilai VTEC (Vertical TEC).



Gambar 2. gangguan ionosfer yang terekam pada satelit nomor 3 yang tercatat dari beberapa stasiun CORS-GPS

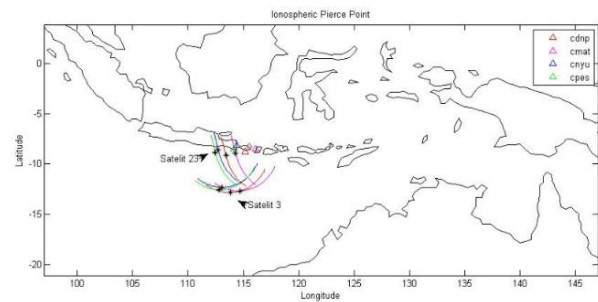


Gambar 3. Nilai *Slant Total Electron Content* pada satelit nomor 23 yang direkam stasiun CDNP



Gambar 4. Nilai *Slant Total Electron Content* pada satelit nomor 23 yang direkam stasiun CPES

Pada Gambar 2, 3 dan 4 merupakan gangguan ionosfer yang terjadi setelah letusan Gunung Agung, dimana memperlihatkan terjadi gangguan ionosfer 12-15 menit setelah letusan dengan amplitudo gangguan ionosfer sebesar 1.1 TECU. Demikian pula dari gambar 5 memperlihatkan adanya SIP yang pada saat letusan, lintasan ini berada di sebelah selatan pusat erupsi, sehingga sinyal propagasi bergerak ke arah barat daya.



Gambar 5. Lintasan IPP satelit nomor 3 dan 23 Pukul 16.00 – 19.00 UT. Titik hitam adalah titik saat terjadinya fluktuasi puncak TEC

KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan, berikut adalah kesimpulan yang penulis dapatkan dalam penelitian ini;

1. Pada saat terjadi letusan besar, maka banyak sekali gangguan yang diamati dari stasiun pengamatan. Gangguan pada ionosfer terjadi pada rentang waktu yang berbeda-beda. Berikut waktu yang diamati saat setelah terjadi letusan :

- A. Satelit Nomor 3 GPS.
- CDNP : 7 Menit
 - CNYU : 17 Menit
 - CPES : 19 Menit
 - CMAT : 20 Menit

- B. Satelit Nomor 23 GPS.
- CDNP : 32 Menit
 - CNYU : 49 Menit
 - CPES : 50 Menit
 - CMAT : 17 Menit

Denaro, Lino Garda. 2015. Analisis perubahan ionosfer dan posisi stasiun GPS-CORS pada saat letusan besar gunung berapi 2010. Surabaya: Penelitian Jurusan Teknik Geomatika-Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Muslim, Buldan. 2009. Pemodelan TEC ionosfer diatas Sumatera dan Sekitarnya mendekati Real Time dari Data GPS NTUS. Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN, Bandung.

Sinensis, Arini Rosa. 2017. Tekanan Pada Erupsi Gunung Berapi. Sumatera Selatan : SEKOLAH TINGGI KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN (STKIP) NURUL HUDA

2. Melalui pengamatan stasiun CORS disekitar area Gunung Agung, didapatkan nilai TEC sebagai berikut :

- A. Satelit Nomor 3 GPS.
- CDNP : 1,2 TECU
 - CNYU : 1,5 TECU
 - CPES : 1,4 TECU
 - CMAT : 0,3 TECU

- B. Satelit Nomor 23 GPS.
- CDNP : 1,2 TECU
 - CNYU : 1,4 TECU
 - CPES : 1,3 TECU
 - CMAT : 0,5 TECU

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada instansi Badan Informasi Geospasial (BIG), Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), dan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) karena telah memberikan dukungannya dalam bentuk data sehingga menjadikan penelitian ini selesai sampai akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmaja, Krisna Alfian Tri. 2016. Analisis perubahan total electron content pada ionosfer akibat letusan gunung berapi. Surabaya: Penelitian Jurusan Teknik Geomatika-Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Cahyadi, M. N., & Heki, K. 2013. Ionospheric disturbances of the 2007 Bengkulu and the 2005 Nias earthquakes, Sumatra, observed with a regional GPS network. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 118.