



TUGAS AKHIR - RM184831

ANALISIS PERUBAHAN IONOSFER AKIBAT GEMPA BUMI SESAR (Studi Kasus: Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Palu & Kabupaten Donggala)

MOCHAMAD THUFALL ADJIE PRASETYO
NRP 0331154000023

Dosen Pembimbing
Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D
Dr. Buldan Muslim, M.Si

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RM184831

ANALISIS PERUBAHAN IONOSFER AKIBAT GEMPA BUMI SESAR (Studi Kasus: Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Palu & Kabupaten Donggala)

MOCHAMAD THUFALL ADJIE PRASETYO
NRP 0331154000023

Dosen Pembimbing
Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D
Dr. Buldan Muslim, M.Si

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - RM184831

**ANALYSIS OF IONOSPHERE CHANGES CAUSED BY
FAULT EARTHQUAKE (Case Study: North
Lombok Regency, Palu Regency & Donggala
Regency)**

**MOCHAMAD THUFALL ADJIE PRASETYO
NRP 0331154000023**

Supervisor
Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D
Dr. Buldan Muslim, M.Si

**GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institut of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISIS PERUBAHAN IONOSFER AKIBAT GEMPA BUMI SESAR (Studi Kasus : Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Palu & Kabupaten Donggala)

Nama : Mochamad Thufall Adjie Prasetyo
NRP : 0331154000023
Jurusan : Teknik Geomatika
Dosen Pembimbing : Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D
Dr. Buldan Muslim, M.Si

ABSTRAK

Gempa bumi merupakan bencana alam yang sering terjadi di Indonesia. Penyebabnya adalah Indonesia berada di pertemuan 4 lempeng tektonik dunia, yang membuat Indonesia memiliki potensi bencana gunung berapi dan gempa bumi. Pada tahun 2018 silam, Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Palu dan Donggala mengalami rentetan gempa bumi selama beberapa hari. Gempa bumi menghasilkan beberapa perambatan gelombang yaitu, *Acoustic*, *Gravity*, dan *Rayleigh*. Gelombang-gelombang tersebut dapat mempengaruhi kerapatan electron dari ionosfer. Pengaruh tersebut dinamakan CIDs (*Coseismic Ionosphere Disturbances*), CIDs dapat diketahui dari sinyal GNSS yang melewati ionosfer. Pengaruh atau gangguan tersebut dapat diukur menggunakan kombinasi L4 sehingga didapat nilai TEC (*Total Electron Content*). TEC merupakan jumlah dari elektron sepanjang lintasan sinyal satelit dan dinyatakan dalam TECU dimana 1 TECU adalah 10^{16} elektron/m². Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa bagaimana perubahan TEC setelah terjadinya gempa-gempa yang memiliki kekuatan > 6 Mw di Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala menggunakan data CORS GNSS yang tersebar dimasing-masing daerah kejadian gempa. Metode analisa yang digunakan adalah dengan membandingkan nilai STEC dengan polynomial pangkat 8-nya. Hasil penelitian ini didapatkan bahwa pada gempa bumi tanggal 5

Agustus pukul 11.46 di Kabupaten Lombok Utara satelit GPS nomor 15 dapat mendeteksi perubahan TEC setelah gempa bumi. Nilai fluktuasi TEC yang terdeteksi pada satelit nomor 15 memiliki nilai yang sama untuk dua stasiun yaitu 0,19 TECU. Gempa kedua pada tanggal 19 Agustus pukul 04.10 satelit GPS yang mendeteksi perubahan TEC adalah satelit nomor 5 dengan nilai maksimum sebesar 0,56 TECU. Gempa ketiga pada tanggal 19 Agustus pukul 14.56 satelit GPS yang mendeteksi perubahan adalah satelit nomor 21 memiliki nilai maksimum sebesar 0,45 TECU. Sedangkan untuk daerah Kabupaten Palu dan Donggala pada gempa bumi tanggal 28 September pukul 06.59 satelit GPS nomor 24 saja yang mendeteksi adanya perubahan TEC dengan nilai maksimum sebesar 0,19 TECU. Gempa kedua pada hari yang sama pukul 10.02 hanya satelit nomor 21 saja yang terdeteksi perubahan TEC yaitu sebesar 0,2 TECU.

Kata Kunci : CIDs, Gempa Bumi, GNSS, Ionosfer, TEC

**ANALYSIS OF IONOSPHERE CHANGES CAUSED BY
FAULT EARTHQUAKE (Case Study: North Lombok
Regency, Palu Regency & Donggala Regency)**

Name : Mochamad Thufall Adjie Prasetyo
NRP : 0331154000023
Department : Geomatics Engineering
Supervisor : Mokhammad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D
Dr. Buldan Muslim, M.Si

ABSTRACT

Earthquakes are natural disasters that often occur in Indonesia. The cause is that Indonesia is at the confluence of 4 world tectonic plates, which makes Indonesia has a potential volcano and earthquake disaster. In the year 2018 North Lombok Regency, Palu Regency and Donggala Regency suffered a barrage of earthquakes for several days. Earthquakes generate some wave throttling i.e, Acoustic, Gravity, and Rayleigh. These waves can affect the electron density of the ionosphere. The influence is called CIDs (Coseismic Ionosphere Disturbances), CIDs can be known from GNSS signals passing through the ionosphere. Such influences or interference can be measured using a combination of L4 so that the value of TEC (Total Electron Content). TEC is the sum of electrons along the satellite signal path and is expressed in the TECU where 1 TECU is 10^{16} electron/m². In this study, analysis will be conducted on how TEC is change after the earthquakes that have power more than 6 Mw in North Lombok Regency, Palu Regency and Donggala Regency use GNSS CORS data that scattered each the earthquake area. The method of analysis used is to compare the value of STEC with the polynomial of the 8th rank. The results of this study found that in the August 5 earthquake at 11.46 in Lombok Regency, the number 15 GPS

satellite could detect changes in TEC after the earthquake. The value of TEC fluctuations detected on satellite number 15 has the same value for two stations, namely 0.19 TECU. The second earthquake on August 19 at 4:10 GPS satellites that detected changes in TEC is satellite number 5 with a maximum value of 0.56 TECU. The third earthquake on August 19 at 14:55 the GPS satellite that detects change is satellite number 21 has a maximum value of 0.45 TECU. Whereas for the Palu and Donggala Regencies in the earthquake on September 28 at 06:59 the GPS satellite number 24 only detected a change in TEC with a maximum value of 0.19 TECU. The second earthquake on the same day at 10.02 only satellite number 21 detected a change in TEC which was equal to 0.2 TECU.

Keywords : CIDs, Earthquakes, GNSS, Ionosphere, TEC

ANALISIS PERUBAHAN IONOSFER AKIBAT GEMPA BUMI SESAR

(Studi Kasus: Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Palu
& Kabupaten Donggala)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MOCHAMAD THUFALL ADJIE PRASETYO
NRP. 03311540000023

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Mokhammad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D
NIP. 19811223 200501 1 002



Dr. Buldan Muslim, M.Si
NIP. 19650726 199110 1 001

SURABAYA, 25 JULI 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga laporan tugas akhir dengan judul “**Analisis Perubahan Ionosfer Akibat Gempa Bumi Sesar (Studi Kasus : Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Palu & Kabupaten Donggala)**” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar.

Selama pelaksanaan penelitian tugas akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dorongan kepada penulis baik secara moral maupun berupa material. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua beserta seluruh keluarga penulis yang telah memberikan kasih sayang, doa, semangat dan seluruh dukungan baik secara moral maupun material.
2. Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika ITS dan selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan dan saranya.
3. Instansi BIG yang telah menyediakan data untuk keperluan penelitian serta bimbingan dan saranya.
4. Juwita Maharani Zainur Putri dan teman-teman Teknik Geomatika angkatan 2015 atas segala dukungan dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
5. Semua Pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir yang tidak dapat penulis sebut satu persatu.

Karena tanpa bantuan dari pihak-pihak tersebut, penulis tidak dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan tepat waktu.

Dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini penulis merasa masih banyak kekurangan, baik pada teknik penulisan maupun materi. Maka dari itu penulis memohon maaf jika masih ada kesalahan yang terdapat pada proposal ini, selain itu penulis mengharapkan adanya saran atau kritik demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan banyak terima kasih atas segala kesempatan yang telah diberikan, semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Tugas Akhir.....	4
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tektonik Lempeng	5
2.2 Gempa Bumi Sesar	6
2.3 Karakteristik Gempa Bumi Lombok.....	10
2.4 Karakteristik Gempa Bumi Palu dan Donggala	11
2.5 GNSS	12
2.6 GPS	13
2.7 Sinyal GNSS	14
2.8 Data RINEX.....	15
2.9 Ionosfer	18
2.10 Kombinasi Bebas Ionosfer	22
2.11 Kombinasi Linier Ionosfer	23
2.12 TEC (<i>Total Electron Content</i>).....	24
2.12.1 Menentukan STEC dan VTEC.....	26
2.13 IPP (<i>Ionospheric Pierce Point</i>).....	29
2.14 Penelitian Terdahulu.....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Lokasi Penelitian	33

3.2	Data dan Peralatan.....	36
3.2.1	Data.....	36
3.2.2	Peralatan.....	37
3.3	Metodologi Penelitian	38
3.3.1	Tahapan Pekerjaan	38
3.3.2	Tahapan Pengolahan	41
BAB IV HASIL DAN ANALISA.....		45
4.1	Pengolahan Data RINEX CORS-GNSS Menggunakan Fortran	45
4.2	Analisa Gangguan TEC Pada Gempa Bumi di Kabupaten Lombok Utara	46
4.2.1	Analisa Gangguan TEC (DOY 217, 5 Agustus 2018).....	46
4.2.2	Analisa Gangguan TEC (DOY 231, 19 Agustus 2018, 04.10).....	50
4.2.3	Analisa Gangguan TEC (DOY 231, 19 Agustus 2018, 14.56).....	56
4.3	Analisa Gangguan TEC Pada Gempa Bumi di Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala ..	63
4.3.1	Analisa Gangguan TEC (DOY 271, 28 September 2018, 06.59)	63
4.3.2	Analisa Gangguan TEC (DOY 271, 28 September 2018, 10.02)	70
4.4	Analisa Penentuan IPP Pada Gempa Bumi di Kabupaten Lombok Utara	77
4.4.1	Analisa Penentuan IPP (DOY 217, 5 Agustus 2018).....	78
4.4.2	Analisa Penentuan IPP (DOY 231, 19 Agustus 2018, 04.10).....	78
4.4.3	Analisa Penentuan IPP (DOY 231, 19 Agustus 2018, 14.56).....	79
4.5	Analisa Penentuan IPP Pada Gempa Bumi di Kabupaten Palu dan Donggala	80

4.5.1	Analisa Penentuan IPP (DOY 271, 28 September 2018, 06.59)	81
4.5.2	Analisa Penentuan IPP (DOY 271, 28 September 2018, 10.02)	82
4.6	Kecepatan Propagasi Gelombang ke Ionosfer Pada Gempa Bumi di Kabupaten Lombok Utara	83
4.6.1	Analisa Penentuan IPP (DOY 217, 5 Agustus 2018).....	83
4.6.2	Analisa Penentuan IPP (DOY 231, 19 Agustus 2018, 04.10)	84
4.6.3	Analisa Penentuan IPP (DOY 231, 19 Agustus 2018, 14.56)	84
4.7	Kecepatan Propagasi Gelombang ke Ionosfer Pada Gempa Bumi di Kabupaten Palu dan Donggala	85
4.7.1	Analisa Penentuan IPP (DOY 271, 28 September 2018, 06.59)	85
4.7.2	Analisa Penentuan IPP (DOY 271, 28 September 2018, 10.02)	86
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		89
5.1	Kesimpulan	89
5.2	Saran	91
DAFTAR PUSTAKA		93
LAMPIRAN.....		97

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peta Tektonik Indonesia Tahun 2017.....	5
Gambar 2.2	Katalog Gempa PuSGeN Tahun 2017	6
Gambar 2.3	Proses Terjadinya Gempa	7
Gambar 2.4	Sesar mendatar (<i>strike-slip fault</i>) (Incorporated Research Institutions for Seismology 2010)	8
Gambar 2.5	<i>Oblique slip fault</i>	8
Gambar 2.6	Sesar naik (<i>reverse fault/thrust fault</i>).....	9
Gambar 2.7	Sesar normal (<i>normal fault</i>).....	9
Gambar 2.8	Sesar Aktif Daerah Bali-Busa Tenggara-Banda	10
Gambar 2.9	Peta Sesar Aktif di Pulau Sulawesi	12
Gambar 2.10	Segmen GPS	14
Gambar 2.11	Informasi Sinyal GNSS	15
Gambar 2.12	RINEX Observasi	17
Gambar 2.13	Bagian Data RINEX Observasi	18
Gambar 2.14	Gambaran Umum Pembagian Lapisan Ionosfer	19
Gambar 2.15	Perjalanan Sinyal GNSS Di Lapisan Atmosfer.....	21
Gambar 2.16	Pengaruh Gempa Bumi Terhadap Ionosfer	22
Gambar 2.17	Perbedaan IPP dan SIP	24
Gambar 2.18	<i>Total Electron Content</i>	25
Gambar 2.19	Pengertian STEC dan VTEC	25
Gambar 2.20	Geometri Model Ionosfer Lapisan Tunggal	29
Gambar 2.21	Geometri Model Untuk Menentukan IPP.....	30
Gambar 3.1	Lokasi Penelitian di Kabupaten Lombok Utara.....	33
Gambar 3.2	Lokasi Penelitian di Kabupaten Palu dan Donggala	34
Gambar 3.3	Diagram Alir Pekerjaan	38
Gambar 3.4	Diagram Alir Pengolahan Data.....	41
Gambar 4.1	Hasil Pengolahan Data Observasi	45

Gambar 4.2	Hasil Pengolahan Data Navigasi.....	46
Gambar 4.3	Perubahan STEC pada satelit 15 di stasiun CAMP	47
Gambar 4.4	Pengamatan VTEC pada satelit 15 di stasiun CAMP	47
Gambar 4.5	Perubahan STEC pada satelit 15 di stasiun CNAU	48
Gambar 4.6	Pengamatan VTEC pada satelit 15 di stasiun CNAU	49
Gambar 4.7	Gangguan Ionosfer Pada Satelit No 15 yang Terekam di 2 Stasiun.....	49
Gambar 4.8	Perubahan STEC pada satelit 5 di stasiun CBAL.....	50
Gambar 4.9	Pengamatan VTEC pada satelit 5 di stasiun CBAL.....	51
Gambar 4.10	Perubahan STEC pada satelit 5 di stasiun CMLI.....	51
Gambar 4.11	Pengamatan VTEC pada satelit 5 di stasiun CMLI.....	52
Gambar 4.12	Perubahan STEC pada satelit 5 di stasiun CNAU	53
Gambar 4.13	Pengamatan VTEC pada satelit 5 di stasiun CNAU	53
Gambar 4.14	Perubahan STEC pada satelit 5 di stasiun CPAL	54
Gambar 4.15	Pengamatan VTEC pada satelit 5 di stasiun CPAL	55
Gambar 4.16	Gangguan Ionosfer Pada Satelit No 5 yang Terekam di 4 Stasiun.....	55
Gambar 4.17	Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CAMP	56
Gambar 4.18	Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CAMP	57

Gambar 4.19 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CBAL.....	57
Gambar 4.20 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CBAL.....	58
Gambar 4.21 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CNYU.....	59
Gambar 4.22 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CNYU.....	59
Gambar 4.23 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CPES.....	60
Gambar 4.24 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CPES.....	61
Gambar 4.25 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CSIT.....	61
Gambar 4.26 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CSIT.....	62
Gambar 4.27 Gangguan Ionosfer Pada Satelit No 21 yang Terekam di 5 Stasiun.....	63
Gambar 4.28 Perubahan STEC pada satelit 24 di stasiun CBAL.....	64
Gambar 4.29 Pengamatan VTEC pada satelit 24 di stasiun CBAL.....	65
Gambar 4.30 Perubahan STEC pada satelit 24 di stasiun CBIT.....	65
Gambar 4.31 Pengamatan VTEC pada satelit 24 di stasiun CBIT.....	66
Gambar 4.32 Perubahan STEC pada satelit 24 di stasiun CKEN.....	67
Gambar 4.33 Pengamatan VTEC pada satelit 24 di stasiun CKEN.....	67
Gambar 4.34 Perubahan STEC pada satelit 24 di stasiun CKTP.....	68
Gambar 4.35 Pengamatan VTEC pada satelit 24 di stasiun CKTP.....	69

Gambar 4.36 Gangguan Ionosfer Pada Satelit No 24 yang Terekam di 4 Stasiun	69
Gambar 4.37 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CAMP	70
Gambar 4.38 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CAMP	71
Gambar 4.39 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CKEN.....	71
Gambar 4.40 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CKEN.....	72
Gambar 4.41 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CMAK.....	73
Gambar 4.42 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CMAK.....	73
Gambar 4.43 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CPAL	74
Gambar 4.44 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CPAL	75
Gambar 4.45 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CTOL	75
Gambar 4.46 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CTOL	76
Gambar 4.47 Gangguan Ionosfer Pada Satelit No 21 yang Terekam di 5 Stasiun	77
Gambar 4.48 Alur Satelit No 15 yang Dipetakan Melalui SIP Dari Berbagai Stasiun	78
Gambar 4.49 Alur Satelit No 5 yang Dipetakan Melalui SIP Dari Berbagai Stasiun	79
Gambar 4.50 Orbit Satelit GPS Nomor 21 beserta titik IPP.....	80
Gambar 4.51 Alur Satelit No 24 yang Dipetakan Melalui SIP Dari Berbagai Stasiun	81
Gambar 4.52 Alur Satelit No 21 yang Dipetakan Melalui SIP Dari Berbagai Stasiun	82

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Stasiun CORS-GPS BIG	34
Tabel 3.2 Data Rentetan Gempa Bumi di Kabupaten Lombok Utara	36
Tabel 3.3 Data Rentetan Gempa Bumi di Kabupaten Palu dan Donggala.....	37
Tabel 4.1 Kecepatan Propagasi Gelombang <i>Acoustic</i> Pada Gempa 5 Agustus 2018	83
Tabel 4.2 Kecepatan Propagasi Gelombang <i>Acoustic</i> Pada Gempa 19 Agustus 2018 Pukul 04.10.....	84
Tabel 4.3 Kecepatan Propagasi Gelombang <i>Acoustic</i> Pada Gempa 19 Agustus 2018 Pukul 14.56.....	85
Tabel 4.4 Kecepatan Propagasi Gelombang <i>Acoustic</i> Pada Gempa 28 September 2018 Pukul 06.59.....	86
Tabel 4.5 Kecepatan Propagasi Gelombang <i>Acoustic</i> Pada Gempa 28 September 2018 Pukul 10.02.....	86

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang terletak pada pertemuan empat lempeng utama, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Laut Filipina dan Lempeng Pasifik (Pusat Studi Gempa Nasional 2017). Berdasarkan kondisi geologi tersebut mengakibatkan Indonesia mempunyai topografi yang bergunung serta rawan terjadinya gempa bumi. Pada tahun 2018 daerah Kabupaten Lombok Utara mengalami sejumlah rentetan gempa, dimulai dengan gempa permulaan yang berkekuatan 6,4 M_w pada 29 Juli 2018, dilanjutkan dengan gempa utama yang berkekuatan 6,9 M_w pada 5 Agustus 2018 dan gempa susulan lainnya (Yudi, dkk 2018). Pada tahun yang sama di Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala juga mengalami rentetan gempa bumi, dimulai dengan gempa permulaan yang berkekuatan 6,0 M_w , dan dengan gempa bumi utamanya berkekuatan sebesar 7,5 M_w pada 28 September 2018 yang mengakibatkan tsunami (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika 2018).

Gempa bumi yang terjadi di Kabupaten Lombok Utara terjadi akibat aktivitas sesar naik belakang Flores (*flores back arc thrust*), gempa bumi ini mengakibatkan tsunami dengan ketinggian berkisar 0,1 meter (Yudi, dkk 2018). Sedangkan gempa bumi yang terjadi di Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala terjadi akibat aktivitas sesar Palu-Koro. Hasil analisis mekanisme sumber menunjukkan bahwa gempa ini, dibangkitkan oleh deformasi dengan mekanisme pergerakan dari struktur sesar mendatar (*strike-slip fault*) (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika 2018). *Strike-slip fault* adalah merupakan sesar yang arahnya cenderung horizontal. Jenis sesar ini banyak ditemui di daerah perlipatan dimana arahnya dapat memotong poros lipatan secara diagonal dan sering kali tegak lurus (Uddin 2017).

Gempa bumi menghasilkan tiga energi gelombang, yaitu Gelombang *Acoustic* yang dihasilkan dekat dari pusat gempa bumi, kemudian menyebar ke atas dan mencapai lapisan F pada ionosfer.

Gelombang *Gravity* yang dihasilkan dari gelombang tsunami akibat dari gempa bumi yang besar. Gelombang *Rayleigh* dihasilkan dari gelombang permukaan yang merambat menjauhi pusat gempa (Heki 2006). Gelombang *Acoustic* yang dihasilkan selama gempa bumi merambat ke ionosfer secara tegak lurus dari kerak bumi yang membuat penyimpangan kerapatan elektron yang terdeteksi sebagai CIDs (*Coseismic Ionosphere Disturbances*) (Cahyadi dan Heki 2013).

Teknologi *Global Navigation Satellite System* adalah salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengamati pengaruh dari gempa bumi dan efek yang terjadi pada ionosfer dengan menggunakan satelit GNSS. Gelombang elektromagnetik yang ditransmisikan oleh satelit GPS terjadi *delay* ketika gelombang tersebut merambat melalui ionosfer. *Time-delay* atau penundaan ini dapat digunakan untuk menyimpulkan 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).

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa tentang bagaimana perubahan ionosfer yang terjadi akibat pengaruh dari gempa bumi besar yang terjadi di Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala dilihat dari aktifitas ionosfer melalui gelombang pembawa pada satelit GPS yang dipancarkan ke stasiun di bumi dan seberapa besar perubahan yang terjadi dilihat dari nilai TEC.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana perubahan aktifitas ionosfer akibat dari rentetan gempa bumi yang terjadi di Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala yang terjadi di tahun 2018 ?
2. Berapa besar perubahan TEC pada ionosfer akibat dari rentetan gempa bumi di Kabupaten Lombok Utara,

Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala pada tahun 2018 ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan permasalahan dari penelitian ini antara lain:

1. Penelitian ini dilakukan pada rentetan gempa bumi sesar naik yang memiliki kekuatan > 6 Mw di Kabupaten Lombok Utara mulai tanggal 5 Agustus 2018 sampai 19 Agustus 2018.
2. Penelitian juga dilakukan pada rentetan gempa bumi sesar mendatar yang memiliki kekuatan > 6 Mw di Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala mulai tanggal 28 September 2018 sampai 8 Oktober 2018.
3. Pada penelitian yang dilakukan di Kabupaten Lombok Utara digunakan data pengamatan dari CORS GNSS CMAT, CDNP, CNYU, CPES, CLBJ, CSIT, PALP, CTOL, CAMP, CBAL, CMLI, CPAL, CKEN, CMAK, CBIT, CRAU, CNAU, CPUT, CKTP, CPON, dan CBAS dari Badan Informasi Geospasial pada tanggal 5 Agustus 2018 sampai 19 Agustus 2018.
4. Pada penelitian yang dilakukan di Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala digunakan data pengamatan dari CORS GNSS PALP, CTOL, CAMP, CBAL, CMLI, CPAL, CKEN, CMAK, CBIT, CRAU, CNAU, CPUT, CKTP, CPON, dan CBAS dari Badan Informasi Geospasial pada tanggal 27 September 2018 sampai 8 Oktober 2018.
5. Pada penelitian ini juga menggunakan data navigasi satelit yang sesuai dengan tanggal pengamatan pada kedua lokasi penelitian.
6. Penelitian ini menentukan bagaimana perubahan ionosfer akibat rentetan gempa bumi dengan pengukuran TEC pada *receiver* CORS GNSS di Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh aktifitas gempa bumi pada ionosfer di sekitar pusat gempa di Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala.
2. Menentukan nilai gangguan pada ionosfer akibat dari gempa bumi di Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala pada tahun 2018 menggunakan pengamatan TEC.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

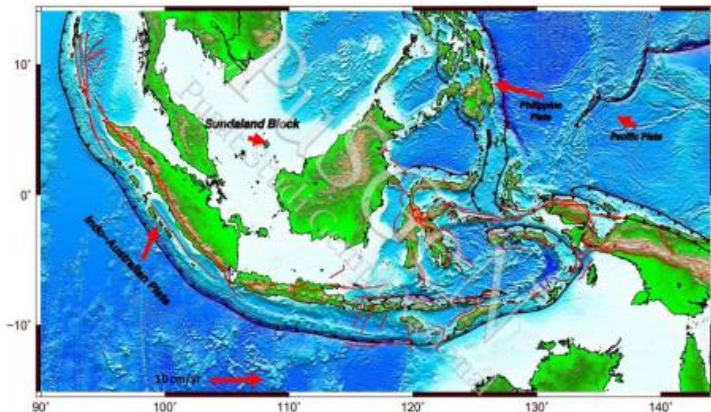
Adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui informasi aktifitas ionosfer yang dilihat dari nilai TEC akibat dari rentetan gempa bumi sesar di Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tektonik Lempeng

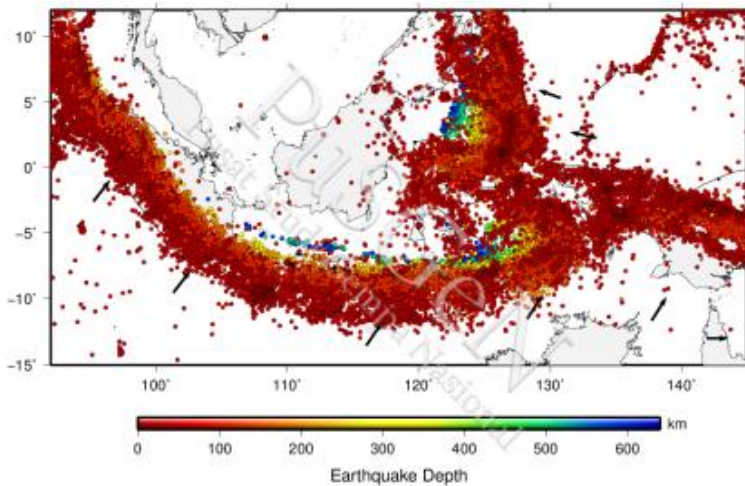
Pada lebih dari 300 juta tahun lalu, sebuah massa tunggal yang sangat besar (*a single gigantic land mass*) yang disebut sebagai “pangea” secara perlahan pecah dan bergerak membentuk konfigurasi lempeng bumi seperti sekarang (Hastuti dan Susilo 2007).

Wilayah Indonesia yang terletak pada pertemuan lempeng besar dunia dan beberapa lempeng kecil, menyebabkan daerah tersebut berpotensi mengalami banyak kejadian gempa. Indonesia dikelilingi oleh empat lempeng utama, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik yang terlihat pada Gambar 2.1. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa tektonik di Indonesia dapat dibagi ke dalam beberapa lempeng kecil, yaitu Burma, Sunda, Laut Banda, Laut Maluku, Timor, Kepala Burung, Maoke, dan Woodlark (Pusat Studi Gempa Nasional 2017).



Gambar 2.1 Peta Tektonik Indonesia Tahun 2017
(Pusat Studi Gempa Nasional 2017)

Peristiwa gempa sering terjadi di sebagian besar wilayah Indonesia sebagaimana terlihat pada Gambar 2.2. Salah satu sumber gempa yang telah jelas teridentifikasi adalah zona subduksi aktif di bagian barat hingga bagian timur Indonesia. Selain itu, sisa energi dari proses tumbukan antar lempeng tersebut akan mengakibatkan adanya sesar di daratan atau lautan di beberapa pulau dan laut Indonesia (Pusat Studi Gempa Nasional 2017).



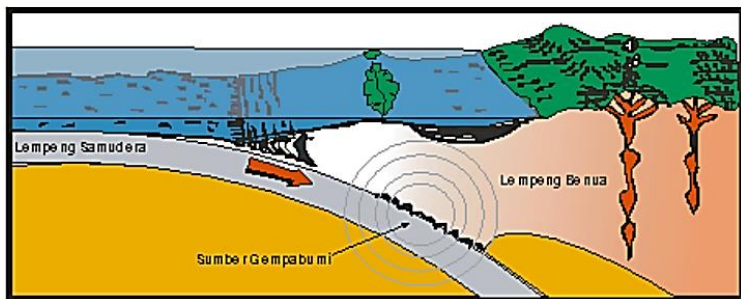
Gambar 2.2 Katalog Gempa PuSGeN Tahun 2017
(Pusat Studi Gempa Nasional 2017)

2.2 Gempa Bumi Sesar

Gempa bumi adalah berguncangnya bumi yang disebabkan oleh tumbukan antar lempeng bumi, patahan aktif aktivitas gunungapi atau runtuhannya batuan (ESDM 2010). Kekuatan gempa bumi akibat aktivitas gunung api dan runtuhannya batuan relatif kecil daripada gempa bumi akibat tumbukan antar lempeng bumi dan patahan aktif.

Lempeng samudera yang rapat massanya lebih besar ketika bertumbukkan dengan lempeng benua di zona tumbukan

(subduksi) dan akan menyusup ke bawah. Gerakan lempeng itu akan mengalami perlambatan akibat gesekan dari selubung bumi. Perlambatan gerak itu menyebabkan penumpukkan energi di zona subduksi dan zona patahan. Akibatnya di zona-zona itu terjadi tekanan, tarikan, dan geseran. Pada saat batas elastisitas lempeng terlampaui, maka terjadilah patahan batuan yang diikuti oleh lepasnya energi secara tiba-tiba. Proses ini menimbulkan getaran partikel ke segala arah yang disebut gelombang gempa bumi yang dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 2.3.



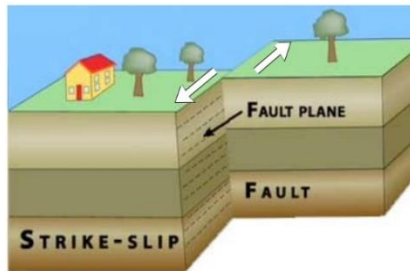
Gambar 2.3 Proses Terjadinya Gempa (ESDM 2010)

Sesar merupakan suatu patahan yang telah mengalami pergeseran sehingga terjadi perpindahan antara bagian-bagian yang berhadapan dengan arah yang sejajar dengan bidang patahan. Selain itu sesar juga merupakan jalur patahan di alam yang telah mengalami pergeseran dimana arahnya sejajar dengan bidang rekahnya. Sesar dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu *hangingwall* dan *footwall* (Uddin 2017).

Mekanisme gempa bumi sesar adalah karena gesekan dan kekakuan batuan, batuan tidak bisa meluncur atau mengalir melewati satu sama lain dengan mudah dan kadang-kadang semua gerakan berhenti. Ketika ini terjadi, stres menumpuk di bebatuan dan saat mencapai tingkat yang melebihi ambang ketegangan, patahan itu melepaskan energi yang terakumulasi sebagai gelombang seismik dan membentuk gempa bumi.

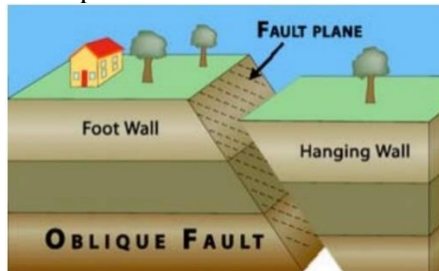
Berdasarkan jenis pindahan dan proses terjadinya, sesar dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Uddin 2017):

- a. Sesar mendatar (*strike-slip fault*) merupakan sesar yang arahnya cenderung horizontal. Jenis sesar ini banyak ditemui di daerah perlipatan dimana arahnya dapat memotong poros lipatan secara diagonal dan kadang-kadang tegak lurus. Sesar mendatar diilustrasikan seperti Gambar 2.4 dibawah ini.



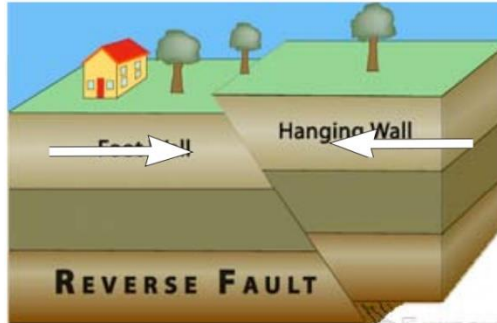
Gambar 2.4 Sesar mendatar (*strike-slip fault*)
(Incorporated Research Institutions for Seismology 2010)

- b. *Oblique slip fault* merupakan pergeseran pada sesar mendatar yang sejajar dengan permukaan sesar atau pergeseran sesarnya dapat membentuk sudut. Sedangkan bidang sesarnya sendiri dapat tegak lurus maupun menyudut dengan bidang horizontal. *Oblique slip fault* diilustrasikan seperti Gambar 2.4 dibawah ini.



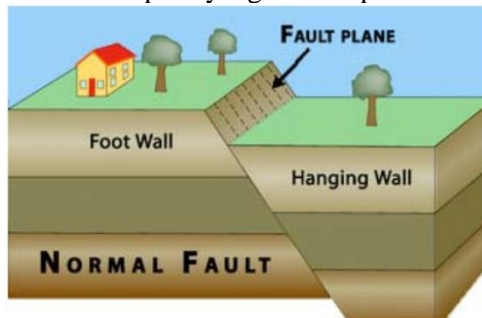
Gambar 2.5 *Oblique slip fault*
(Incorporated Research Institutions for Seismology 2010)

- c. Sesar naik (*reverse fault/thrust fault*) merupakan gejala dimana *hangingwall* bergeser relatif terhadap *footwall*. Susunan dari poros utamanya seperti gejala perlipatan dan umumnya memiliki sudut kemiringan pada bidang sesar kurang dari 45° . Gambaran mengenai sesar naik seperti yang terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Sesar naik (*reverse fault/thrust fault*)
(Incorporated Research Institutions for Seismology 2010)

- d. Sesar normal (*normal fault*) merupakan gejala dimana *hangingwall* bergeser relatif turun terhadap *footwall*. Poros utama cenderung menunjukkan arah vertikal yang memiliki sudut kemiringan pada bidang sesar sebesar 45° atau lebih besar. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.7.

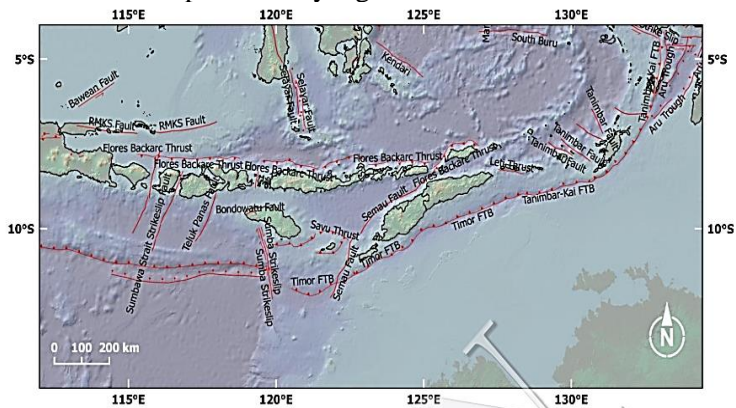


Gambar 2.7 Sesar normal (*normal fault*)
(Incorporated Research Institutions for Seismology 2010)

2.3 Karakteristik Gempa Bumi Lombok

BMKG telah melaporkan terjadinya gempa dengan kekuatan 7,0 M_w yang mengguncang wilayah Lombok, Bali dan Sumbawa pada Minggu tanggal 5 Agustus 2018 pukul 18:46:37 WIB. Pusat gempa di darat pada jarak 18 km arah barat laut Lombok Timur Provinsi Nusa Tenggara Barat dengan kedalaman 15 km. BMKG menuturkan, gempa ini merupakan *main shock* (gempa utama) dari gempa tanggal 29 Juli 2018 yang lalu (*fore shock*). BMKG mengeluarkan peringatan dini tsunami untuk daerah terdampak di Lombok Barat bagian utara (Yudi, et al. 2018).

Menurut BMKG gempa terjadi akibat aktivitas Sesar Naik Flores (*Flores Back Arc Thrust*), sesar ini merupakan salah satu sesar naik belakang busur kepulauan yang terbentuk akibat tunjaman balik lempeng Eurasia terhadap lempeng Samudra Indo-Australia. Sesar ini terletak membujur dari timur laut Bali sampai dengan utara Flores (Yudi, et al. 2018). Seperti yang terlihat pada Gambar 2.8 terdapat daerah yang memiliki sesar aktif.



Gambar 2.8 Sesar Aktif Daerah Bali-Busa Tenggara-Banda (Pusat Studi Gempa Nasional 2017)

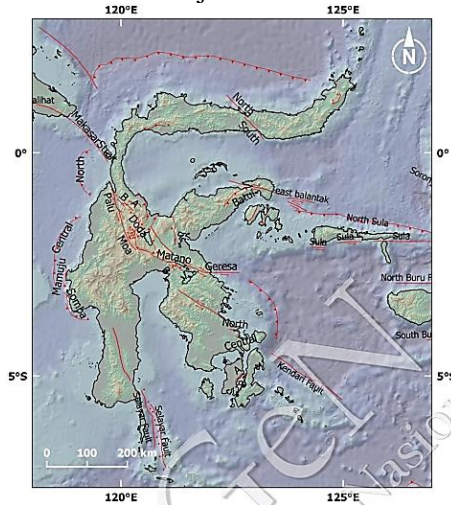
2.4 Karakteristik Gempa Bumi Palu dan Donggala

BMKG telah melaporkan terjadinya gempa dengan magnitudo 7,4 M_w mengguncang 26 km utara Donggala-Sulteng Jumat tanggal 28 September 2018 pukul 17:02:45 WIB, kedalaman 11 km. Dengan memperhatikan lokasi episenter dan kedalaman hiposenter, gempabumi yang terjadi merupakan jenis gempabumi dangkal akibat aktifitas sesar Palu Koro. Hasil analisis mekanisme sumber menunjukkan bahwa gempa ini, dibangkitkan oleh deformasi dengan mekanisme pergerakan dari struktur sesar mendatar (*Strike-Slip Fault*) (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika; 2018).

Sesar Palu Koro merupakan sesar utama di Pulau Sulawesi dan tergolong sebagai sesar aktif. Sesar Palu-Koro sendiri terbentuk dari tumbukan yang juga dihasilkan oleh NNW-SSE Palu-Koro dengan gerakan sesar sinistral (mengiri). Pergerakan sesar ini juga di karenakan oleh gaya *transtensional*, yang terdiri dari gaya *transpressive* (menekan) dan *extensional* (perluasan). Patahan Palu-Koro memanjang dari Palu ke arah Selatan Tenggara melalui Sulawesi Selatan bagian Utara melewati Teluk Palu menuju ke Selatan Bone sampai di laut Banda. Sesar ini diduga sebagai salah satu sesar yang sangat mengkhawatirkan. Pergeseran pada lempeng-lempeng tektonik yang cukup aktif di sesar Palu Koro membuat tingkat kegempaan di wilayah itu juga dikategorikan cukup tinggi. Wilayah yang rawan akibat aktivitas sesar ini, antara lain Kabupaten Buol, Tolitoli, Donggala, dan Kota Palu seperti yang terlihat pada Gambar 2.9 (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika; 2018).

Gempa yang diakibatkan oleh sesar mendatar (*strike-slip fault*) ini mengakibatkan tsunami yang terjadi di Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala. Menurut beberapa peneliti tsunami bukan diakibatkan murni dari gempa bumi melainkan ada teori yang menyatakan bahwa diakibatkan oleh longsor bawah laut. Tsunami yang mencapai ketinggian hampir 3 meter ini juga diakibatkan oleh bentuk teluk di Kabupaten Palu yang mendukung

tsunami memiliki kecepatan yang tinggi dan mengakibatkan banyak kerusakan dan korban jiwa.



Gambar 2.9 Peta Sesar Aktif di Pulau Sulawesi
(Pusat Studi Gempa Nasional 2017)

2.5 GNSS

GNSS (*Global Navigation Satellite System*) merupakan suatu sistem satelit yang terdiri dari konstelasi satelit yang menyediakan informasi waktu dan lokasi, memancarkan macam-macam sinyal dalam berbagai frekuensi secara terus menerus, yang tersedia di semua lokasi di atas permukaan bumi (UNOOSA 2011). GNSS adalah istilah yang digunakan untuk seluruh sistem satelit navigasi global seperti GPS, GLONASS, GALILEO, BeiDou (COMPASS), QZSS, dan NAVIC (IRNSS). Saat ini sistem satelit navigasi GPS (*Global Positioning System*) merupakan sistem yang paling terkenal dan beroperasi penuh, termasuk di Indonesia. Satelit GPS diluncurkan pertama kali pada tahun 1978 dan konfigurasi selesai pada tahun 1995. Sampai saat ini sudah ada 31 satelit GPS yang mengorbit dan beroperasi secara penuh.

Sistem satelit navigasi lainnya selain GPS yang beroperasi yaitu GLONASS (*Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya*

Sistema) yang diluncurkan oleh Rusia. GLONASS didesain untuk dapat memberikan posisi, kecepatan, dan waktu, di mana saja di permukaan bumi ini pada setiap saat dan waktu seperti halnya GPS. Saat ini GLONASS memiliki 24 satelit yang aktif. Prinsip penentuan posisi antara GPS dan GLONASS pada dasarnya sama, yaitu mengukur jarak ke beberapa satelit secara bersamaan. Selain GPS dan GLONASS, terdapat sistem satelit navigasi GALILEO yang diluncurkan oleh Uni Eropa dan juga sistem satelit navigasi BeiDou (COMPASS) yang diluncurkan oleh China. Selain itu India dan Jepang telah mengembangkan kemampuan GNSS *regional* dengan meluncurkan sejumlah satelit ke antariksa untuk menambah kemampuan yang sudah disediakan oleh sistem global dalam menyediakan tambahan cakupan *regional* yaitu IRNSS (NAVIC) yang dimiliki India dan QZSS yang dimiliki Jepang (UNOOSA 2011).

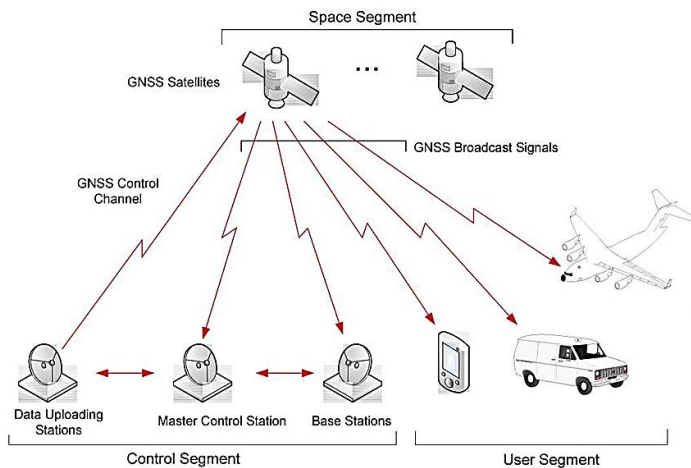
Saat ini, teknologi GNSS diaplikasikan untuk berbagai macam aplikasi seperti penentuan posisi, survei dan pemetaan. Selain itu dalam industri survei dan pemetaan teknologi GNSS telah memberikan dampak positif, dimana teknologi ini digunakan sebagai referensi dalam pengukuran, menggunakan receiver GNSS yang dapat mendukung berbagai macam aplikasi penentuan posisi baik itu untuk ketelitian yang tinggi seperti memantau pergerakan lempeng tektonik, survei deformasi, pemantauan gempa bumi maupun aplikasi praktis seperti navigasi. Selain itu teknologi GNSS juga digunakan untuk studi ionosfer dan troposfer, dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh sinyal satelit yang diterima antena *receiver* GNSS yang melewati medium lapisan atmosfer (Bakara 2011).

2.6 GPS

GPS adalah sistem radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit. Nama formalnya adalah NAVSTAR GPS, kependekan dari (*Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*). Sistem yang dapat digunakan oleh banyak orang sekaligus dalam segala cuaca ini, didesain untuk

memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti, dan juga informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia. Arsitektur dari sistem GPS disetujui oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat pada tahun 1973. Satelit yang pertama diluncurkan pada tahun 1978, dan secara resmi sistem GPS dinyatakan operasional pada tahun 1994 (Abidin 2006).

Pada dasarnya GPS terdiri dari tiga segmen utama, yaitu segmen angkasa (*space segment*) yang terdiri dari satelit-satelit GPS, segmen sistem kontrol (*control system segment*) yang terdiri dari stasiun-stasiun pemonitor dan pengontrol satelit, dan segmen pemakai (*user segment*) yang terdiri dari pemakai GPS termasuk alat-alat penerima dan pengolah sinyal dan data GPS. Ketiga segmen GPS dapat dilihat pada Gambar 2.10.

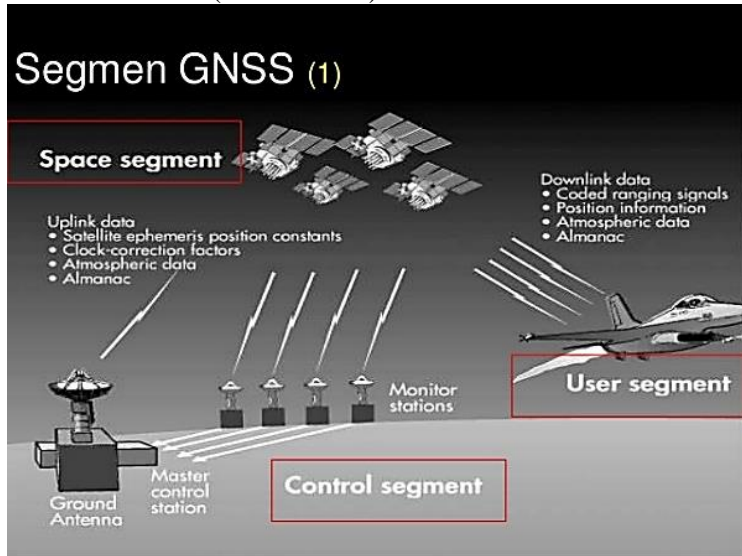


Gambar 2.10 Segmen GPS
(Guermah, et al. 2016)

2.7 Sinyal GNSS

GNSS memberikan sinyal tentang informasi posisi satelit maupun penerima, waktu, jarak melalui transmisinya ke bumi. Sinyal GNSS juga digunakan untuk menginformasikan kelayakgunaan (kesehatan) satelit kepada pengamat, serta informasi pendukung lainnya seperti parameter untuk perhitungan

koreksi jam satelit, parameter model ionosfer satu frekuensi (model Klobuchar), transformasi waktu GNSS ke UTC (*Universal Time Coordinate*) dan status konstelasi satelit, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.11 (Abidin 2006).



Gambar 2.11 Informasi Sinyal GNSS
(Marjuki 2014)

Pada dasarnya sinyal GNSS dapat dibagi atas 3 komponen yaitu:

- Penginformasian jarak (kode) yang berupa P(Y) dan kode C/A,
- Penginformasian Posisi satelit (*navigation message*), dan
- Gelombang pembawa (*carrier wave*) L1 dan L2.

2.8 Data RINEX

RINEX (*Receiver Independent Exchange*) adalah format data hasil pengamatan *receiver* GNSS dengan format yang *standard*. RINEX pertama kali dikembangkan oleh *University of Berne* untuk mempermudah mengolah data hasil pengamatan *receiver* GNSS

yang berbeda-beda (International GNSS Service 2017). Format data RINEX sudah mengalami beberapa pengembangan, yaitu:

- a. RINEX versi 1 adalah RINEX versi pertama yang dipublikasikan dalam *5th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning* tahun 1989. Informasi satelit yang adalam RINEX versi 1 hanya satelit GPS.
- b. RINEX versi 2 adalah RINEX versi kedua yang dipublikasikan dalam *Second International Symposium of Precise Positioning with the Global Positioning System* tahun 1990. RINEX versi 2 menambahkan informasi dari satelit GLONASS dan SBAS. RINEX versi 2 terdapat dalam beberapa versi yaitu RINEX versi 2.10, RINEX versi 2.11, dan RINEX versi 2.20.
- c. RINEX versi 3 adalah RINEX versi terbaru yang dipublikasikan pada tahun 2006. RINEX versi 3 memungkinkan untuk memberi informasi lebih banyak mengenai satelit GNSS. Informasi satelit yang ditambahkan dalam RINEX versi 3 yaitu Galileo, Beidou, dan Quazi Zenith. RINEX versi 3 terdapat beberapa versi yaitu RINEX versi 3.00, RINEX versi 3.01, RINEX versi 3.02 serta versi terbaru yaitu RINEX versi 3.03.

Informasi dasar yang harus ada dalam data RINEX yaitu: waktu berisi informasi waktu *receiver* menerima sinyal dari satelit, *pseudorange* berisi informasi jarak antara antena *receiver* ke antena satelit, *phase* berisi informasi fase yang dibawa dalam satu siklus, Doppler berisi informasi sinyal tambahan satelit Doppler, dan jumlah satelit berisi informasi jumlah satelit yang diamat oleh *receiver*. Dalam data RINEX versi terbaru yaitu versi 3 memuat tiga buah tipe *file* ASCII yaitu (International GNSS Service 2017):

- a. *Observation data file*
- b. *Navigation message file*
- c. *Meteorological data file*

Berikut merupakan contoh data RINEX *Observation data file* beserta penjelasan isi *file* tersebut.


```

2.11 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE
teqc 2018Jun8 ossy 20181005 07:26:34UTC PGM / RUN BY / DATE
Linux 2.6.32-573.12.1.x86_64|x86_64|gcc -static|Linux 64|=+ COMMENT
BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A/S CONDITION COMMENT
camp MARKER NAME
geodinamika Badan Informasi Geospasial (BIG) OBSERVER / AGENCY
1703825 LEICA GR10 3.21/6.403 REC # / TYPE / VERS
18272006 LEIAR20LEIM NONE ANT # / TYPE
-3339771.9520 5433061.8354 -96341.1473 APPROX POSITION XYZ
1 0.0550 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
6 L1 L2 C1 P2 S1 S2 WAVELENGTH FACT L1/2
30.0000 # / TYPES OF OBSERV
Interval COMMENT
Forced Modulo Decimation to 30 seconds COMMENT
DefaultJobName COMMENT
DefaultUserDiscription COMMENT
Project creator: COMMENT
SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9] COMMENT
L1 & L2: min(max(int(snr_dBHz/6), 0), 9) COMMENT
teqc windowed: start @ 2018 Sep 27 00:00:00.000 COMMENT
teqc windowed: end @ 2018 Sep 27 23:59:30.000 COMMENT
2018 9 27 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
18 LEAP SECONDS
END OF HEADER
18 9 27 0 0 0.0000000 0 16G03G06G07G09G17G22G23G28G30R1R07R05
R1R1R2R13R23
114152152.061 7 88949723.66647 21722438.480 21722437.960 46.650
45.800
117603596.414 7 91639170.13447 22379225.880 22379225.760 47.000
44.150
113859410.530 8 88721589.21947 21666729.360 21666726.080 50.050
42.800
120560321.093 7 93943091.98946 22941868.320 22941867.680 43.950
39.850
129876405.387 7 101202394.33245 24714662.460 24714660.140 42.050
34.500
125478965.503 6 97775781.16946 23877861.640 23877856.700 41.200
39.800

```

*Header
Section*

*Data
Section*

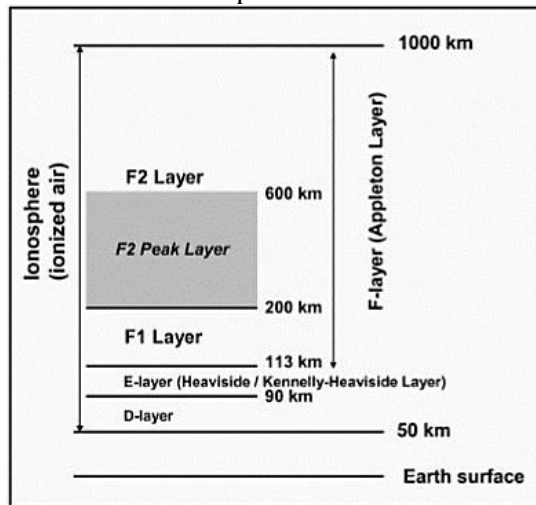
Gambar 2.12 RINEX Observasi

Pada sebuah *file* RINEX pasti terdapat bagian *header* dan data. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.12 diatas. Dalam bagian *header* berisi informasi mengenai tipe data, koordinat pendekatan dan tipe observasi yang terdapat dalam *file*. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.12 diatas ada 6 tipe *file* observasi yang tersimpan yaitu:

- L1 : *Carrier phase 1*
- L2 : *Carrier phase 2*
- C1 : L1 (*pseudorange C/A*) kode 1
- P2 : L2 (*pseudorange P*) kode 2
- S1 : Kekuatan sinyal L1
- S2 : Kekuatan sinyal L2

Pada bagian data dapat dijelaskan pada Gambar 2.13 berikut:

permukaan bumi. Lapisan D adalah lapisan ionosfer yang paling bawah, karena jaraknya relatif yang paling jauh dari matahari, maka ionisasi pada lapisan ini adalah yang terkecil dibandingkan lapisan-lapisan lainnya. Lapisan E terletak antara 85 – 140 km dari permukaan bumi. Pada malam hari, lapisan D dan E akan menghilang. Lapisan paling atas atmosfer dinamakan lapisan F, umumnya lapisan ini dibagi menjadi 2 yaitu F1 terletak antara 140 – 200 km dari permukaan bumi, dan F2 terletak 200 – 1000 km dari permukaan bumi. Pada malam hari lapisan F1 bergabung dengan lapisan F2 membentuk satu lapisan.



Gambar 2.14 Gambaran Umum Pembagian Lapisan Ionosfer (Davies 1990)

a. Lapisan D

Lapisan ionosfer yang paling bawah terentang antara ketinggian 60 km sampai 90 km, dan karena jaraknya yang paling jauh dari matahari, maka ionisasi pada lapisan ini paling kecil dibandingkan lapisan lainnya. Densitas elektron paling tinggi terjadi saat siang hari dan ditemukan pada ketinggian 60-70 km. Pada

ketinggian tersebut, penyebab ionisasi yang utama adalah radiasi kosmik yang dipengaruhi oleh medan magnet bumi. Karena itu konsentrasi elektron di lapisan ini bertambah besar ke arah kutub. Pada malam hari, elektron bergabung dengan molekul sehingga jumlah elektron bebas menjadi sangat kecil. Karena itu lapisan menghilang pada malam hari.

b. Lapisan E

Lapisan E yang terentang pada ketinggian 85 km sampai 140 km. Dengan densitas elektron maksimum di ketinggian sekitar 100 km yang dibentuk oleh ionisasi atom oksigen disebabkan radiasi *ultra violet* matahari, dengan densitas elektron maksimum terjadi di siang hari.

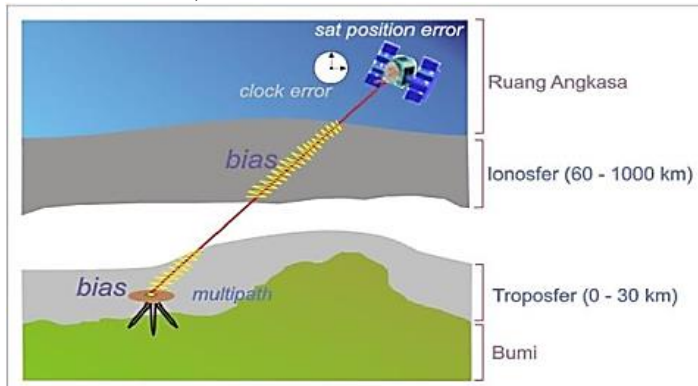
c. Lapisan F1

Lapisan tertinggi pada ionosfer adalah lapisan F yang berada pada ketinggian 140 km sampai 200 km menunjukkan variasi yang berbeda dibandingkan bagian di atasnya, sehingga lapisan ini dibagi menjadi lapisan F1 dan F2 (di atas 200 km). Densitas lapisan F1 mencapai maksimum pada ketinggian 160 km sampai 180 km terjadi satu jam setelah siang hari. Pada malam hari F1 dan F2 bergabung menjadi satu lapisan yaitu lapisan F.

d. Lapisan F2

Lapisan F2 merupakan lapisan tertinggi sehingga pengaruh matahari pada lapisan ini adalah yang terbesar dan terkuat dibandingkan terhadap lapisan – lapisan lainnya. Densitas elektron pada lapisan mencapai maksimum pada ketinggian 250 km sampai 500 km atau lebih yang terjadi setelah siang hari dan kadang - kadang sore hari. Hal ini disebabkan oleh letaknya yang cukup tinggi dan tetap menerima radiasi matahari selama beberapa jam setelah matahari terbenam.

Sinyal yang dipancarkan dari satelit harus melewati lapisan ionosfer dalam perjalanannya ke permukaan bumi. Elektron bebas di lapisan ionosfer akan mempengaruhi propagasi sinyal dan akan mengubah kecepatan, arah, polarisasi, dan kekuatan dari sinyal GPS yang melaluinya. Kesalahan posisi yang terjadi karena efek ini disebut *delay* ionosfer seperti yang terlihat pada Gambar 2.15 (Abidin, H. Z 2001).

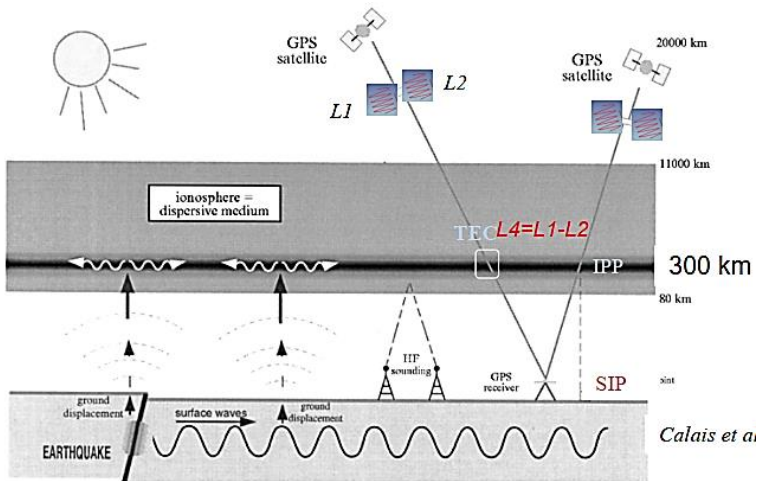


Gambar 2.15 Perjalanan Sinyal GNSS Di Lapisan Atmosfer (Daly dan Misra 1996)

Gempa bumi akan membentuk dan merambatkan tiga energi gelombang, yaitu Gelombang *Acoustic*, Gelombang *Gravity* dan Gelombang *Rayleigh*. Gelombang *Acoustic* yang dihasilkan secara tegak lurus dari kerak bumi selama gempa merambat ke ionosfer dan membuat gangguan pada lapisan atmosfer terutama pada lapisan ionosfer dengan terjadinya variasi *Total Electron Content* (TEC). Gelombang akibat gempa bumi ini dapat mempengaruhi kerapatan elektron di ionosfer yang biasa disebut dengan *Coseismic Ionospheric Disturbances* (CIDs) (Heki dan Ping, Directivity and apparent velocity of the coseismic ionospheric disturbances observed with a dense GPS array 2005).

Semakin besar kekuatan gempa bumi maka gangguan yang akan dihasilkan pada atmosfer akan besar juga. Untuk menjelaskan

bagaimana gempa bumi mempengaruhi ionosfer dapat dilihat pada Gambar 2.16 berikut.



Gambar 2.16 Pengaruh Gempa Bumi Terhadap Ionosfer
(Cahyadi 2014)

2.10 Kombinasi Bebas Ionosfer

Satelit GPS terletak diatas permukaan bumi setinggi 20.000 km yang mengirimkan sinyal gelombang mikro dengan dua gelombang pembawa (L1 dan L2), dan gelombang tersebut datang melalui ionosfer sebelum sampai di *receiver*. Untuk mendapatkan posisi yang akurat, dilakukan penghilangan atau penghapusan penundaan ionosfer (*ionospheric delay*) melalui pengkombinasian *ionospheric-free linear combination* dari dua fase gelombang pembawa (L3) (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger dan Collins 2001). Rumus pengkombinasiannya adalah sebagai berikut:

$$L_3 = \frac{f_1^2}{(f_1^2 - f_2^2)} L_1 - \frac{f_2^2}{(f_1^2 - f_2^2)} L_2 \quad (2.1)$$

f_1, f_2 adalah frekuensi sinyal panjang gelombang L1 dan L2, berurutan. Data kombinasi bebas ionosfer umumnya digunakan untuk aplikasi GPS yang jarak antar stasiunnya relatif besar, yaitu dalam orde ratusan km atau lebih, dimana efek bias ionosfer umumnya relatif besar. Dapat diketahui bahwa yang dieliminasi dengan pengkombinasian kedua data tersebut adalah efek ionosfer orde pertama, yang merupakan komponen bias ionosfer yang paling besar dalam data GPS.

Kombinasi bebas ionosfer tidak mengubah amplitudo dari kesalahan dan bias yang besarnya tidak bergantung pada frekuensi, seperti kesalahan orbit dan bias troposfer. Sumber dari kesalahan dan bias yang besarnya bergantung pada frekuensi sinyal, seperti *multipath*, bias ionosfer, dan *noise* akan berubah sesudah pengombinasian (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger dan Collins 2001).

2.11 Kombinasi Linier Ionosfer

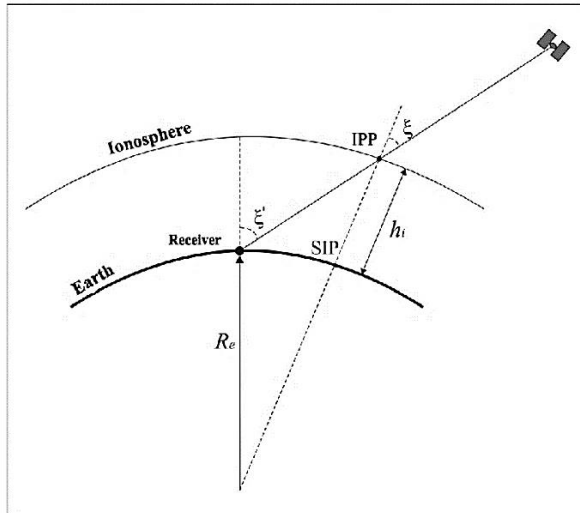
Untuk studi ionosfer, fase berbeda dari dua frekuensi (L4) yang sering dikenal dengan kombinasi *linear* ionosfer atau *ionospheric linear combination*. Untuk mendapatkan L4, L1 dan L2 dikonversi dari radian ke panjang dengan mengalikan setiap panjang gelombang pembawa. Perbedaan antara L1 dan L2 ditentukan untuk mendapatkan L4. TEC didapatkan dari L4 dengan mengalikan dengan faktor skala (Cahyadi dan Heki 2013). Rumus kombinasinya adalah sebagai berikut:

$$\Delta L_4 = L_1 - L_2 \quad (2.2)$$

$$\Delta TEC = \frac{1}{40,308} \frac{f_1^2 f_2^2}{(f_1^2 - f_2^2)} \Delta L_4 \quad (2.3)$$

Dimana 40,308 didapatkan dari muatan elektron, massa elektron dan permisifitas ruang hampa. Kombinasi *linear* ionosfer lebih jauh sering digunakan untuk mendapatkan TEC dengan menghilangkan ambiguitas (*cycle-slips*) dan frekuensi bias dalam

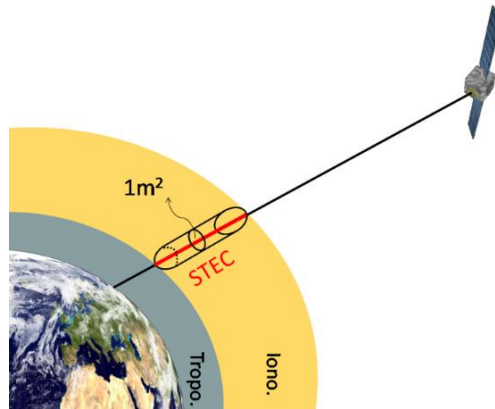
data fase (Abidin 2006). Dengan membawa perbedaan antara L1 dan L2 fase (L4), dapat di perhatikan perubahan temporal TEC selama jarak antara satelit GPS ke *receiver* atau *Line Of Sight* disebut (*Slant TEC*). Perpotongan LOS dan ionosfer disebut *Ionospheric Pierce Point* (IPP), dan proyeksi dari IPP ke atas permukaan tanah disebut *Subionospheric Point* (SIP) seperti yang terlihat pada Gambar 2.17 (Cahyadi dan Heki 2013).



Gambar 2.17 Perbedaan IPP dan SIP
(Todorović Drakul, et al. 2017)

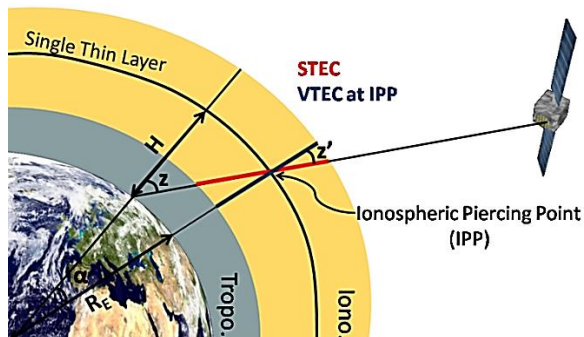
2.12 TEC (Total Electron Content)

TEC didefinisikan sebagai jumlah total elektron di dalam plasma terionisasi dalam bentuk tabung imajiner (dalam bentuk sayatan 1 m^2) antara satelit dan penerima GPS, seperti yang terlihat pada Gambar 2.18. Kerapatan plasma di ionosfer selalu berubah terhadap waktu dalam bentuk variasi harian, musim dan adanya aktivitas matahari. Karena itu, variasi TEC terhadap waktu mencerminkan dinamika antariksa dekat bumi.



Gambar 2.18 *Total Electron Content*
(Bolaji 2013)

TEC didefinisikan secara lebih spesifik dinamakan *Slant Total Electron Content* (STEC). Disamping STEC, dikenal juga istilah *Vertical Total Electron Content* (VTEC), yang mempresentasikan TEC dalam arah vertikal, seperti yang terlihat pada Gambar 2.19. Nilai TEC biasanya dinyatakan dalam TECU, dimana 1 TECU adalah sama dengan 10^{16} elektron/m². Nilai TEC ionosfer pada umumnya berkisar antara 1 sampai 200 TECU.



Gambar 2.19 Pengertian STEC dan VTEC
(Bolaji 2013)

Kecepatan perambatan gelombang pada titik-titik di ionosfer adalah ditentukan oleh densitas elektron di titik-titik tersebut. Makin besar densitas elektron makin tinggi kecepatan perambatannya. Densitas elektron diukur dengan menghitung jumlah elektron di suatu kolom vertikal maupun slant setinggi 1 m di ionosfer dengan penampang melintang seluas 1 m^2 . Jumlah densitas elektron di suatu kolom vertikal maupun *slant* sepanjang lintasan sinyal dari pembangkit sinyal dengan penampang melintang seluas 1 m^2 atau sebagai integral vertikal dari densitas elektron.

Pemodelan TEC banyak dilakukan dengan beberapa teknik, diantaranya adalah *spherical harmonics*, *broadcasting ionospheric model* dan *polynomial*. Anomali ionosfer dapat diukur dari simpangannya terhadap nilai TEC kondisi normal. Kondisi normal sebagai referensi dapat ditentukan dari nilai median 27 hari pada tiap jam nilai TEC. Ukuran gangguan ini dapat dihitung dari simpangan TEC pada hari dan jam tertentu terhadap nilai median TEC tersebut, kemudian dijadikan dalam persen dengan membaginya dengan nilai mediannya. Kondisi ionosfer dapat dikelompokkan menjadi 4 kondisi: tenang, moderat, badai, dan badai intensif. Pengelompokan ini bisa diukur dengan nilai logaritma perbandingan TEC dengan nilai mediannya (Muslim 2009).

Teknologi GPS memiliki potensi besar untuk menentukan nilai TEC terutama untuk wilayah yang cukup luas dan banyak tertutup air seperti Indonesia (Abidin 2006). Disamping itu, karena GPS dapat dimanfaatkan secara kontinu tanpa tergantung waktu, tempat dan cuaca, maka penentuan TEC dengan GPS dapat dilakukan secara intensif, mudah, efisien, juga ekonomis.

2.12.1 Menentukan STEC dan VTEC

Penentuan nilai TEC (VTEC maupun STEC) dengan GPS pada dasarnya dilakukan dengan menggunakan dengan jarak ukuran (*pseudorange* maupun fase) pada dua frekuensi yang berbeda. Karena besarnya bias jarak ionosfer tergantung

pada frekuensi, maka dengan membandingkan kedua jarak ukuran tersebut, dengan menggunakan formulasi matematik tertentu, nilai VTEC maupun STEC dapat ditentukan. Perlu ditekankan bahwa karena satelit GPS bergerak dalam orbitnya, maka secara teoritis yang dihitung dari pengamatan GPS pada dasarnya adalah nilai TEC pada titik – titik ionosfer (titik perpotongan sinyal dengan lapisan bawah ionosfer) atau yang disebut *Ionosphere Pierce Point* (IPP) yang umumnya berbeda dengan titik lokasi antena GPS.

Jika digunakan data *pseudorange* pada dua frekuensi P1 dan P2 maka nilai TEC pada suatu epok tertentu dapat ditentukan dengan formula berikut (Denaro 2015):

$$STEC = \frac{(P_1 - P_2) + (MP_1 - MP_2) - (vP_1 - vP_2)}{40,28\left(\frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2}\right)} \quad (2.4)$$

Dalam penentuan STEC dengan menggunakan data *pseudorange* dua frekuensi, efek kesalahan *multipath* dengan notasi M dan *noise* dengan notasi v pada data pengamatan umumnya diasumsikan telah diminimalkan dengan strategi pengamatan tertentu ataupun dengan strategi pengolahan data seperti *smoothing* dan *filtering*. Sehingga rumus diatas umumnya disederhanakan menjadi berikut:

$$STEC = \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{40,28(f_2^2 - f_1^2)} \quad (2.5)$$

Dalam kasus penggunaan data jarak fase pada dua frekuensi, L1 dan L2, maka seandainya efek kesalahan *multipath* dan *noise* pada data pengamatan diasumsikan telah diminimalkan dengan strategi pengamatan tertentu ataupun dengan strategi pengolahan data seperti *smoothing* dan

filtering, maka nilai STEC pada suatu epok tertentu dapat ditentukan dengan formula berikut (Denaro 2015):

$$STEC = \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{40,28(f_2^2 - f_1^2)} \cdot [(L_1 - L_2) + (\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2)] \quad (2.6)$$

Dimana bilangan ambiguitas fase sinyal L1 dan L2 yaitu N1 dan N2 adalah bilangan yang tidak diketahui nilainya. Untuk dapat menentukan nilai STEC dari data fase dari suatu epok tertentu, maka nilai ambiguitas fase tersebut harus ditentukan terlebih dahulu. Namun perlu ditekankan bahwa menentukan ambiguitas fase secara benar bukanlah suatu pekerjaan yang mudah apalagi dalam mode *one-way*, maka dengan mengingat bahwa nilai ambiguitas fase dari waktu ke waktu tidak berubah selama tidak terjadi *cycle slip*, persamaan dibawah ini umumnya diterapkan untuk menghitung perubahan STEC dari waktu ke waktu.

Dengan mengansumsikan tidak terjadi *cycle slip* antara epok – epok yang berurutan (t_1 dan t_2) sehingga $N_1(t_1) = N_1(t_2)$ dan $N_2(t_1) = N_2(t_2)$, maka persamaan diatas dapat dituliskan dalam bentuk:

$$\delta STEC = \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{40,28(f_2^2 - f_1^2)} \cdot (\delta L_1 - \delta L_2) \quad (2.7)$$

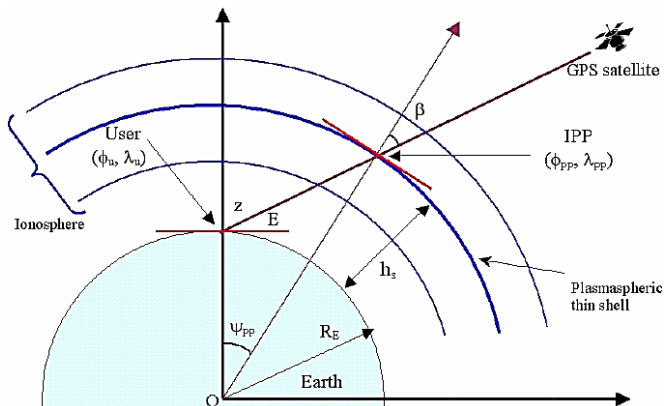
Dimana $\delta STEC$, δL_1 , δL_2 adalah selisih nilai STEC, jarak fase L1 dan L2 antara dua epok yang berurutan. Perlu dicatat bahwa seandainya diperlukan nilai VTEC daripada nilai STEC, maka untuk mendapatkan nilai VTEC dari nilai STEC dititik ionosfer tertentu (i) pada suatu epok tertentu (t), formula berikut dapat digunakan (Denaro 2015):

$$VTEC_1(t) = STEC_1(t) \cdot \cos z'_i(t) \quad (2.8)$$

Dimana z' adalah sudut zenith ke satelit di titik ionosfer. Sudut zenith satelit di titik ionosfer (z') dapat dihitung dari sudut zenith (z) atau sudut elevasi (e) di titik pengamat dengan formula berikut (Denaro 2015) :

$$z' = \sin^{-1} \left[\frac{R_e}{R_e + h_m} \sin(z) \right] = \sin^{-1} \left[\frac{R_e}{R_e + h_m} \cos(e) \right] \quad (2.9)$$

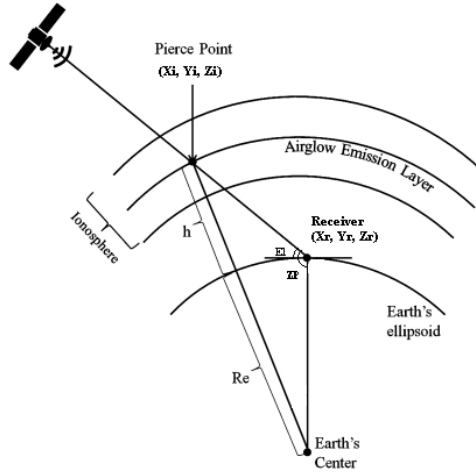
Dimana R_e adalah radius bumi rata – rata (~6371 km) dan h_m adalah ketinggian lapisan ionosfer yang dianggap representatif.



Gambar 2.20 Geometri Model Ionosfer Lapisan Tunggal (Bolaji 2013)

2.13 IPP (Ionospheric Pierce Point)

IPP (*Ionospheric Pierce Point*) merupakan perpotongan antara satelit ke receiver atau *line of sight* dan ionosfer. Posisi dari IPP ini biasanya berjarak 300 km dari permukaan bumi. Penjelasan mengenai IPP dapat dijelaskan pada Gambar 2.21 berikut (Sharma, et al. 2018).



Gambar 2.21 Geometri Model Untuk Menentukan IPP
(Sharma, et al. 2018)

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa El merupakan sudut ketinggian dari receiver ke satelit, R_e adalah jarak bumi (~ 6371 km), h adalah ketinggian IPP (~ 300 km). Model matematika untuk menentukan posisi IPP adalah sebagai berikut (Cahyadi 2014).

Parameter yang diperlukan adalah koordinat kartesian satelit (X_s, Y_s, Z_s) dan koordinat kartesian receiver (X_r, Y_r, Z_r) . Pertama perlu dicari jarak antara satelit ke receiver dengan rumus:

$$d = \sqrt{(X_r - X_s)^2 + (Y_r - Y_s)^2 + (Z_r - Z_s)^2} \quad (2.10)$$

Kemudian mencari sudut yang dibentuk antara jarak pusat bumi ke satelit dan jarak receiver ke satelit dengan rumus:

$$ZP = \left(\frac{D^2 + d^2 - S^2}{2 \times D \times d} \right) \quad (2.11)$$

Dimana D dan S merupakan jarak receiver ke pusat bumi dan jarak satelit ke pusat bumi dengan rumus berikut:

$$D = \sqrt{(X_r - X_o) + (Y_r - Y_o) + (Z_r - Z_o)} \quad (2.12)$$

$$S = \sqrt{(X_s - X_o) + (Y_s - Y_o) + (Z_s - Z_o)} \quad (2.13)$$

Setelah sudut ZP ditentukan kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari El dengan rumus berikut:

$$El = \frac{\pi}{2} - (\pi - \cos^{-1}ZP) \quad (2.14)$$

Kemudian menentukan jarak IPP terhadap jarak pandang satelit ke pusat bumi:

$$d_{ipp} = (-Re \times \sin El) + \sqrt{(Re^2 \times \sin^2 El) - (Re^2 - (Re + 300000)^2)} \quad (2.15)$$

Setelah itu menentukan koefisien sudut (a_x , a_y , a_z) dengan menggunakan rumus berikut:

$$a_x = \frac{(X_r - X_s)}{d} \quad (2.16)$$

$$a_y = \frac{(Y_r - Y_s)}{d} \quad (2.17)$$

$$a_z = \frac{(Z_r - Z_s)}{d} \quad (2.18)$$

Setelah ditentukan posisi IPP dengan menggunakan rumus berikut:

$$IPP_X = X_r - (d_{ipp} \times a_x) \quad (2.19)$$

$$IPP_Y = Y_r - (d_{ipp} \times a_y) \quad (2.20)$$

$$IPP_Z = Z_r - (d_{ipp} \times a_z) \quad (2.21)$$

2.14 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Adhi Dermawan dengan judul “Analisis Perubahan Ionosfer Akibat Letusan Gunung Berapi Dengan Pengamatan *Total Electron Content* GNSS (Studi Kasus: Gunung Agung Bali)” menerangkan bahwa pada lapisan ionosfer dapat mempengaruhi perambatan atau propagasi elektromagnetik karena memiliki sifat memantulkan gelombang yang mempunyai panjang gelombang yang mirip seperti gelombang radio. Pada lapisan ionosfer ini, sinyal GPS (*Global Positioning System*) dapat menambah waktu perambatannya yang besarnya tergantung pada *Total Electron Content* (TEC) dan frekuensi sinyal GPS. Sehingga menjadi penyebab kesalahan ukuran jarak dari satelit ke *receiver*. Pada penelitiannya pada studi meletusnya gunung Agung, memberikan keterangan bahwa pada proses erupsi gunung Agung ini mengakibatkan perubahan TEC di atas ataupun di daerah sekitar gunung Agung (Dermawan 2018).

Pada penelitian yang lain yang dilakukan oleh Febrian Adi Saputra dengan judul “Analisa Perubahan Ionosfer Akibat Gempa Bumi Sumatra Barat Tanggal 2 Maret 2016” menerangkan bahwa pengamatan di lima stasiun yang berada di sekitar gempa bumi menggunakan satelit GPS selama dua hari sebelum, saat terjadi, dan dua hari sesudah terjadinya gempa didapatkan bahwa anomali TEC yang signifikan terdapat pada hari saat terjadinya gempa. Fluktuasi yang didapatkan dari semua stasiun pengamatan diperoleh dari satelit nomor 17 dengan waktu munculnya fluktuasi tersebut adalah sekitar 15 menit setelah gempa terjadi (Saputra 2017).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang pertama dilakukan pada stasiun pengamatan CORS GNSS milik BIG yang berada disekitar lokasi gempa bumi utama yang ada di Kabupaten Lombok Utara dengan sepisenter $8,26^{\circ}$ S dan $116,44^{\circ}$ E (USGS 2018b). Stasiun pengamatan tersebut adalah CMAT, CDNP, CNYU, CPES, CLB, CSIT, PALP, CTOL, CAMP, CBAL, CMLI, CPAL, CKEN, CMAK, CBIT, CRAU, CNAU, CPUT, CKTP, CPON, dan CBAS dengan detail posisi yang dijelaskan pada Gambar 3.1 dan Tabel 3.1. Data pengamatan yang dipilih mulai tanggal 5 Agustus 2018 – 19 Agustus 2018.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian di Kabupaten Lombok Utara
(Badan Informasi Geospasial 2018)

Lokasi penelitian yang kedua dilakukan pada stasiun pengamatan CORS GNSS milik BIG yang berada disekitar lokasi gempa bumi utama yang ada di Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala dengan episenter $0,26^{\circ}$ S dan $119,85^{\circ}$ E (USGS 2018a). Stasiun pengamatan tersebut adalah PALP, CTOL, CAMP, CBAL, CMLI, CPAL, CKEN, CMAK, CBIT, CRAU, CNAU, CPUT, CKTP, CPON, dan CBAS dengan detail posisi yang dijelaskan pada Gambar 3.2 dan Tabel 3.1. Data pengamatan yang dipilih mulai tanggal 27 September 2018 – 8 Oktober 2018.



Gambar 3.2 Lokasi Penelitian di Kabupaten Palu dan Donggala (Badan Informasi Geospasial 2018)

Tabel 3.1 Data Stasiun CORS-GPS BIG

No	Nama Stasiun	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
1	CMAT	$8^{\circ} 34' 58,98954''$ S	$116^{\circ} 5' 51,46173''$ E
2	CDNP	$8^{\circ} 49' 5,18061''$ S	$115^{\circ} 8' 44,35987''$ E
3	CPES	$8^{\circ} 32' 2,11801''$ S	$114^{\circ} 6' 36,31534''$ E

No	Nama Stasiun	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
4	CNYU	8° 12' 43,9153" S	114° 22' 31,3404" E
5	CSIT	7° 42' 11,94545" S	114° 0' 46,37173" E
6	CLBJ	8° 29' 53,91347" S	119° 53' 5,67601" E
7	PALP	0° 54' 56,93021" S	119° 54' 20,099" E
8	CBAL	1° 15' 22,1294" S	116° 50' 22,97319" E
9	CTOL	1° 2' 31,41494" N	120° 49' 2,52609" E
10	CAMP	0° 52' 16,67601" S	121° 34' 46,44181" E
11	CMLI	2° 38' 0,68865" S	121° 5' 58,9768" E
12	CPAL	3° 0' 25,31591" S	120° 11' 32,57202" E
13	CKEN	3° 57' 46,23554" S	122° 32' 40,5313" E
14	CMAK	5° 8' 5,28865" S	119° 24' 28,85517" E
15	CBIT	1° 26' 35,25488" N	125° 11' 12,31264" E
16	CRAU	2° 8' 57,71836" N	117° 29' 49,15371" E
17	CNAU	3° 35' 9,78056" N	116° 37' 13,92797" E
18	CPUT	0° 52' 37,90993" N	112° 55' 21,98501" E
19	CBAS	1° 21' 38,66726" N	109° 18' 3,71521" E
20	CPON	0° 0' 13,01483" S	109° 19' 44,55837" E
21	CKTP	1° 49' 43,6651" S	109° 58' 39,3405" E

(Badan Informasi Geospasial 2018)

3.2 Data dan Peralatan

Bagian ini menjelaskan mengenai data dan peralatan yang akan digunakan dalam melaksanakan penelitian.

3.2.1 Data

Pada penelitian ini, dibutuhkan beberapa data untuk menunjang pelaksanaan penelitian. Berikut adalah data yang dibutuhkan dalam penelitian ini:

1. Data rentetan gempa bumi yang terjadi di Kabupaten Lombok Utara mulai tanggal 5 Agustus – 19 Agustus 2018, serta data rentetan gempa bumi di Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala mulai tanggal 27 September – 8 Oktober 2018. Dari data rentetan gempa bumi tersebut kemudian dipilih gempa bumi yang memiliki magnitudo > 6 untuk dilakukan penelitian. Data gempa bumi yang akan dilakukan penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 berikut:

Tabel 3.2 Data Rentetan Gempa Bumi di Kabupaten Lombok Utara

Tanggal/ DOY	Waktu (UT)	Kekuatan (Mw)	Lokasi
5 Agustus 2018/217	11.46	6,9	8,26°S ; 116,44°E
19 Agustus 2018/231	04.10	6,3	8,34°S ; 116,6°E
19 Agustus 2018/231	14.56	6,9	8,32°S ; 116,63°E

(BMKG 2019)

Tabel 3.3 Data Rentetan Gempa Bumi di Kabupaten Palu dan Donggala

Tanggal/ DOY	Waktu (UT)	Kekuatan (Mw)	Lokasi
28 September 2018/271	06.59	6,1	0,4°S ; 119,77°E
28 September 2018/271	10.02	7,5	0,26°S ; 119,85°E

(BMKG 2019)

2. Data rinex observasi yang sesuai dengan tanggal pengamatan pada saat terjadinya gempa bumi di kedua lokasi penelitian dari stasiun CORS-GNSS yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial.
3. Data navigasi satelit sesuai dengan tanggal pengamatan pada kedua lokasi penelitian yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial
4. Data program rdnx.f dan rdeph.f diunduh dari : <https://ep.sci.hokudai.ac.jp/~heki/software.html>.

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa perangkat lunak dan keras:

A. Perangkat Lunak

1. Sistem Operasi *Windows 10* dan *Linux Ubuntu 18.04.02 AMD64*.
2. Bahasa Pemrograman *Fortran*.
3. *Matlab R2018a*.
4. *Microsoft Office (Ms. Word dan Ms. Excel)*.

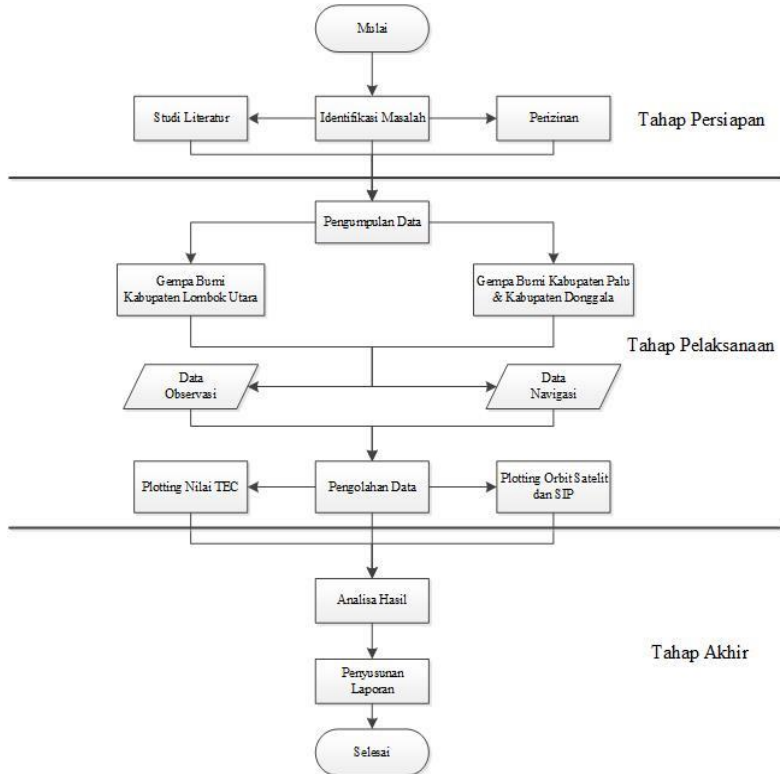
B. Perangkat Keras

Laptop ASUS A442U dengan spesifikasi sistem 64-bit, *prosesor Intel Core-i5 Gen 8th with NVIDIA Geforce 930MX*, dan *RAM 4GB*.

3.3 Metodologi Penelitian

Tahapan pekerjaan yang akan dilaksanakan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

3.3.1 Tahapan Pekerjaan



Gambar 3.3 Diagram Alir Pekerjaan

Berikut ini adalah penjelasan diagram alir tahapan pekerjaan penelitian di atas:

1. Tahap Persiapan

a. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini, permasalahan yang diidentifikasi adalah bagaimana menentukan perubahan TEC yang diamati dari beberapa stasiun CORS-GNSS pada saat terjadi gempa bumi di Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala.

b. Studi Literatur

Studi literatur berupa membaca literatur tentang bagaimana cara mengolah dan menentukan TEC yang didapatkan dari pengamatan CORS-GNSS.

c. Perizinan

Tahap ini dilakukan permohonan izin menggunakan data dari instansi Badan Informasi Geospasial, sehingga penelitian ini bersifat resmi.

2. Tahap Pelaksanaan

a. Pengumpulan Data

Pengumpulan data bertujuan untuk mengumpulkan dataset yang diperlukan untuk melakukan penelitian ini, yaitu:

- Data rinex observasi CORS-GNSS di sekitar lokasi gempa bumi di Kabupaten Lombok Utara dan data navigasi satelit untuk mengetahui orbit satelit.

- Data rinex observasi CORS-GNSS di sekitar lokasi gempa bumi di Kabupaten Palu & Kabupaten Donggala dan data navigasi satelit untuk mengetahui orbit satelit.

b. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan aplikasi *Fortran* pada sistem operasi *Linux* dan aplikasi *Matlab* pada sistem operasi *Windows*. Data program *rdeph.f* dan *rdrnx.f* dijalankan menggunakan aplikasi *Fortran*, data hasil pengolahan pada *Fortran* selanjutnya dilakukan pengeplotan pada *Matlab* secara visual. Pengolahan ini akan didapat nilai variasi TEC secara keseluruhan yaitu 24 jam lamanya dari beberapa satelit yang melintas.

3. Tahap Akhir

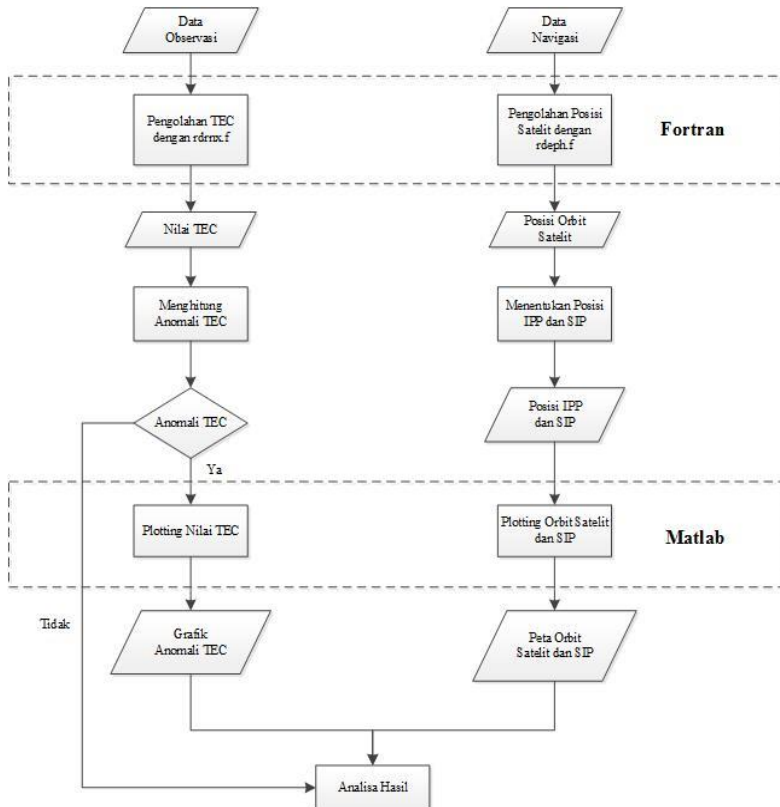
a. Analisa Data

Pada tahap ini adalah analisa hasil dari perhitungan anomali TEC yang dilihat pada hasil pengeplotan dengan *Matlab* dan diidentifikasi berapa lama anomali tersebut terjadi dan kapan terjadinya anomali tersebut.

b. Penyusunan Laporan

Pada tahap akhir pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan laporan sebagai hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

3.3.2 Tahapan Pengolahan



Gambar 3.4 Diagram Alir Pengolahan Data

Berikut adalah penjelasan diagram alir tahapan pengolahan data:

- a. Melakukan pengolahan data rinex Observasi yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial menggunakan program `rdrnx.f` untuk mendapatkan waktu dan besar nilai STEC di setiap stasiun pengamatan dan data rinex

Navigasi diolah menggunakan program *rdeph.f* untuk mendapatkan posisi orbit satelit yang melintas pada hari pengamatan. Pengolahan data ini dijalankan pada aplikasi *Fortran* pada sistem operasi *Ubuntu 18.04.02 AMD64*.

- b. Setelah didapatkan nilai STEC, kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui perubahan nilai (VTEC) *Vertical Total Electron Content* secara relatif, yaitu dengan mengurangkan nilai STEC yang telah didapat dengan perataannya polinomial pangkat enam. Anomali TEC didapatkan bila ada simpangan dari data satu periode bernilai lebih besar dari median-nya. Jika data tersebut terdapat anomali TEC maka dinyatakan ada gangguan pada lapisan ionosfer, sehingga dilanjutkan dengan pengeplotan hasil anomali tersebut pada aplikasi *Matlab* untuk menampilkan visualisasi grafik perubahan TEC tersebut. Jika data tersebut tidak terdapat anomali TEC, maka data tersebut tidak perlu diplot pada *Matlab*.
- c. Posisi orbit satelit yang telah didapatkan dari pengolahan menggunakan program *rdeph.f* pada aplikasi *Fortran* kemudian dilanjutkan pengolahan menentukan posisi *Ionospheric Pierce Point (IPP)* dan *Sub-Ionospheric Point (SIP)* untuk mengetahui posisi orbit satelit yang merekam TEC pada saat gempa bumi terjadi. Pengolahan ini dilakukan menggunakan aplikasi *Matlab* yang hasilnya adalah *plotting* posisi SIP di permukaan bumi.

- d. Pengeplotan digunakan untuk memvisualisasikan hasil pengolahan data, yang pertama yaitu nilai anomali TEC di setiap stasiun pengamatan, dan yang kedua adalah posisi orbit satelit GNSS yang melintas saat gempa terjadi serta SIP di permukaan bumi. Pengeplotan ini dilakukan menggunakan aplikasi *Matlab R2018a* yang bekerja pada sistem operasi *Windows*.
- e. Setelah didapatkan gambar hasil pengeplotan, kemudian dilanjutkan analisa seberapa besar nilai anomali TEC pada ionosfer dan dihubungkan dengan posisi SIP satelit yang melintas pada saat gempa terjadi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data RINEX CORS-GNSS Menggunakan Fortran

Data observasi dan data navigasi pada setiap stasiun yang digunakan untuk meneliti pengaruh gempa bumi terhadap ionosfer di kedua lokasi penelitian, yang diperoleh dari BIG dalam bentuk format RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*), kemudian diolah menggunakan program `rdrnx.f` untuk data observasi dan program `rdeph.f` untuk data navigasi. Kedua program tersebut dijalankan dengan software *Fortran* pada sistem operasi *Ubuntu 18.04.02 AMD64*.

Hasil pengolahan data observasi adalah data waktu dalam UTC dan nilai STEC (TECU) dengan interval waktu 30 detik pada satelit yang terekam disetiap stasiun pengamatan. Sedangkan hasil pengolahan data navigasi adalah data waktu dalam UTC dengan interval waktu 3 menit dan data posisi orbit satelit. Contoh hasil dari pengolahan data observasi dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut beserta penjelasannya:

	Waktu	STEC	Nama CORS
1	>	sat# 7 #data: 658 site:camp bias: 34.9962	
2	0.008	-0.0000	
3	0.017	-0.0040	
4	0.025	0.0239	
5	0.033	-0.0726	
6	0.042	-0.1754	
7	0.050	-0.1954	
8	0.058	-0.2645	
9	0.067	-0.1636	
10	0.075	-0.1766	
11	0.083	-0.2468	
12	0.092	-0.2691	
13	0.100	-0.3193	

Gambar 4.1 Hasil Pengolahan Data Observasi

Sedangkan untuk hasil pengolahan data navigasi dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut:

Interval Waktu	No Satelit	Koordinat Orbit Satelit
0.00	29	-.42053958921D+07 -.25830309476D+08 -.45746847767D+07
0.00	30	0.10294112486D+08 0.11775370165D+08 0.21476359678D+08
0.00	31	-.17344062567D+08 -.17599182472D+07 -.20121098234D+08
0.00	32	-.15814414898D+08 -.17046512176D+08 -.12876547109D+08
0.05	1	-.12813038230D+08 0.22170485862D+08 -.65856541766D+07
0.05	2	0.19798746901D+08 -.11513856611D+08 -.12687522639D+08
0.05	3	-.68565423718D+07 0.14033233517D+08 -.21501604789D+08
0.05	5	0.24284040727D+08 -.37715757290D+07 0.10236951398D+08
0.05	6	0.15665672455D+08 0.36776807700D+07 -.21107140917D+08
0.05	7	0.36889248856D+06 0.19265542726D+08 0.18303975438D+08
0.05	8	-.88615810482D+07 0.15138212172D+08 0.19939301284D+08
0.05	9	0.69146041059D+07 0.25378477831D+08 -.36644880239D+07

Gambar 4.2 Hasil Pengolahan Data Navigasi

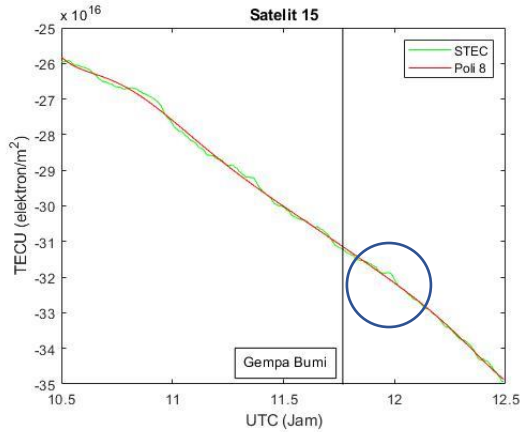
4.2 Analisa Gangguan TEC Pada Gempa Bumi di Kabupaten Lombok Utara

Nilai STEC hasil pengolahan data RINEX observasi menggunakan software *Fortran* kemudian diplot bersama dengan nilai peratanya / polinomial pangkat enam. Proses ini dilakukan untuk melihat apakah terdapat fluktuasi pada setiap satelit yang terekam oleh masing-masing stasiun akibat dari gempa bumi atau tidak. Data gempa bumi di Kabupaten Lombok Utara yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

4.2.1 Analisa Gangguan TEC (DOY 217, 5 Agustus 2018)

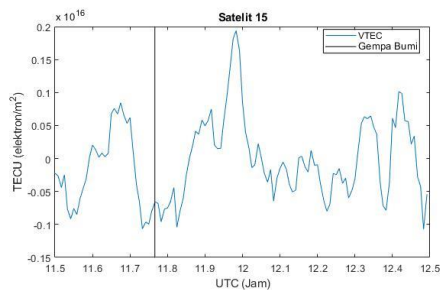
Gempa bumi yang terjadi pada tanggal 5 Agustus 2018 ini merupakan gempa bumi utama dari rentetan gempa yang terjadi di Kabupaten Lombok Utara. Besarnya pengaruh gempa akan dilihat dari nilai TEC setelah terjadinya gempa bumi. Berikut adalah hasil plot pada setiap stasiun dan satelit yang terdapat fluktuasi.

A. Pengamatan TEC dari stasiun CAMP Satelit nomor 15



Gambar 4.3 Perubahan STEC pada satelit 15 di stasiun CAMP

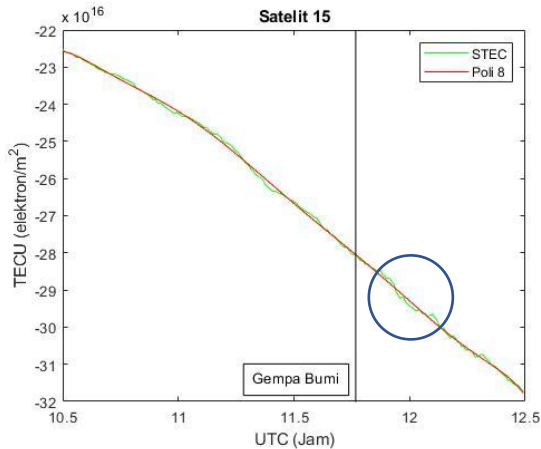
Pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.4 Pengamatan VTEC pada satelit 15 di stasiun CAMP

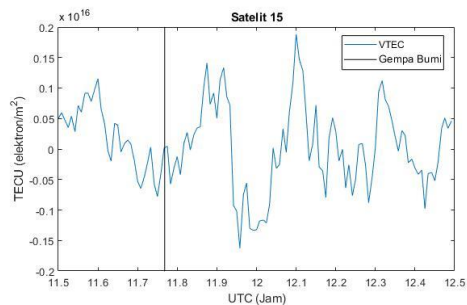
Pada Gambar 4.4 di atas menunjukkan bahwa gempa bumi terjadi pada pukul 11.46 UT. Dari gambar tersebut diketahui bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 13 menit kejadian gempa dengan besar nilai TEC maksimum yang terdeteksi adalah sekitar 0,19 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

B. Pengamatan TEC dari stasiun CNAU Satelit nomor 15



Gambar 4.5 Perubahan STEC pada satelit 15 di stasiun CNAU

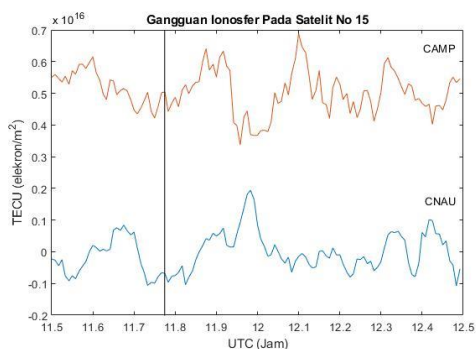
Pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.6 Pengamatan VTEC pada satelit 15 di stasiun CNAU

Pada Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 11.46 UT. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 19 menit kejadian gempa dengan besar nilai TEC maksimum yang terdeteksi adalah sekitar 0,19 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

Nilai VTEC yang terekam pada satelit nomor 15 yang tercatat dari 2 stasiun CORS GNSS secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.

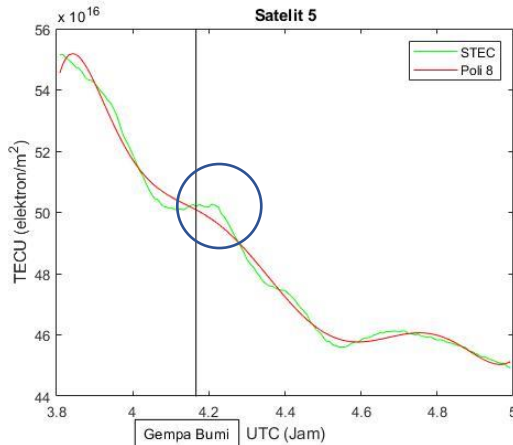


Gambar 4.7 Gangguan Ionosfer Pada Satelit No 15 yang Terekam di 2 Stasiun

4.2.2 Analisa Gangguan TEC (DOY 231, 19 Agustus 2018, 04.10)

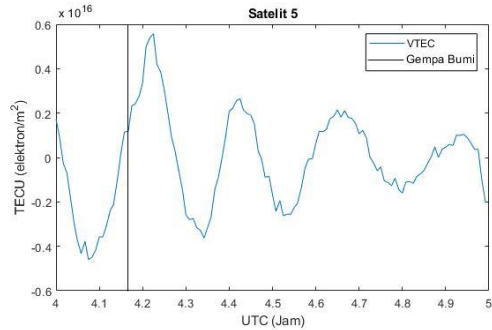
Gempa bumi yang terjadi pada tanggal 19 Agustus 2018 ini merupakan salah satu dari rentetan gempa yang memiliki kekuatan >6 Mw di Kabupaten Lombok Utara yang terjadi pukul 04.10 UT. Besarnya pengaruh gempa bumi ini akan dilihat dari nilai TEC setelah terjadinya gempa bumi. Berikut adalah hasil plot pada setiap stasiun dan satelit yang terdapat fluktuasi.

A. Pengamatan TEC dari stasiun CBAL Satelit nomor 5



Gambar 4.8 Perubahan STEC pada satelit 5 di stasiun CBAL

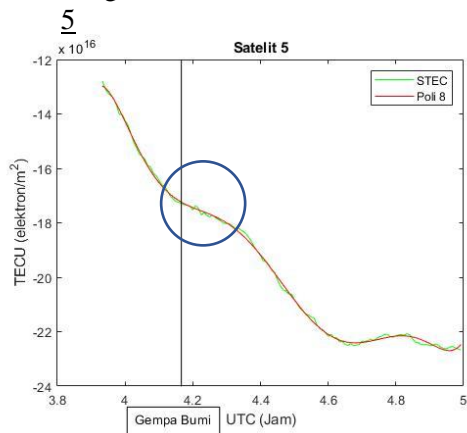
Pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.9 Pengamatan VTEC pada satelit 5 di stasiun CBAL

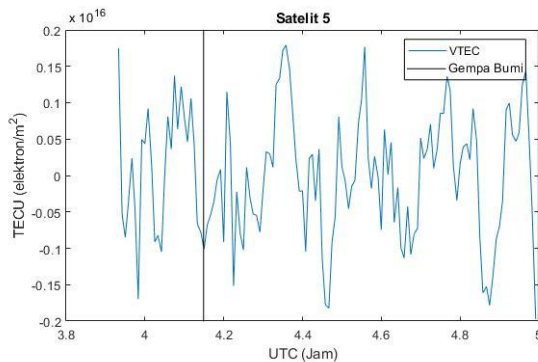
Pada Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 04.10 UT. Dari gambar tersebut diketahui bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 4 menit kejadian gempa dengan besar nilai TEC maksimum yang terdeteksi adalah sekitar 0,56 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

B. Pengamatan TEC dari stasiun CMLI Satelit nomor



Gambar 4.10 Perubahan STEC pada satelit 5 di stasiun CMLI

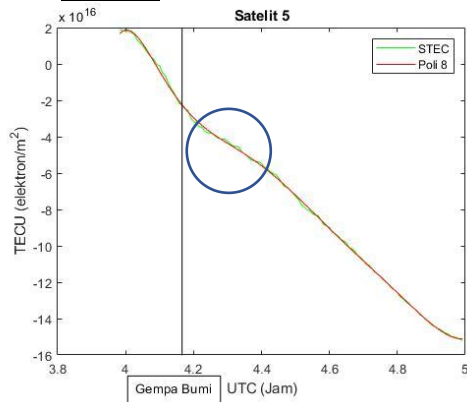
Pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.11 Pengamatan VTEC pada satelit 5 di stasiun CMLI

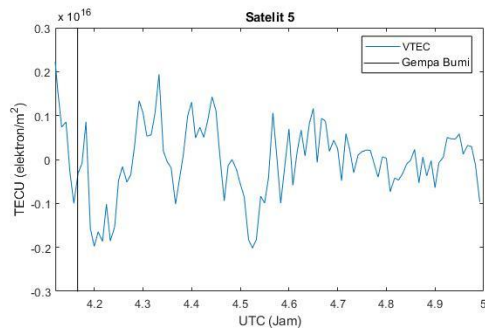
Pada Gambar 4.11 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 04.10 UT. Dari gambar tersebut diketahui bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 10 menit kejadian gempa dengan besar nilai TEC maksimum yang terdeteksi adalah sekitar 0,18 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

C. Pengamatan TEC dari stasiun CNAU Satelit nomor 5



Gambar 4.12 Perubahan STEC pada satelit 5 di stasiun CNAU

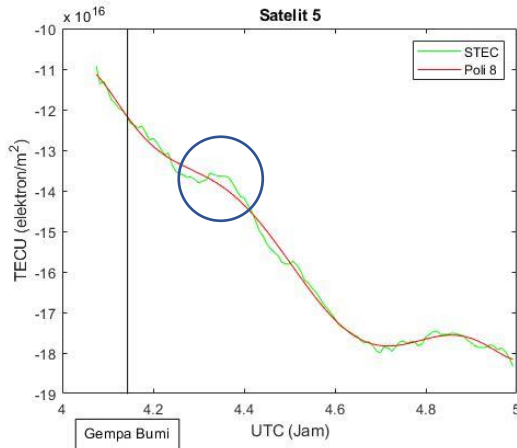
Pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.13 Pengamatan VTEC pada satelit 5 di stasiun CNAU

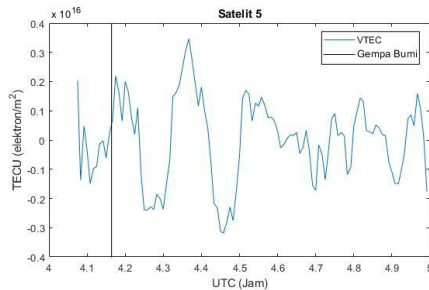
Pada Gambar 4.13 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 04.10 UT. Dari gambar dapat diketahui bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 10 menit kejadian gempa bumi dengan besar nilai TEC maksimum yang terdeteksi adalah sekitar 0,19 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum maka akan terjadi penurunan aktifitas pada ionosfer.

D. Pengamatan TEC dari stasiun CPAL Satelit nomor 5



Gambar 4.14 Perubahan STEC pada satelit 5 di stasiun CPAL

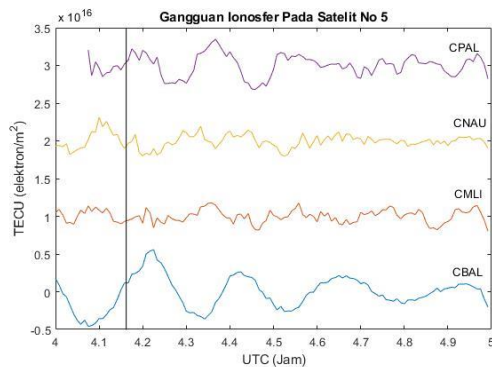
Pada Gambar 4.14 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.15 Pengamatan VTEC pada satelit 5 di stasiun CPAL

Pada Gambar 4.15 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 04.10 UT. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 12 menit kejadian gempa dengan besar nilai TEC maksimum yang terdeteksi adalah sekitar 0,36 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

Nilai VTEC yang terekam pada satelit nomor 5 yang tercatat dari 4 stasiun CORS GNSS secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.16 berikut.

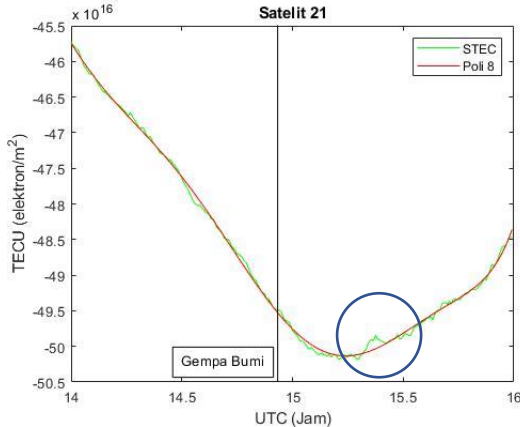


Gambar 4.16 Gangguan Ionosfer Pada Satelit No 5 yang Terekam di 4 Stasiun

4.2.3 Analisa Gangguan TEC (DOY 231, 19 Agustus 2018, 14.56)

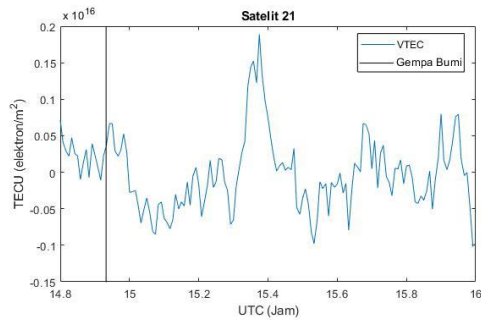
Gempa bumi yang terjadi pada tanggal 19 Agustus 2018 ini merupakan salah satu dari rentetan gempa yang memiliki kekuatan >6 Mw di Kabupaten Lombok Utara yang terjadi pada pukul 14.56 UT. Besarnya pengaruh gempa bumi ini akan dilihat dari nilai TEC setelah terjadinya gempa bumi. Berikut adalah hasil plot pada setiap stasiun dan satelit yang terdapat fluktuasi.

A. Pengamatan TEC dari stasiun CAMP Satelit nomor 21



Gambar 4.17 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CAMP

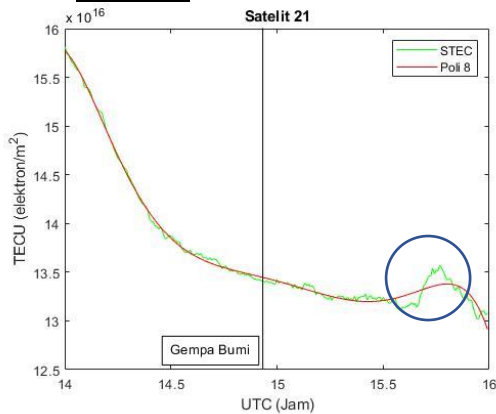
Pada Gambar 4.17 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.18 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CAMP

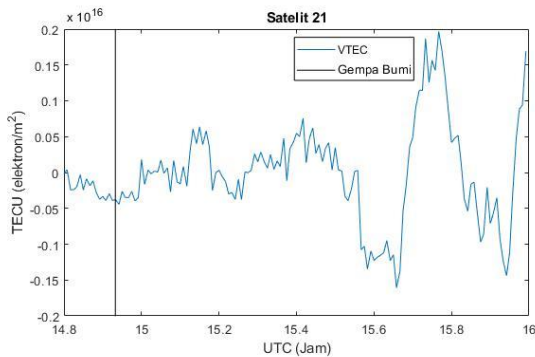
Pada Gambar 4.18 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 14.56 UT. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 27 menit kejadian gempa bumi dengan besar nilai TEC maksimum yang terdeteksi adalah sekitar 0,19 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

B. Pengamatan TEC dari stasiun CBAL Satelit nomor 21



Gambar 4.19 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CBAL

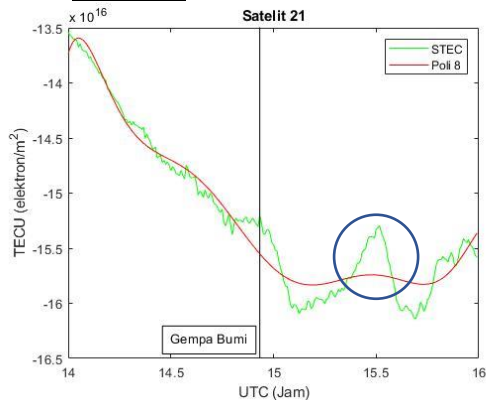
Pada Gambar 4.19 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.20 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CBAL

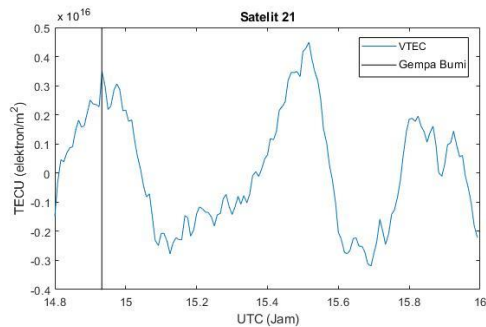
Pada Gambar 4.20 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 14.56 UT. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa fluktuasi terjadi setelah 50 menit kejadian gempa bumi dengan besar nilai TEC sekitar 0,2 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

C. Pengamatan TEC dari stasiun CNYU Satelit nomor 21



Gambar 4.21 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CNYU

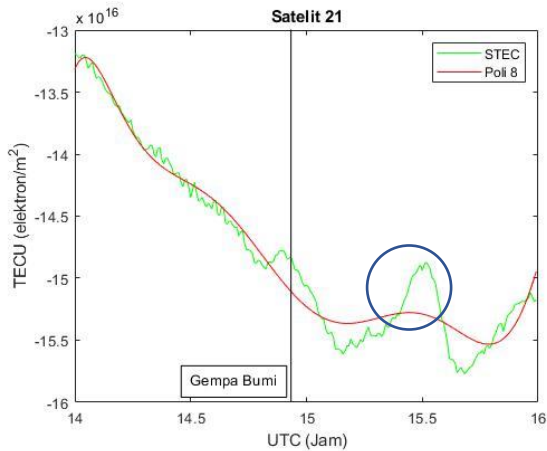
Pada Gambar 4.21 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.22 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CNYU

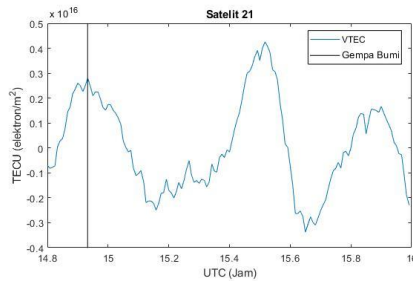
Pada Gambar 4.22 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 14.56 UT. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa fluktuasi terjadi setelah 35 menit kejadian gempa bumi dengan besar nilai TEC sekitar 0,45 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

D. Pengamatan TEC dari stasiun CPES Satelit nomor 21



Gambar 4.23 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CPES

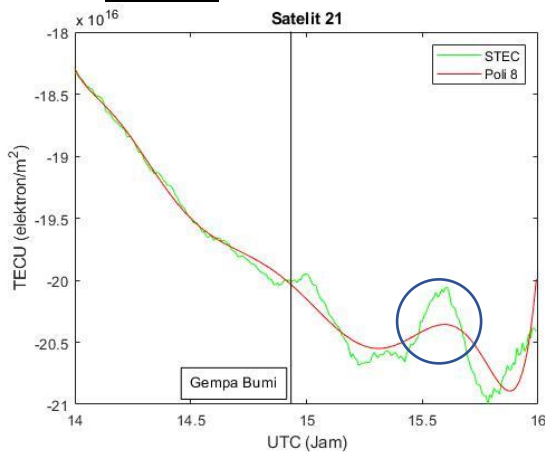
Pada Gambar 4.23 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.24 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CPES

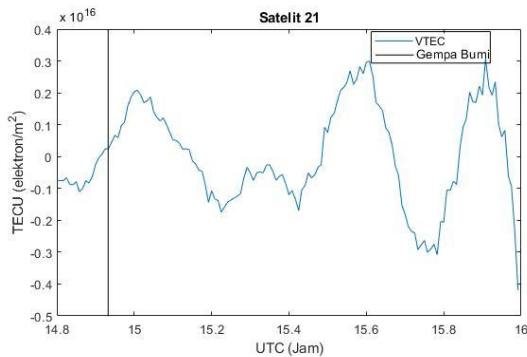
Pada Gambar 4.24 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 14.56 UT. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa fluktuasi terjadi setelah 35 menit kejadian gempa bumi dengan besar nilai TEC sekitar 0,43 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

E. Pengamatan TEC dari stasiun CSIT Satelit nomor 21



Gambar 4.25 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CSIT

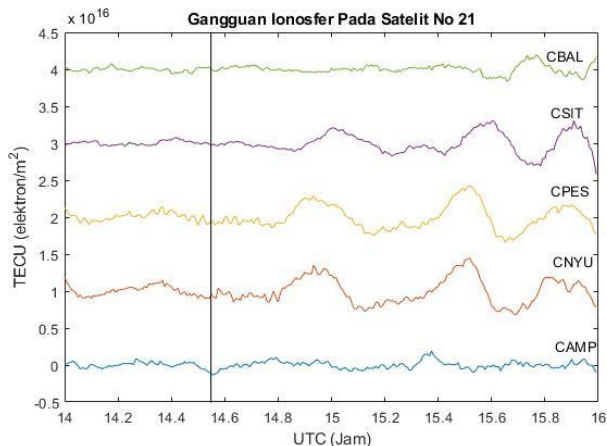
Pada Gambar 4.25 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.26 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CSIT

Pada Gambar 4.26 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 14.56 UT. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa fluktuasi terjadi setelah 41 menit kejadian gempa bumi dengan besar nilai TEC sekitar 0,3 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

Nilai VTEC yang terekam pada satelit nomor 21 yang tercatat dari 5 stasiun CORS GNSS secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.27 berikut.



Gambar 4.27 Gangguan Ionosfer Pada Satelit No 21 yang Terekam di 5 Stasiun

4.3 Analisa Gangguan TEC Pada Gempa Bumi di Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala

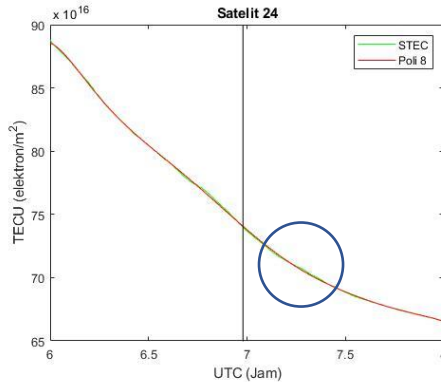
Nilai STEC hasil pengolahan data RINEX observasi menggunakan software *Fortran* kemudian diplot bersama dengan nilai peratanya / polinomial pangkat enam. Proses ini dilakukan untuk melihat apakah terdapat fluktuasi pada setiap satelit yang terekam oleh masing-masing stasiun akibat dari gempa bumi atau tidak. Untuk kejadian gempa bumi di Kabupaten Palu dan Donggala, rentetan gempa yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.3.

4.3.1 Analisa Gangguan TEC (DOY 271, 28 September 2018, 06.59)

Gempa bumi yang terjadi pada tanggal 28 September 2018 ini merupakan salah satu dari rentetan gempa yang memiliki kekuatan >6 Mw di Kabupaten Palu dan Donggala yang terjadi pada pukul 06.59 UT. Besarnya pengaruh gempa bumi ini akan dilihat dari nilai TEC setelah terjadinya gempa

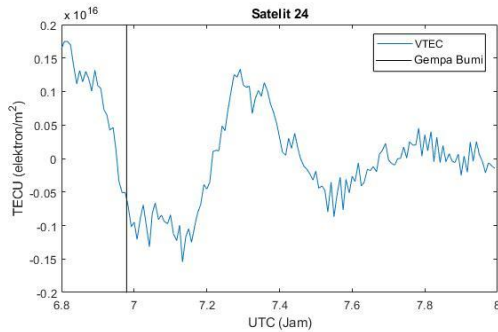
bumi. Berikut adalah hasil plot pada setiap stasiun dan satelit yang terdapat fluktuasi.

A. Pengamatan TEC dari stasiun CBAL Satelit nomor 24



Gambar 4.28 Perubahan STEC pada satelit 24 di stasiun CBAL

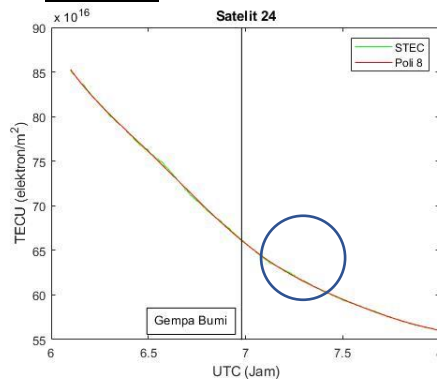
Pada Gambar 4.28 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratanya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.29 Pengamatan VTEC pada satelit 24 di stasiun CBAL

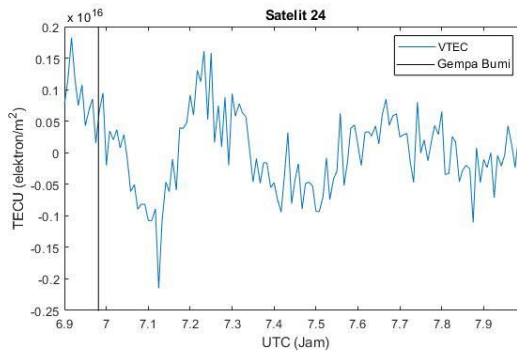
Pada Gambar 4.29 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 06.59 UT. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 19 menit kejadian gempa bumi dengan besar nilai TEC maksimum yang terdeteksi adalah sekitar 0,13 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

B. Pengamatan TEC dari stasiun CBIT Satelit nomor 24



Gambar 4.30 Perubahan STEC pada satelit 24 di stasiun CBIT

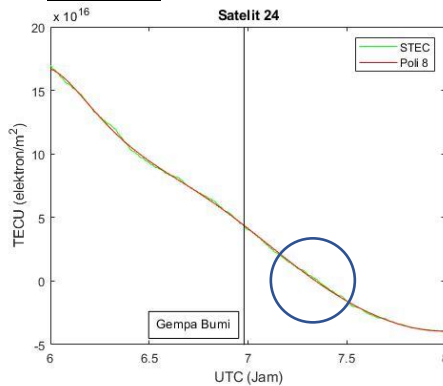
Pada Gambar 4.30 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.31 Pengamatan VTEC pada satelit 24 di stasiun CBIT

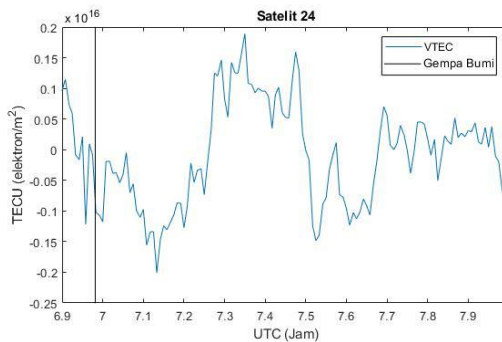
Pada Gambar 4.31 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 06.59 UT. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 15 menit kejadian gempa bumi dengan besar nilai TEC maksimum yang terdeteksi adalah sekitar 0,16 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

C. Pengamatan TEC dari stasiun CKEN Satelit nomor 24



Gambar 4.32 Perubahan STEC pada satelit 24 di stasiun CKEN

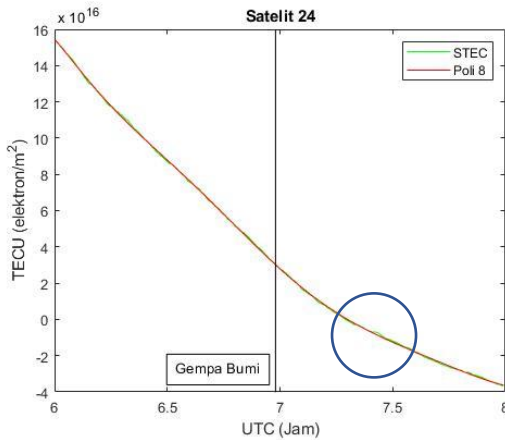
Pada Gambar 4.32 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.33 Pengamatan VTEC pada satelit 24 di stasiun CKEN

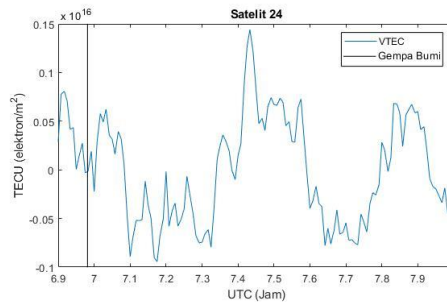
Pada Gambar 4.33 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 06.59 UT. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 22 menit kejadian gempa bumi dengan besar nilai TEC maksimum yang terdeteksi adalah sekitar 0,19 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

D. Pengamatan TEC dari stasiun CKTP Satelit nomor 24



Gambar 4.34 Perubahan STEC pada satelit 24 di stasiun CKTP

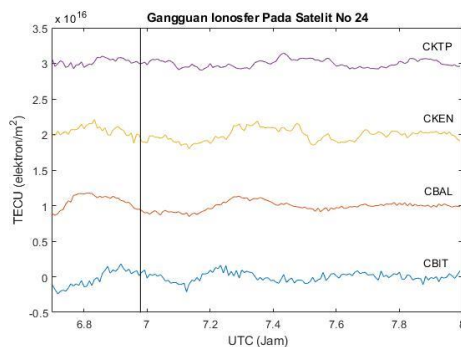
Pada Gambar 4.34 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.35 Pengamatan VTEC pada satelit 24 di stasiun CKTP

Pada Gambar 4.35 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 06.59 UT. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 27 menit kejadian gempa bumi dengan besar nilai TEC maksimum yang terdeteksi adalah sekitar 0,14 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

Nilai VTEC yang terekam pada satelit nomor 24 yang tercatat dari 4 stasiun CORS GNSS secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.36 berikut.

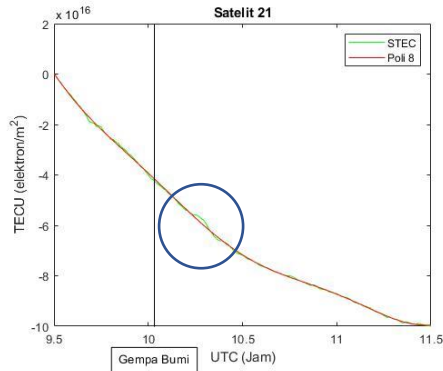


Gambar 4.36 Gangguan Ionosfer Pada Satelit No 24 yang Terekam di 4 Stasiun

4.3.2 Analisa Gangguan TEC (DOY 271, 28 September 2018, 10.02)

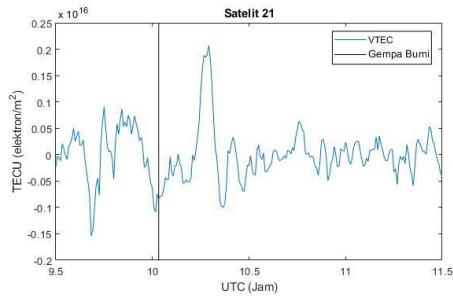
Gempa bumi yang terjadi pada tanggal 28 September 2018 ini merupakan gempa bumi utama dari rentetan gempa yang terjadi di Kabupaten Palu dan Donggala. Besarnya pengaruh gempa terhadap ionosfer akan dilihat dari nilai TEC setelah terjadinya gempa bumi. Berikut adalah hasil plot nilai STEC dan VTEC pada setiap stasiun dan satelit yang memiliki fluktuasi.

A. Pengamatan TEC dari stasiun CAMP Satelit nomor 21



Gambar 4.37 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CAMP

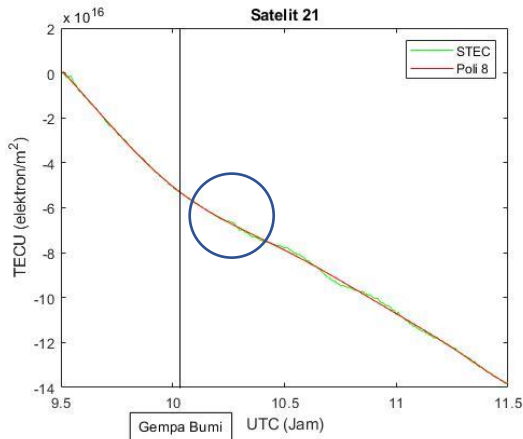
Pada Gambar 4.37 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.38 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CAMP

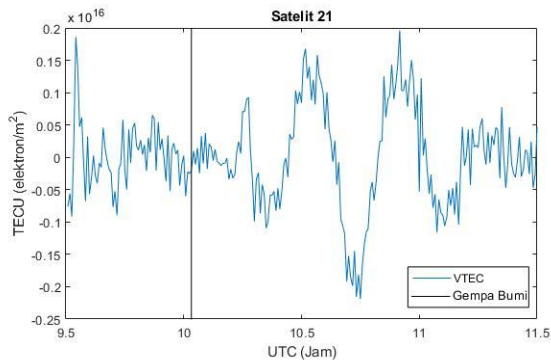
Pada Gambar 4.38 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 10.02 UT. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 16 menit kejadian gempa bumi dengan besar nilai TEC maksimum yang terdeteksi adalah sekitar 0,2 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

B. Pengamatan TEC dari stasiun CKEN Satelit nomor 21



Gambar 4.39 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CKEN

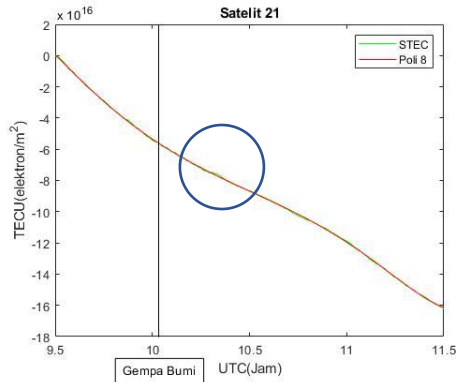
Pada Gambar 4.39 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.40 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CKEN

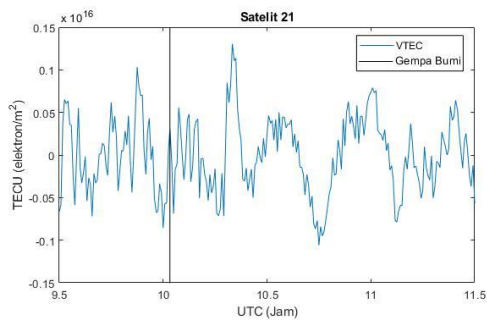
Pada Gambar 4.40 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 10.02 UT. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 15 menit kejadian gempa bumi dengan besar nilai TEC adalah sekitar 0,09 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

C. Pengamatan TEC dari stasiun CMAK Satelit nomor 21



Gambar 4.41 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CMAK

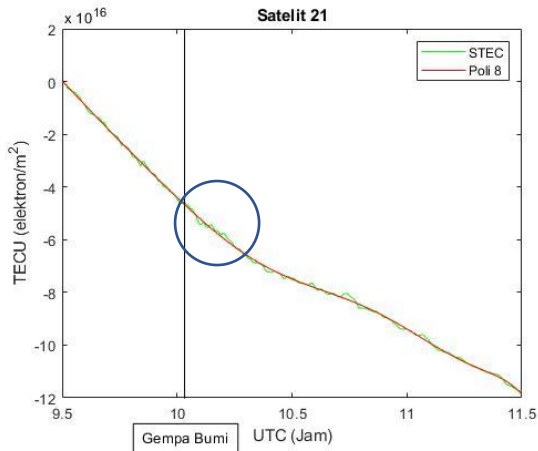
Pada Gambar 4.41 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.42 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CMAK

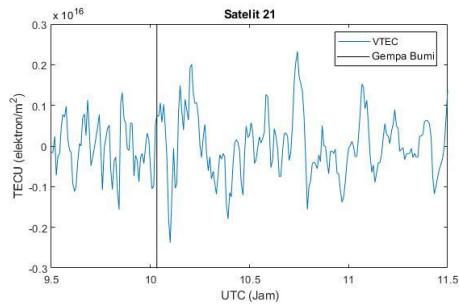
Pada Gambar 4.42 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 10.02 UT. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 18 menit kejadian gempa bumi dengan besar nilai TEC maksimum yang terdeteksi adalah sekitar 0,13 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

D. Pengamatan TEC dari stasiun CPAL Satelit nomor 21



Gambar 4.43 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CPAL

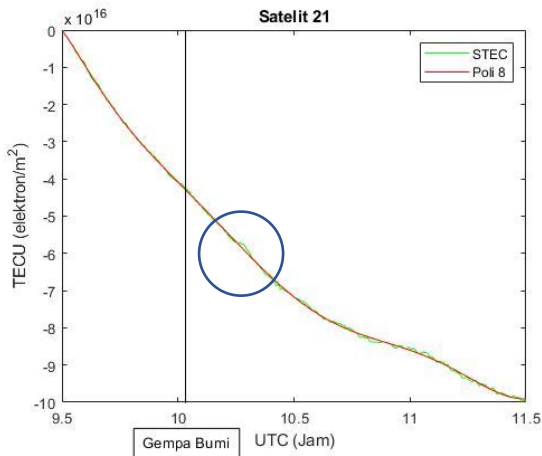
Pada Gambar 4.43 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.44 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CPAL

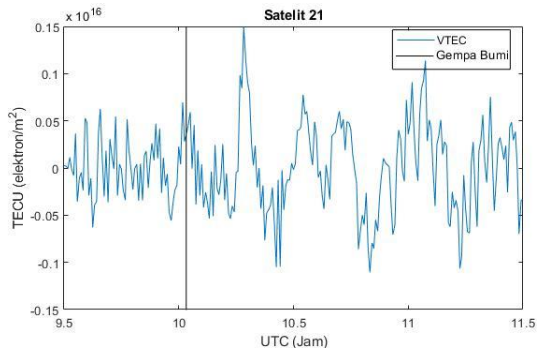
Pada Gambar 4.44 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 10.02 UT. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 11 menit kejadian gempa bumi dengan besar nilai TEC maksimum yang terdeteksi adalah sekitar 0,2 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

E. Pengamatan TEC dari stasiun CTOL Satelit nomor 21



Gambar 4.45 Perubahan STEC pada satelit 21 di stasiun CTOL

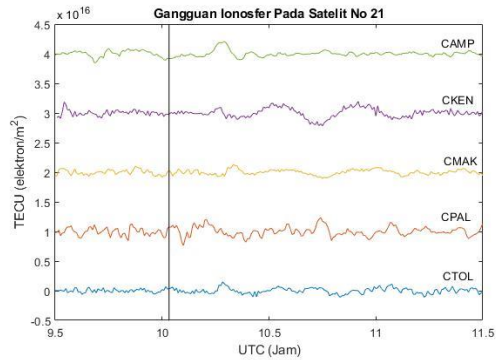
Pada Gambar 4.45 menunjukkan bahwa garis hijau adalah STEC sedangkan garis merah menunjukkan polinomialnya/peratannya. Terlihat adanya fluktuasi yang ditandai oleh perubahan grafik STEC terhadap polinomialnya setelah gempa terjadi dan ditandai dengan lingkaran biru. Kemudian nilai STEC dikurangkan dengan polinomialnya untuk mendapatkan nilai VTEC.



Gambar 4.46 Pengamatan VTEC pada satelit 21 di stasiun CTOL

Pada Gambar 4.46 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi adalah pada pukul 10.02 UT. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 15 menit kejadian gempa bumi dengan besar nilai TEC maksimum yang terdeteksi adalah sekitar 0,15 TECU. Setelah mencapai nilai maksimum aktifitas ionosfer akan terjadi penurunan.

Nilai VTEC yang terekam pada satelit nomor 21 yang tercatat dari 5 stasiun CORS GNSS secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.47 berikut.



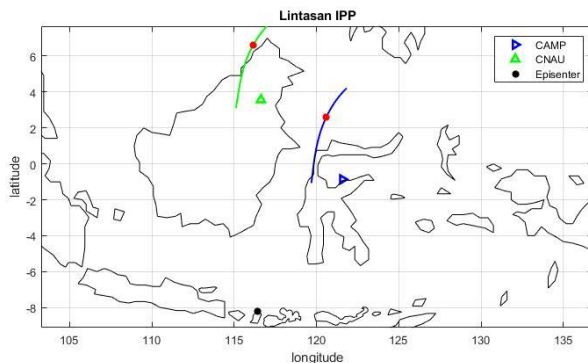
Gambar 4.47 Gangguan Ionosfer Pada Satelit No 21 yang Terekam di 5 Stasiun

4.4 Analisa Penentuan IPP Pada Gempa Bumi di Kabupaten Lombok Utara

Setelah dilakukan analisa terhadap nilai TEC pada setiap satelit yang terdapat fluktuasi akibat gempa bumi, kemudian dilakukan pengolahan untuk menentukan IPP (*Ionospheric Pierce Point*) menggunakan *Matlab*. Dari hasil pengolahan tersebut kemudian dilakukan analisa IPP dari seluruh satelit yang merekam adanya fluktuasi pada setiap gempa bumi yang terjadi. Hasil dari pengolahan tersebut berupa proyeksi lintasan satelit yang direkam dari beberapa stasiun CORS GNSS yang menyebabkan proyeksi lintasan satelit memiliki posisi yang berbeda-beda. Dari proyeksi lintasan satelit tersebut dapat diketahui titik IPP yang merupakan perpotongan antara sinyal satelit yang menuju ke permukaan bumi terhadap lapisan ionosfer yang dianggap datar pada ketinggian 300 km. Dan proyeksi IPP ke atas permukaan tanah disebut SIP (*Sub-Ionospheric Point*). Berikut adalah analisa IPP pada masing-masing gempa bumi yang terjadi di Kabupaten Lombok Utara.

4.4.1 Analisa Penentuan IPP (DOY 217, 5 Agustus 2018)

Hasil pengolahan IPP pada gempa bumi tanggal 5 Agustus 2018 ini dapat dilihat pada Gambar 4.48. Dari gambar tersebut terlihat bahwa garis berwarna-warni menunjukkan alur satelit no 15 pada setiap stasiun. Simbol titik hitam menunjukkan episenter gempa dan titik merah adalah posisi IPP pada waktu terdeteksinya fluktuasi. Gambar tersebut menunjukkan bahwa pada saat fluktuasi terdeteksi letak dari satelit no 15 pada semua stasiun berada jauh dari pusat gempa di arah utara bumi. Besar fluktuasi yang terdeteksi hampir sama yang membedakan adalah waktu terjadinya fluktuasi. Perbedaan ini dikarenakan adanya geomagnetik bumi yang mengakibatkan gelombang *acoustic* dari gempa yang berada di selatan ekuator bergerak menuju arah utara bumi.

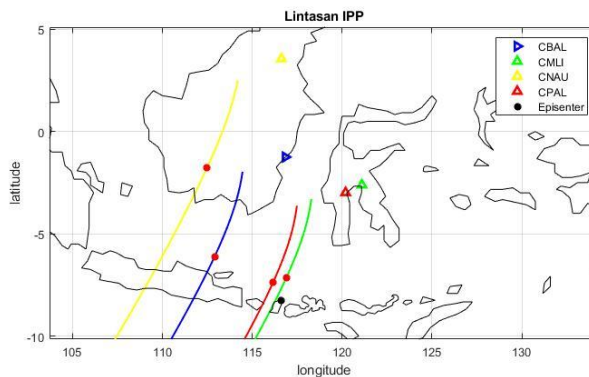


Gambar 4.48 Alur Satelit No 15 yang Dipetakan Melalui SIP Dari Berbagai Stasiun

4.4.2 Analisa Penentuan IPP (DOY 231, 19 Agustus 2018, 04.10)

Hasil pengolahan IPP pada gempa bumi tanggal 19 Agustus 2018 pukul 04.10 dapat dilihat pada Gambar 4.49. Dari gambar tersebut terlihat bahwa garis berwarna menunjukkan alur lintasan satelit no 5. Simbol titik hitam menunjukkan episenter gempa dan titik merah adalah posisi

IPP pada saat terdeteksi fluktuasi. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa pada saat fluktuasi terdeteksi letak dari satelit no 5 dari setiap stasiun berada di daerah utara pusat gempa. Nilai fluktuasi yang terbesar terdeteksi pada stasiun CBAL. Untuk IPP yang posisinya dekat dengan pusat gempa bumi memiliki nilai fluktuasi yang kecil, ini menunjukkan bahwa arah gelombang *acoustic* yang terjadi akibat gempa bumi mengarah ke arah barat laut. Pergerakan gelombang ini diakibatkan geomagnetik bumi.

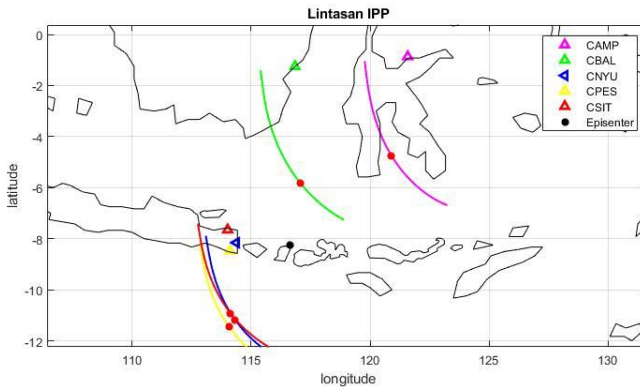


Gambar 4.49 Alur Satelit No 5 yang Dipetakan Melalui SIP Dari Berbagai Stasiun

4.4.3 Analisa Penentuan IPP (DOY 231, 19 Agustus 2018, 14.56)

Hasil pengolahan IPP pada gempa bumi tanggal 19 Agustus 2018 pukul 14.56 dapat dilihat pada Gambar 4.50. Dari gambar tersebut terlihat bahwa garis berwarna-warni menunjukkan alur lintasan satelit no 21. Simbol titik hitam menunjukkan episenter gempa dan titik merah adalah posisi IPP pada saat terdeteksi fluktuasi. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa pada saat terdeteksi fluktuasi letak dari satelit no 21 berada di sebelah utara dan selatan pusat gempa. Nilai fluktuasi terbesar yang terdeteksi adalah pada stasiun CNYU dan CPES. Untuk stasiun lainnya fluktuasi

yang terdeteksi bernilai kecil, ini terjadi dikarenakan pada saat fluktuasi terdeteksi posisi dari satelit berada di daerah selatan pusat gempa. Akibatnya satelit yang berada di daerah selatan mendeteksi lebih besar adanya fluktuasi daripada satelit yang berada di utara.



Gambar 4.50 Orbit Satelit GPS Nomor 21 beserta titik IPP

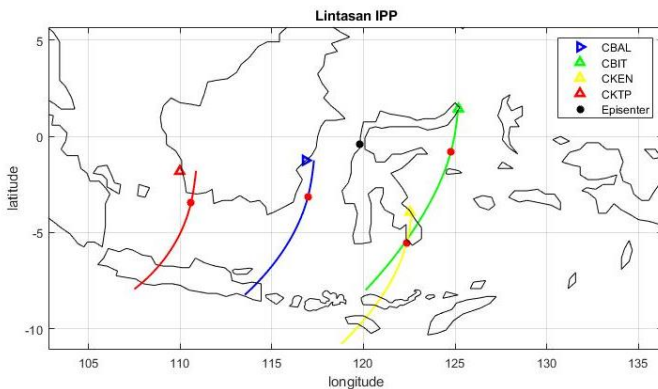
4.5 Analisa Penentuan IPP Pada Gempa Bumi di Kabupaten Palu dan Donggala

Setelah dilakukan analisa terhadap nilai TEC pada setiap satelit yang terdapat fluktuasi akibat gempa bumi, kemudian dilakukan pengolahan untuk menentukan IPP (*Ionospheric Pierce Point*) menggunakan *Matlab*. Dari hasil pengolahan tersebut kemudian dilakukan analisa IPP dari seluruh satelit yang merekam adanya fluktuasi pada setiap gempa bumi yang terjadi. Hasil dari pengolahan tersebut berupa proyeksi lintasan satelit yang direkam dari beberapa stasiun CORS GNSS yang menyebabkan proyeksi lintasan satelit memiliki posisi yang berbeda-beda. Dari lintasan tersebut dapat diketahui titik IPP yang merupakan perpotongan antara sinyal satelit yang menuju ke permukaan bumi terhadap lapisan ionosfer yang dianggap datar pada ketinggian 300 km. Dan proyeksi IPP ke atas permukaan tanah disebut SIP (*Sub-*

Ionospheric Point). Berikut adalah analisa IPP pada masing-masing gempa bumi yang terjadi di Kabupaten Palu dan Donggala.

4.5.1 Analisa Penentuan IPP (DOY 271, 28 September 2018, 06.59)

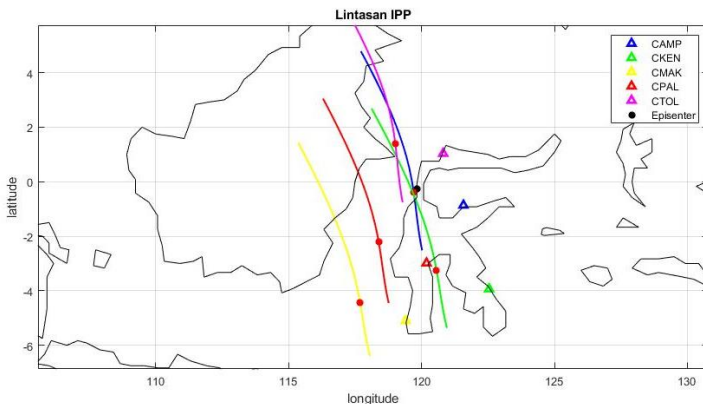
Hasil pengolahan IPP pada gempa bumi tanggal 28 September 2018 pukul 06.59 dapat dilihat pada Gambar 4.51. Dari gambar tersebut terlihat bahwa garis berwarna-warni menunjukkan alur lintasan satelit no 24 dari masing-masing stasiun. Simbol titik hitam menunjukkan episenter gempa dan titik merah adalah posisi IPP pada saat terdeteksi fluktuasi. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa pada saat fluktuasi terdeteksi letak dari satelit no 24 berada di sebelah selatan pusat gempa. Nilai fluktuasi yang terdeteksi pada setiap stasiun hampir sama. Perbedaannya terlihat pada waktu terjadinya fluktuasi dilihat dari alur proyeksi satelit yang berbeda-beda posisinya. Perbedaan ini diakibatkan oleh geomagnetik bumi yang mempengaruhi pergerakan gelombang *acoustic* yang beregerak menuju arah selatan dikarenakan posisi gempa berada di utara ekuator.



Gambar 4.51 Alur Satelit No 24 yang Dipetakan Melalui SIP Dari Berbagai Stasiun

4.5.2 Analisa Penentuan IPP (DOY 271, 28 September 2018, 10.02)

Hasil pengolahan IPP pada gempa bumi tanggal 28 September 2018 pukul 10.02 dapat dilihat pada Gambar 4.52. Dari gambar tersebut terlihat bahwa garis berwarna-warni menunjukkan alur lintasan satelit no 21. Simbol titik hitam menunjukkan episenter gempa dan titik merah adalah posisi IPP pada waktu terdeteksinya fluktuasi. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa pada saat fluktuasi terdeteksi letak dari satelit no 21 terletak disekitar pusat gempa bumi. Nilai fluktuasi yang terdeteksi adalah CAMP yang terpat berada di atas pusat gempa bumi. Untuk stasiun yang lainnya posisi IPP terlihat berada di sekitar selatan pusat gempa. Perbedaan posisi ini diakibatkan karena adanya geomagnetik bumi yang mempengaruhi pergerakan gelombang *acoustic* ke arah selatan dan juga posisi dari pusat gempa yang berada di utara ekuator.



Gambar 4.52 Alur Satelit No 21 yang Dipetakan Melalui SIP Dari Berbagai Stasiun

4.6 Kecepatan Propagasi Gelombang ke Ionosfer Pada Gempa Bumi di Kabupaten Lombok Utara

Pada saat terjadinya gempa bumi akan ada tekanan yang dihasilkan dari naiknya permukaan tanah akibat tumbukan dan membentuk dan merambatkan energi gelombang yang disebut dengan gelombang atmosfer. Perambatan yang berada pada permukaan bumi dan merambat secara horizontal disebut dengan gelombang *rayleigh*. Gelombang inilah yang mengakibatkan terjadinya guncangan yang kita rasakan pada saat gempa terjadi. Gelombang lainnya yang disebut dengan gelombang *acoustic* yang merambat secara vertikal dari pusat gempa dengan kecepatan 1 km/s inilah yang mempengaruhi kerapatan di ionosfer. Sedangkan gelombang *gravity* diakibatkan oleh tsunami akibat gempa bumi yang besar. Berikut adalah analisa tentang kecepatan propagasi gelombang *acoustic* yang terdeteksi mempengaruhi ionosfer.

4.6.1 Analisa Penentuan IPP (DOY 217, 5 Agustus 2018)

Kecepatan semu dari propagasi gelombang *acoustic* dapat dihitung dari perbedaan waktu antara terjadinya gempa bumi dan waktu terdeteksinya fluktuasi serta jarak dari pusat gempa terhadap posisi IPP. Pada gempa tanggal 5 Agustus 2018 satelit no 15 terdeteksi adanya fluktuasi akibat gempa yang direkam pada stasiun CAMP dan CNAU. Analisa kecepatan pada satelit no 15 dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut. Dengan melihat hasil tersebut didapatkan kecepatan propagasi adalah 1,626 km/s.

Tabel 4.1 Kecepatan Propagasi Gelombang *Acoustic* Pada Gempa 5 Agustus 2018

Stasiun	Rentang Waktu (detik)	Jarak (km)	Kecepatan (km/s)
CAMP	780	1360,234	1,744
CNAU	1140	1718,905	1,508

4.6.2 Analisa Penentuan IPP (DOY 231, 19 Agustus 2018, 04.10)

Kecepatan semu dari propagasi gelombang *acoustic* dapat dihitung dari perbedaan waktu antara terjadinya gempa bumi dan waktu terdeteksinya fluktuasi serta jarak dari pusat gempa terhadap posisi IPP. Pada gempa tanggal 19 Agustus 2018 pukul 04.10 satelit no 5 terdeteksi adanya fluktuasi akibat gempa yang direkam pada stasiun CBAL, CMLI, CNAU dan CPAL. Analisa kecepatan pada satelit no 5 dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut. Dengan melihat hasil tersebut didapatkan kecepatan propagasi adalah 1,245 km/s.

Tabel 4.2 Kecepatan Propagasi Gelombang *Acoustic* Pada Gempa 19 Agustus 2018 Pukul 04.10

Stasiun	Rentang Waktu (detik)	Jarak (km)	Kecepatan (km/s)
CBAL	240	572,570	2,386
CMLI	600	340,060	0,567
CNAU	600	939,108	1,565
CPAL	720	333,485	0,463

4.6.3 Analisa Penentuan IPP (DOY 231, 19 Agustus 2018, 14.56)

Kecepatan semu dari propagasi gelombang *acoustic* dapat dihitung dari perbedaan waktu antara terjadinya gempa bumi dan waktu terdeteksinya fluktuasi serta jarak dari pusat gempa terhadap posisi IPP. Pada gempa tanggal 19 Agustus 2018 pukul 14.56 satelit no 21 terdeteksi adanya fluktuasi akibat gempa yang direkam pada stasiun CAMP, CBAL, CNYU, CPES dan CSIT. Analisa kecepatan pada satelit no 21 dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut. Dengan melihat hasil tersebut didapatkan kecepatan propagasi adalah 0,275 km/s.

Tabel 4.3 Kecepatan Propagasi Gelombang *Acoustic* Pada Gempa 19 Agustus 2018 Pukul 14.56

Stasiun	Rentang Waktu (detik)	Jarak (km)	Kecepatan (km/s)
CAMP	1620	694,923	0,429
CBAL	3000	403,885	0,135
CNYU	2100	520,943	0,248
CPES	2100	555,962	0,265
CSIT	2460	512,389	0,208

4.7 Kecepatan Propagasi Gelombang ke Ionosfer Pada Gempa Bumi di Kabupaten Palu dan Donggala

Pada saat terjadinya gempa bumi akan ada tekanan yang dihasilkan dari naiknya permukaan tanah akibat tumbukan dan membentuk dan merambatkan energi gelombang yang disebut dengan gelombang atmosfer. Perambatan yang berada pada permukaan bumi dan merambat secara horizontal disebut dengan gelombang *rayleigh*. Gelombang inilah yang mengakibatkan terjadinya guncangan yang kita rasakan pada saat gempa terjadi. Gelombang lainya yang disebut dengan gelombang *acoustic* yang merambat secara vertikal dari pusat gempa dengan kecepatan 1 km/s inilah yang mempengaruhi kerapatan di ionosfer. Sedangkan gelombang *gravity* diakibatkan oleh tsunami akibat gempa bumi yang besar. Berikut adalah analisa tentang kecepatan propagasi gelombang *acoustic* yang terdeteksi mempengaruhi ionosfer.

4.7.1 Analisa Penentuan IPP (DOY 271, 28 September 2018, 06.59)

Kecepatan semu dari propagasi gelombang *acoustic* dapat dihitung dari perbedaan waktu antara terjadinya gempa bumi dan waktu terdeteksinya fluktuasi serta jarak dari pusat gempa terhadap posisi IPP. Pada gempa tanggal 28 September 2018 pukul 06.59 satelit no 24 terdeteksi adanya fluktuasi akibat gempa yang direkam pada stasiun CBAL, CBIT,

CKEN dan CKTP. Analisa kecepatan pada satelit no 24 dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut. Dengan melihat hasil tersebut didapatkan kecepatan propagasi adalah 0,606 km/s.

Tabel 4.4 Kecepatan Propagasi Gelombang *Acoustic* Pada Gempa 28 September 2018 Pukul 06.59

Stasiun	Rentang Waktu (detik)	Jarak (km)	Kecepatan (km/s)
CBAL	1140	534,491	0,469
CBIT	900	642,808	0,714
CKEN	1320	711,060	0,539
CKTP	1620	1139,977	0,704

4.7.2 Analisa Penentuan IPP (DOY 271, 28 September 2018, 10.02)

Kecepatan semu dari propagasi gelombang *acoustic* dapat dihitung dari perbedaan waktu antara terjadinya gempa bumi dan waktu terdeteksinya fluktuasi serta jarak dari pusat gempa terhadap posisi IPP. Pada gempa tanggal 28 September 2018 pukul 10.02 satelit no 21 terdeteksi adanya fluktuasi akibat gempa yang direkam pada stasiun CAMP, CKEN, CMAK, CPAL dan CTOL. Analisa kecepatan pada satelit no 21 dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut. Dengan melihat hasil tersebut didapatkan kecepatan propagasi adalah 0,488 km/s.

Tabel 4.5 Kecepatan Propagasi Gelombang *Acoustic* Pada Gempa 28 September 2018 Pukul 10.02

Stasiun	Rentang Waktu (detik)	Jarak (km)	Kecepatan (km/s)
CAMP	960	301,948	0,315
CKEN	900	466,780	0,519
CMAK	1080	618,917	0,573
CPAL	660	414,179	0,628

Stasiun	Rentang Waktu (detik)	Jarak (km)	Kecepatan (km/s)
CTOL	900	364,037	0,404

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisa data, berikut adalah beberapa kesimpulan yang didapatkan dalam penelitian tugas akhir ini:

1. Pengaruh dari gempa bumi yang terjadi di Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Palu dan Kabupaten Donggala terhadap ionosfer, yaitu mengakibatkan elektron yang ada di ionosfer semakin meningkat, hal ini dikarenakan adanya gelombang akustik yang dihasilkan oleh gempa bumi.
2. Pada saat terjadinya gempa bumi di Kabupaten Lombok Utara, banyak sekali satelit yang merekam terdapatnya fluktuasi pada ionosfer akibat dari gempa tersebut. Gangguan ionosfer ini terjadi pada rentang waktu yang berbeda-beda. Berikut adalah rentang waktu yang terdeteksi setelah gempa bumi terjadi:
 - A. Gempa Bumi Tanggal 5 Agustus 2018 Pukul 11.46
 - Satelit nomor 15
 - CAMP : 13 menit
 - CNAU : 19 menit
 - B. Gempa Bumi Tanggal 19 Agustus 2018 Pukul 04.10
 - Satelit nomor 5
 - CBAL : 4 menit
 - CMLI : 10 menit
 - CNAU : 10 menit
 - CPAL : 12 menit
 - C. Gempa Bumi Tanggal 19 Agustus 2018 Pukul 14.56
 - Satelit nomor 21
 - CAMP : 27 menit
 - CBAL : 50 menit
 - CNYU : 35 menit
 - CPES : 35 menit
 - CSIT : 41 menit

3. Pada saat terjadinya gempa bumi di Kabupaten Palu dan Donggala, banyak sekali satelit yang merekam terdapatnya fluktuasi pada ionosfer akibat dari gempa tersebut. Gangguan ionosfer ini terjadi pada rentang waktu yang berbeda-beda. Berikut adalah rentang waktu yang terdeteksi setelah gempa bumi terjadi:
 - A. Gempa Bumi Tanggal 28 September 2018 Pukul 06.59
 - Satelit nomor 24
 - CBAL : 19 menit
 - CBIT : 15 menit
 - CKEN : 22 menit
 - CKTP : 27 menit
 - B. Gempa Bumi Tanggal 28 September 2018 Pukul 10.02
 - Satelit nomor 21
 - CAMP : 16 menit
 - CKEN : 15 menit
 - CMAK : 18 menit
 - CPAL : 11 menit
 - CTOL : 15 menit
4. Melalui pengamatan CORS GNSS disekitar area pusat gempa bumi yang terjadi Kabupaten Lombok Utara, didapatkan nilai TEC sebagai berikut :
 - A. Gempa Bumi Tanggal 5 Agustus 2018 Pukul 11.46
 - Satelit nomor 15
 - CAMP : 0,19 TECU
 - CNAU : 0,19 TECU
 - B. Gempa Bumi Tanggal 19 Agustus 2018 Pukul 04.10
 - Satelit nomor 5
 - CBAL : 0,56 TECU
 - CMLI : 0,18 TECU
 - CNAU : 0,19 TECU

- CPAL : 0,36 TECU
- C. Gempa Bumi Tanggal 19 Agustus 2018 Pukul 14.56
 - Satelit nomor 21
 - CAMP : 0,19 TECU
 - CBAL : 0,2 TECU
 - CNYU : 0,45 TECU
 - CPES : 0,43 TECU
 - CSIT : 0,3 TECU
- 5. Melalui pengamatan CORS GNSS disekitar area pusat gempa bumi yang terjadi Kabupaten Palu dan Donggala, didapatkan nilai TEC sebagai berikut :
 - A. Gempa Bumi Tanggal 28 September 2018 Pukul 06.59
 - Satelit nomor 24
 - CBAL : 0,13 TECU
 - CBIT : 0,16 TECU
 - CKEN : 0,19 TECU
 - CKTP : 0,14 TECU
 - B. Gempa Bumi Tanggal 28 September 2018 Pukul 10.02
 - Satelit nomor 21
 - CAMP : 0,2 TECU
 - CKEN : 0,09 TECU
 - CMAK : 0,13 TECU
 - CPAL : 0,2 TECU
 - CTOL : 0,15 TECU

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisa data, berikut adalah beberapa saran yang dapat diberikan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya studi yang khusus tentang gempa utama yang terjadi di kedua lokasi penelitian untuk dapat

mengetahui perbedaan karakteristik gempa bumi dilihat dari tipe gempa buminya.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang kondisi ionosfer yang dapat digunakan untuk menentukan kapan terjadinya tsunami akibat gempa bumi dengan karakteristik tertentu.
3. Perlu adanya studi lebih lanjut tentang bagaimana karakteristik rentetan gempa yang berkaitan dengan *foreshock*, *mainshock* dan *aftershock* terjadi di Kabupaten Lombok Utara maupun di Kabupaten Palu dan Donggala untuk berbagai kekuatan gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. 2001. *Geodesi Satelit*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- . 2006. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Badan Informasi Geospasial. 2018. *Posisi Stasiun Tetap*. Diakses November 11, 2018.
<http://inacors.big.go.id/spiderweb/frmIndex.aspx>.
- Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika;. 2018. “ULASAN GUNCANGAN TANAH AKIBAT GEMPABUMI UTARA DONGGALA SULTENG.” *Bidang Seismologi Teknik-BMKG*.
- Bakara, Jakondar. 2011. “Perkembangan Sistem Satelit Navigasi Global dan Aplikasinya.” *Berita Dirgantara Vol. 12 No. 2 Juni 2011*: 38-47.
- BMKG. 2019. *Katalog Gempabumi*. Diakses Desember 3, 2018.
<http://repogempa.bmkg.go.id/>.
- Bolaji, O. 2013. “Total electron content and magnetic field intensity over Ilorin.” *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 98. 1–11.
- Cahyadi, Mokhammad Nur. 2014. *Near-Field Coseismic Ionospheric Disturbances of Earthquakes In and Around Indonesia*. Dsc Thesis, Hokkaido: Hokkaido University.
- Cahyadi, Mokhammad Nur, dan K Heki. 2013. “Ionospheric disturbances of the 2007 Bengkulu and the 2005 Nias earthquakes, Sumatra, observed with a regional GPS network.” *Journal of Geophysical Research: Space Physics, Vol. 118* 1777-1787.
- Daly, P, dan P Misra. 1996. “GPS and Global Navigation Satellite System (GLONASS).” *In: Parkinson, Spilker (eds.) (1996) Vol. II* Chap. 9: 243–274.
- Davies, K. 1990. *Ionospheric Radio*. London: IEE Electromagnetic Waves Series 31, Peter Peregrinus.
- Denaro, Lino Garda. 2015. *Analisis perubahan ionosfer dan posisi stasiun GPS-CORS pada saat letusan besar*

- gunung berapi 2010*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Geomatika, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Dermawan, Adhi. 2018. *Analisis Perubahan Ionosfer Akibat Letusan Gunung Berapi dengan Pengamatan Total Electron Content GNSS (Studi Kasus: Gunung Agung Bali)*. Tugas Akhir, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- ESDM. 2010. *Pengertian Gempa Bumi*. Vulcanologi Survei Indonesia.
- Guermah, Bassma, el ghazi Hassan, Tayeb Sadiki, S Reboul, dan Esmail Ahouzi. 2016. "An Approach to Compute and Modelize Multipath Errors for GNSS Positioning in urban environment." *NGNS CONFERENCE*.
- Hastuti, Endang Wiwik Dyah, dan Budhi Kuswan Susilo. 2007. *Tektonik Lempeng dan Bencana Geologi di Sumatera dan Jawa*. Makalah, Palembang: Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- Heki, Kosuke. 2006. "Explosion energy of the 2004 eruption of the Asama Volcano, central Japan, inferred from ionospheric disturbances." *Geophysical Research Letters* 33(14): L14303.
- Heki, Kosuke, dan Jinsong Ping. 2005. "Directivity and apparent velocity of the coseismic ionospheric disturbances observed with a dense GPS array." *Earth and Planetary Science Letters* 236 (3-4) : 845-855.
- Hofmann-Wellenhof, B, H Lichtenegger, dan J Collins. 2001. *Global Positioning System*. Graz, Austria: Novographic Druck G.m.b.H..A1230 Wien.
- Incorporated Research Institutions for Seismology. 2010. *Earthquake Faults Background*. IRIS.
- International GNSS Service. 2017. *RINEX The Receiver Independent Exchange Format*. Colorado, USA: RINEX Working Group and Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee 104 .

- Marjuki, Brahmantyo. 2014. *Pemetaan Digital*. Yogyakarta: Diklat Pemetaan, Pengukuran, dan GIS.
- Muslim, Buldan. 2009. *Pemodelan TEC Ionosfer diatas Sumatra dan Sekitarnya Mendekati Real Time dari Data GPS NTUS*. Bandung: Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN.
- Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Saputra, Adi Febrian. 2017. *Analisa Perubahan Ionosfer Akibat Gempa Bumi Sumatra Barat Tanggal 2 Maret 2016*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Geomatika, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sharma, Ashok K, Heramb Gaikwad, Onkar Gurav, dan Ghangadar Chavan. 2018. "Study of equatorial plasma bubbles using all sky imager and scintillation technique from Kolhapur station: a case study." *Astrophys Space Sci* 363:83.
- Tascione, T. F. 1994. *Introduction to the Space Environment*. Michigan University: Krieger Publishing Company.
- Todorović Drakul, Miljana, Mileva Samardzic-Petrovic, Sanja Grekulović, Oleg Odalovic, dan Dragan Blagojevic. 2017. "Modelling extreme values of the total electron content: Case study of Serbia." *Geofizika* 34: 297-314.
- Uddin, Muhammad Syifa'. 2017. *Pemetaan Tingkat Resiko Kerusakan Akibat Gempa Bumi di Sekitar Sesar Palu Koro Berdasarkan Pola Percepatan Tanah Maksimum Dengan Metode Mc.Guirre.R.K*. Skripsi, Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- UNOOSA. 2011. *Global Navigation Satellite Systems (GNSS)*. Diakses Januari 10, 2019.

- <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/psa/gnss/gnss.html>.
- USGS. 2018a. *Intensity of the 2018 Sulawesi earthquake*. Diakses November 11, 2018.
<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us1000h3p4#shakemap>.
- . 2018b. *ShakeMap from the USGS for the August 2018 Lombok earthquake in Indonesia*. Diakses November 11, 2018.
<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us1000g3ub#shakemap>.
- Yudi, Ardian, Edy Santoso, Audia Kaluku, Furqon Dawwam, Artadi Pria Sakti, Sigit Pramono, dan Dadang Permana. 2018. *ULASAN GUNCANGAN TANAH AKIBAT GEMPA BUMI LOMBOK TIMUR*. Bidang Seismologi Teknik – BMKG.

LAMPIRAN

1. Contoh Data RINEX Observasi

2.11	OBSERVATION DATA	M (MIXED)	RINEX VERSION / TYPE
teqc 2015Jun23	ossy	20180813 07:26:37UTC	PGM / RUN BY / DATE
Linux 2.4.21-27.ELsmp Opteron gcc -static Linux x86_64 +=			COMMENT
BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A/S CONDITION			COMMENT
camp			MARKER NAME
geodinamika	Badan Informasi Geospasial (BIG)		OBSERVER / AGENCY
1703825	LEICA	3.21/6.403	REC # / TYPE / VERS
-Unknown-	-Unknown-		ANT # / TYPE
-3339771.8199	5433061.7602	-96341.2124	APPROX POSITION XYZ
0.0550	0.0000	0.0000	ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1			WAVELENGTH FACT L1/2
6 L1 L2 C1 P2 S1 S2			# / TYPES OF OBSERV
30.0000			INTERVAL
Forced Modulo Decimation to 30 seconds			COMMENT
DefaultJobName			COMMENT
DefaultUserDiscription			COMMENT
Project creator:			COMMENT
SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9]			COMMENT
L1 & L2: min(max(int(snr_dBHz/6), 0), 9)			COMMENT
teqc windowed: start @ 2018 Aug 5 00:00:00.000			COMMENT
teqc windowed: end @ 2018 Aug 5 23:59:30.000			COMMENT
2018 8 5 0 0 0.0000000	GPS		TIME OF FIRST OBS
17			LEAP SECONDS
			END OF HEADER
18 8 5 0 0 0.0000000	0 18G01G03G07G08G09G11G16G18G22G23R02R03		
	R12R13R14R17R18R24		
107185634.698 8	83521254.63548	20396748.760	20396748.180 51.050
50.400			
122724610.117 7	95629551.82146	23353716.360	23353715.620 42.050
38.550			
123704054.319 7	96392754.18346	23540098.940	23540096.340 45.550
37.350			
120410026.345 7	93825980.43446	22913273.100	22913273.100 46.000
40.950			
118507305.203 7	92343363.03047	22551194.360	22551194.460 46.300
42.700			
108581778.630 8	84609125.24448	20662428.620	20662424.220 49.700

2. Contoh Data RINEX Navigasi

```

2.10          N: GPS NAV DATA          RINEX VERSION / TYPE
teqc 2015Jun23          20180813 07:26:37UTC PGH / RUN BY / DATE
Linux 2.4.21-27.ELsmp|Optoneron/gcc -static|Linux x86_64|=+ COMMENT
END OF HEADER
1 18 8 5 0 0 0.0-7.297052070498D-05-4.092726157978D-12 0.000000000000D+00
2.000000000000D+01-4.437500000000D+00 4.401254916075D-09-1.006511500193D+00
-8.940696716309D-08 8.062207140028D-03 8.080154657364D-06 5.153664466858D+03
0.000000000000D+00 2.086162567139D-07 2.284318080206D+00 7.823109626770D-08
9.721291378349D-01 2.273125000000D+02 6.739941779686D-01-8.024620079539D-09
4.596620029051D-10 1.000000000000D+00 2.013000000000D+03 0.000000000000D+00
2.000000000000D+00 0.000000000000D+00 5.587935447693D-09 2.000000000000D+01
0.000000000000D+00
3 18 8 5 0 0 0.0 1.165210269392D-04 6.025402399246D-12 0.000000000000D+00
1.400000000000D+01-3.053125000000D+01 4.939134434778D-09-1.964249225310D+00
-1.575797796249D-06 1.600643503480D-03 6.735324859619D-06 5.153700565338D+03
0.000000000000D+00 5.960464477539D-08-2.956341491010D+00-3.725290298462D-09
9.616609466384D-01 2.503125000000D+02 5.316868468685D-01-8.224271041968D-09
3.500145659419D-11 1.000000000000D+00 2.013000000000D+03 0.000000000000D+00
2.000000000000D+00 0.000000000000D+00 1.862645149231D-09 1.400000000000D+01
0.000000000000D+00
7 18 8 5 0 0 0.0 1.472327858210D-04-6.480149750132D-12 0.000000000000D+00
7.100000000000D+01 8.275000000000D+01 4.536974795855D-09-1.662327630733D+00
4.142522811890D-06 1.200384937692D-02 7.677823305130D-06 5.153650190353D+03
0.000000000000D+00 1.490116119385D-07-8.452222423276D-01-2.067536115646D-07
9.578727188093D-01 2.296250000000D+02-2.506463757328D+00-8.007119411957D-09
1.100045818325D-10 1.000000000000D+00 2.013000000000D+03 0.000000000000D+00
2.000000000000D+00 0.000000000000D+00-1.117587089539D-08 7.100000000000D+01
0.000000000000D+00
8 18 8 5 0 0 0.0-1.105447299778D-04-1.250555214938D-12 0.000000000000D+00
5.300000000000D+01-4.921875000000D+01 4.082670201910D-09 1.519349592655D+00
-2.546235918999D-06 3.462138352916D-03 8.800998330116D-06 5.153611314774D+03
0.000000000000D+00 3.539025783539D-08 1.218769196983D+00 7.078051567078D-08
9.693672450538D-01 2.132812500000D+02-4.008819300672D-01-7.944973567930D-09
-5.035924108276D-11 1.000000000000D+00 2.013000000000D+03 0.000000000000D+00
2.000000000000D+00 0.000000000000D+00 5.122274160385D-09 5.300000000000D+01
0.000000000000D+00

```

3. Contoh Program Matlab yang Digunakan Untuk Plot TEC

```

clear all
clc

[name,dir]=uigetfile
fid=fopen([dir name], 'r')
nLines = 0;
while (fgets(fid) ~= -1)
    nLines = nLines+1;
end
fclose(fid);

fid=fopen([dir name], 'r')
A=[];
N=[];

for i=1:nLines
    str=fgets(fid);
    nchar=length(str);
    if nchar==20
        a=str2num(str);
    elseif nchar~=20
        deg=[nan nan];
        a=[nan nan];
        n=str2num(str(:,7:8));
    %-----
    N=[N;n];
    end
    A=[A;a];
end

```

4. Contoh Program Matlab yang Digunakan Untuk Plot IPP

```


clc,clear

load 'navcamp2710.mat'

%titik stasiun gempa bumi tanggal 28 September 2018 pukul 10.02 _____
%21 CAMP
x21 = [-3339771.9498  5433061.8345  -96341.1499];
[lo, la, h] = cart2sph(x21(1,1),x21(1,2),x21(1,3));
plot((lo*180/pi), (la*180/pi), '^b', 'LineWidth', 2);
hold on
%21 CKEN
x22 = [-3423050.5342  5363895.3135  -437852.6230];
[lo, la, h] = cart2sph(x22(1,1),x22(1,2),x22(1,3));
plot((lo*180/pi), (la*180/pi), '^g', 'LineWidth', 2);
%21 CMAK
x23 = [-3119381.1269  5534198.4448  -567040.7035];
[lo, la, h] = cart2sph(x23(1,1),x23(1,2),x23(1,3));
plot((lo*180/pi), (la*180/pi), '^y', 'LineWidth', 2);
%21 CPAL
x24 = [-3203247.6352  5505413.3865  -332355.3061];
[lo, la, h] = cart2sph(x24(1,1),x24(1,2),x24(1,3));
plot((lo*180/pi), (la*180/pi), '^r', 'LineWidth', 2);
%21 CTOL
x25 = [-3267040.0709  5476734.5017  115220.4161];
[lo, la, h] = cart2sph(x25(1,1),x25(1,2),x25(1,3));
plot((lo*180/pi), (la*180/pi), '^m', 'LineWidth', 2);

```

5. Surat Permohonan Data Kepada Instansi BIG



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
 Telp : 031-5994251-54, 5947274, 5945472 (Hunting)
 Fax : 031-5947254, 5950800
 http://www.its.ac.id

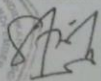
No. : 15862/TT2.1/TU.00.09/2019 21 Februari 2019
 Lamp. : satu eksemplar
 Hal : Permohonan data

Yth : Kepala Badan Informasi Geospasial (BIG)
 Jl. Raya Jakarta – Bogor Km.46
 Cibinong 16911
 Bogor, Indonesia

Sehubungan dengan penyelesaian Tugas Akhir mahasiswa Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan - ITS memerlukan data yang ada di Badan Informasi Geospasial (BIG), maka bersama ini kami mohon bantuan dan kerjasamanya bagi mahasiswa kami untuk mendapatkan data yang dimaksud. Adapun nama mahasiswa, judul Tugas Akhir dan data yang diperlukan seperti terlampir.

Atas perhatian dan kerjasama Bapak/Ibu kami sampaikan terima kasih.

An. Wakil Rektor
 Bidang Akademik dan Kemahasiswaan
 Direktur Akademik



Dr. Siti Machmudah, ST, M.Eng
 NIP. 197305121999032001

Tembusan.

1. Dekan Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
2. Kabag TU dan Kearsipan

6. Lanjutan Surat Permohonan Data Kepada Instansi BIG

Lampiran Surat
 No. : 15862/IT2.1/TU.00.09/2019
 Tanggal : 21 Februari 2019

DAFTAR NAMA MAHASISWA, JUDUL TUGAS AKHIR DAN DATA YANG DIPERLUKAN

No	Nama/NRP	Judul Tugas Akhir	Data yang dibutuhkan
1	Mochamad Thufall Adjie Prasetyo 033115 4000 0023	Analisis Perubahan Ionosfer Pada Gempa Bumi Sesar (Studi kasus : Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Palu, dan Kabupaten Donggala)	1. Data GPS Cors CBIT, CRAU, CNAU, CPUT, CKTP, CPON, dan CBAS mulai tanggal 27 September 2018 - 8 Oktober 2018 2. Data GPS Cors CBIT, CTOL, DALP, CAMD, CMLI, CPAL, CKEN, CMAK, CNAU, CRAU, CBAL, CPUT, CBAS, CDON, dan CKTD mulai tanggal 5 Agustus 2018 - 19 Agustus 2018
2	Meidiana Hermawati 033115 4000 0006	Analisis Perbandingan Estimasi Total Column Water Vapor Menggunakan Data Meteorologi Permukaan, Model European Center For Medium Range Weather Forecasts (ECM WF), dan Global Positioning System (Studi kasus : Kota Surabaya)	Data Rinex Observasi, Navigasi, dan Meteorologi Stasiun GPS Cors CSBY (Surabaya) 1 Januari 2016-31 Desember 2018
3	Fikri Hadyan Putra 033115 4000 0017	Analisis Transpor Sedimen Terhadap Fenomena Scouring Pada Pilar Jembatan Menggunakan Pemodelan Hidrodinamika 3 Dimensi	1. Data Pasang Surut Realtime Stasiun Ambon (Teluk Ambon) selama tahun 2011, 2015, dan 2018 2. Peta RBI Ambon skala 1 : 25.000, dengan indeks peta RBI yaitu . - 2612-23 - 2612-21
4	Uswatun Nisa Nur Safitri 033115 4000 0045	Pembuatan Sistem Informasi Geografis Jaringan Penginderaan Jauh Irigasi Teknis Berbasis Web Menggunakan Citra Satelit Pleiades Tahun 2018 (Studi kasus : Kecamatan Palang, Tuban)	Data Cors Tuban (CTBN) tanggal 10 Februari - 28 Februari 2019
5	Fatikonada 033115 4000 0045	Analisis Perbandingan Ketelitian Pada GPS Geodetik Topcon Hiperpro dan GNSS Low cost K706 OEM Board (Studi kasus : Surabaya)	Data Cors CSBY tanggal 1 Februari - 15 Maret 2019
6	Januar Ramadhan P 033115 4000 0064	Analisis Tingkat Ketelitian Pengelolaan Pengamatan GNSS Menggunakan Low - Cost GPS U-Blox dan GPS Geodetik (Studi kasus: U-Blox MBT dan U-Blox MBD)	Data Rinex Observasi dan Navigasi Stasiun Cors CSBY tanggal 1 Februari - 30 April 2019

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Lamongan, 16 Februari 1997, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara dan putra dari bapak Witoyo dan ibu Suyati. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Semen Gresik, SDN Mondokan, SMPN 6 Tuban, dan SMAN 2 Tuban dan lulus pada tahun 2015. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Geomatika melalui jalur SNMPTN. Pada masa perkuliahan penulis diamanahi menjadi, Ketua Departemen Mentoring GIS ITS. Selain itu penulis juga pernah mengikuti keterampilan manajemen mahasiswa dan juga berbagai pelatihan seperti LKMM Pra-TD dan LKMW TD. Penulis pernah mengikuti kegiatan kerja praktek/magang di Proyek Tol Kunciran-Serpong selama satu setengah bulan. Dalam penyelesaian syarat Tugas Akhir, penulis memilih bidang keahlian GNSS, dengan Judul Tugas Akhir “Analisis Perubahan Ionosfer Akibat Gempa Bumi Sesar (Studi Kasus : Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Palu & Kabupaten Donggala)”. Jika ingin menghubungi penulis dapat mengirim email pada Mochamad.thufall@gmail.com.