



UNIVERSITAS PERTAHANAN REPUBLIK INDONESIA

**IDENTIFIKASI SESAR AKTIF DI WILAYAH OBJEK VITAL
NASIONAL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR CIRATA
DAN SEKITARNYA UNTUK MENINGKATKAN
KEWASPADAAN BENCANA NASIONAL**

**AGUNG MULYO UTOMO
120200402001**

Tesis yang Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
dalam Mendapatkan Gelar Magister Pertahanan

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTAHANAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI PENGINDERAAN**

**BOGOR
2022**

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

Nama : Agung Mulyo Utomo
NIM : 120200402001
Program Studi : Teknologi Penginderaan
Fakultas : Teknologi Pertahanan
Judul Tesis : Identifikasi Sesar Aktif di Wilayah Objek Vital Nasional Pembangkit Listrik Tenaga Air Cirata dan Sekitarnya Untuk Meningkatkan Kewaspadaan Bencana Nasional

Pembimbing I,



Prof. Dr. Aris Poniman

Tanggal: 26 Januari 2022

Pembimbing II,



Dr. Yosef Prihanto, S.Si., M.Si
NIP. 197407302005021001

Tanggal: 26 Januari 2022

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknologi Pertahanan,


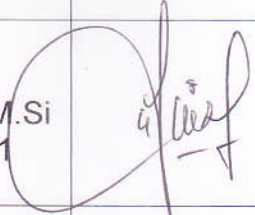


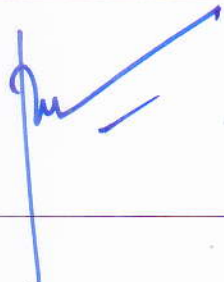


Dr. Kasih Prihantoro, S.E., M.M., M.Tr.(Han)

Laksamana Muda TNI

Tanggal: 28 Januari 2022

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

	Nama : Agung Mulyo Utomo NIM : 120200402001 Program Studi : Teknologi Penginderaan Fakultas : Teknologi Pertahanan Judul Tesis : Identifikasi Sesar Aktif di Wilayah Objek Vital Nasional Pembangkit Listrik Tenaga Air Cirata dan Sekitarnya Untuk Meningkatkan Kewaspadaan Bencana Nasional		
No.	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Pembimbing I: Prof. Dr. Aris Poniman		12/2/2022
2.	Pembimbing II: Dr. Yosef Prihanto, S.Si., M.Si NIP. 197407302005021001		15-02-2022
3.	Penguji I: Prof. Dr. Ir. Sobar Sutisna, M.Surv.Sc.		13-02-2022
4.	Penguji II: Dr. Drs. Sukendra Martha, M.Sc., M.App.Sc.		13-02-22
5.	Penguji III: Dr. Ir. Rudy Agus Gemilang Gultom, M.Sc., CEH., CIQaR Kolonel Sus. NRP. 520726		16/2/2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya atau bagian karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan jenjang apapun di suatu Perguruan Tinggi; dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat istilah, frasa, kalimat, paragraf, subbab atau bab dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan; kecuali yang secara tertulis diajukan dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Pustaka.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam tesis ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan/undang-undang yang berlaku.

Bogor, 6 Januari 2022



Agung Mulyo Utomo

KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penyusunan tesis dengan judul: “Identifikasi Sesar Aktif di Wilayah Objek Vital Nasional Pembangkit Listrik Tenaga Air Cirata dan Sekitarnya untuk Meningkatkan Kewaspadaan Bencana Nasional” dapat diselesaikan.

Penyusunan tesis ini ditujukan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Magister pada Program Studi Teknologi Penginderaan Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan Republik Indonesia.

Penyusunan tesis ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada:

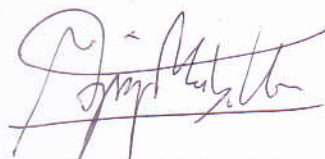
1. Laksamana Madya TNI Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, S.T., M.Sc., DESD, selaku Rektor Universitas Pertahanan Republik Indonesia.
2. Laksamana Muda TNI Dr. Kasih Prihantoro, SE., MM., M.Tr.(Han), selaku Dekan Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan Republik Indonesia.
3. Kolonel Lek Haposan Simatupang, M.Si.(Han), CIQnR., selaku Wakil Dekan Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan Republik Indonesia.
4. Kolonel Sus Dr. Ir. Rudy AG Gultom, M.Sc., CEH., CIQaR., selaku Sesprodi Teknologi Penginderaan Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan Republik Indonesia dan Penguji III.
5. Prof. Dr. Aris Poniman, selaku Pembimbing I, yang selalu sabar dalam membimbing.
6. Dr. Yosef Prihanto, S.Si., M.Si., selaku Pembimbing II, yang selalu siap sedia dalam memberikan bimbingan.
7. Prof. Dr. Ir. Sobar Sutisna, M.Surv.Sc., selaku Penguji I.

8. Dr. Drs. Sukendra Martha, M.Sc., M.App.Sc., selaku Penguji II.
9. Orang tua tercinta, istri tercinta, anak tersayang beserta keluarga besar yang selalu memberikan dukungan moril dan doa hingga terselesainya tesis ini.
10. Dr. Mohamad Ramdhan, S.T., M.T., selaku rekan kantor BMKG di Pusat Gempa Bumi dan Tsunami yang memberikan bimbingannya.
11. Teman-teman seperjuangan Prodi Teknologi Penginderaan Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan Republik Indonesia Cohort 4, Mayor Arifin, Iwan, Yusfan, Giant, Laila, Dita dan Soufi, yang selalu kompak dan ceria dalam segala kondisi.

Peneliti menyadari bahwa tesis ini masih kurang sempurna, oleh karena itu dengan kerendahan hati mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan tesis ini.

Akhirnya, semoga tesis ini dapat memberikan manfaat terhadap pengembangan ilmu pertahanan dan bermanfaat bagi *stakeholder* terkait dalam upaya meningkatkan kewaspadaan bencana nasional, khususnya bencana gempa bumi.

Bogor, 6 Januari 2022



Agung Mulyo Utomo

ABSTRAK

IDENTIFIKASI SESAR AKTIF DI WILAYAH OBJEK VITAL NASIONAL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR CIRATA DAN SEKITARNYA UNTUK MENINGKATKAN KEWASPADAAN BENCANA NASIONAL

AGUNG MULYO UTOMO

Ancaman pertahanan Indonesia dapat berupa ancaman militer, nonmiliter dan hibrida. Salah satu jenis ancaman nonmiliter yang aktual adalah ancaman bencana alam. Indonesia terletak pada pertemuan empat lempeng utama dunia, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, lempeng Laut Filipina dan lempeng Pasifik mengakibatkan Indonesia banyak terjadi bencana alam, khususnya gempa bumi. Sumber pembangkit gempa bumi adalah sesar aktif. Masih banyak sesar aktif di darat yang belum teridentifikasi dengan baik. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Cirata merupakan objek vital nasional yang mendukung keberlangsungan listrik di Jawa-Bali yang terletak pada zona sesar yang diduga aktif. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi sesar aktif dengan teknologi penginderaan dan mengembangkan metode analisa distribusi potensi gempa bumi di sekitar PLTA Cirata untuk meningkatkan kewaspadaan bencana. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan melakukan analisa seismisitas dan analisa citra satelit. Analisa seismisitas dilakukan analisa seismik, relokasi hiposenter, mekanisme fokal dan analisa magnitudo. Analisa citra satelit dilakukan analisa *Interferometric Synthethic Aperture Radar* (InSAR) dan *Differential Interferometric Synthethic Aperture Radar* (DInSAR). Hasil analisa seismisitas didapatkan pola sebaran gempa bumi di sebelah Utara-Timur Bendungan Cirata, jenis sesar aktif di Cirata dapat diketahui sebagai sesar mendatar (*strike slip*) dengan arah patahan berorientasi Barat Daya-Timur Laut yang bersesuaian dengan pola sebaran gempa bumi periode April 2009 sampai Desember 2021. Dari analisa citra satelit dengan metode InSAR dan DInSAR diperoleh hasil yang sesuai dengan pola sebaran gempa bumi, dengan terlihat ada perubahan fase antara sebelum dan sesudah gempa bumi terjadi. Sedangkan perubahan deformasi di sekitar lokasi penelitian terjadi pergeseran 1 sampai 2 cm. Dari analisa hubungan panjang *rupture* dengan magnitudo dapat diketahui bahwa potensi gempa bumi di sekitar PLTA Cirata dapat membangkitkan gempa bumi dengan kekuatan Mw 6,2. Informasi ini sangat penting untuk meningkatkan kewaspadaan bencana nasional di objek vital nasional PLTA Cirata dan sekitarnya.

Kata Kunci: Sesar aktif, PLTA Cirata, relokasi hiposenter, mekanisme fokal, analisa magnitudo, InSAR, DInSAR dan kewaspadaan bencana

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF ACTIVE FAULT IN THE NATIONAL VITAL OBJECT AREA OF THE CIRATA HYDROELECTRIC POWER PLANT AND SURROUNDINGS TO IMPROVE NATIONAL DISASTER ALERTNESS

AGUNG MULYO UTOMO

Indonesia's defense threats can be in the form of military, nonmilitary and hybrid threats. One type of actual nonmilitary threat is the threat of natural disasters. Indonesia is located at the confluence of four of the world's main plates, namely the Eurasian plate, the Indo-Australian plate, the Philippine Sea plate and the Pacific plate causing Indonesia to experience many natural disasters, especially earthquakes. The source of the earthquake generator is an active fault. There are still many active faults on land that have not been well identified. The Cirata Hydroelectric Power Plant (PLTA) is a vital national object that supports electricity sustainability in Java-Bali which is located in a fault zone that is suspected to be active. This research aims to identify active faults with sensing technology and develop an analysis of the potential for earthquakes around the PLTA Cirata to increase disaster alertness. This research uses quantitative methods by analyzing seismicity and analyzing satellite imagery. Seismicity analysis was carried out by seismic analysis, hypocenter relocation, focal mechanism and magnitude analysis. Analysis of satellite imagery was performed by analysis of Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) and Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR). The results of the seismic analysis showed that the pattern of earthquake distribution in the North-East of the Cirata reservoir, the active fault type in Cirata can be identified as a strike slip with a fault direction oriented Southwest-Northeast which corresponds to the pattern of earthquake distribution for the period April 2009 to December 2021. From the analysis of satellite images using the InSAR and DInSAR methods, the results are in accordance with the earthquake distribution pattern, with a change in phase between before and after the earthquake occurred. Meanwhile, changes in deformation around the study site occurred a shift of 1 to 2 cm. From the analysis of the relationship between rupture length and magnitude, it can be seen that the potential for earthquakes around the PLTA Cirata can generate earthquakes with a magnitude of 6.2 Mw. This information is very important to increase national disaster alertness in the national vital object of the PLTA Cirata and its surroundings.

Keywords: Active fault, PLTA Cirata, hypocenter relocation, focal mechanism, magnitude analysis, InSAR, DInSAR and disaster alertness

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GRAFIK.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	6
1.3 Pembatasan Masalah.....	7
1.4 Rumusan Masalah.....	7
1.5 Tujuan Penelitian.....	8
1.6 Manfaat Penelitian.....	8
1.6.1 Manfaat Teoritis.....	8
1.6.2 Manfaat Praktis.....	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Landasan Teori.....	9
2.1.1 Ilmu Pertahanan.....	9
2.1.2 Teknologi Pertahanan.....	10
2.1.3 Objek Vital Nasional.....	11
2.1.4 Kewaspadaan Bencana.....	12
2.1.5 Teknologi Penginderaan.....	14

2.1.6	Penginderaan Bawah Bumi	16
2.1.6.1	Gelombang Seismik.....	16
2.1.6.2	Gempa Bumi	17
2.1.7	Penginderaan Jauh.....	23
2.1.7.1	<i>Synthetic Aperature Radar (SAR)</i>	23
2.1.7.2	Pemanfaatan Data Satelit SAR di Indonesia.....	25
2.1.7.3	Data SAR untuk Identifikasi Sesar Aktif	26
2.2	Hasil Penelitian Terdahulu.....	27
2.3	Kerangka Pemikiran	33
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		36
3.1	Metode dan Desain Penelitian.....	36
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	37
3.3	Populasi dan Sampel Penelitian	38
3.4	Teknik Pengumpulan Data	39
3.5	Instrumen Penelitian.....	40
3.6	Teknik Pengolahan Data	41
3.6.1	Pengolahan Relokasi Hiposenter.....	42
3.6.2	Pengolahan Mekanisme Fokal.....	44
3.6.3	Pengolahan Magnitudo	45
3.6.4	Pengolahan <i>Synthetic Aperture Radar (SAR)</i>	46
3.7	Teknik Analisa Data.....	47
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		48
4.1	Deskripsi Data	48
4.1.1	Data Seismisitas	48
4.1.2	Data Citra Satelit.....	49
4.2	Hasil Pengumpulan Data.....	50
4.2.1	Hasil Pengumpulan Data Seismisitas	50
4.2.2	Hasil Pengumpulan Data Citra Satelit.....	51
4.3	Hasil Pengolahan Data	52

4.3.1	Hasil Pengolahan Data Seismisitas	52
4.3.2	Hasil Pengolahan Data Citra Satelit.....	56
4.4	Pembahasan	59
4.4.1	Analisa Seismisitas	59
4.4.1.1	Analisa Relokasi Hiposenter	59
4.4.1.2	Analisa Mekanisme Fokal	60
4.4.1.3	Analisa Magnitudo.....	61
4.4.2	Analisa Citra Satelit	62
4.4.2.1	Analisa InSAR.....	62
4.4.2.2	Analisa DInSAR	62
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....		65
LAMPIRAN.....		71

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1	Peta topografi dan tektonik wilayah Indonesia dan sekitarnya. Tanda panah menunjukkan vektor kecepatan yang diperoleh dari survei GPS dari tahun 1991 sampai 2001, dalam <i>International Terrestrial Reference Frame (ITRF) 2000</i> 1
Gambar 1.2	Peta seismisitas Indonesia periode tahun 2009 sampai dengan Juni 2021..... 3
Gambar 1.3	Peta sebaran sesar aktif di Pulau Jawa sampai dengan tahun 2017..... 3
Gambar 1.4	Bendungan Cirata, Jawa Barat..... 6
Gambar 2.1	Arah rambatan gelombang sekunder (atas) dan arah rambatan gelombang primer (bawah)..... 16
Gambar 2.2	Asumsi model gerakan relatif proses terjadinya gempa bumi. (a). Keadaan pada saat kondisi normal, (b). Karena patahan terkunci, maka yang ada di permukaan bumi perlahan berubah bentuk (pagar bengkok), (c). Akhirnya patahan tergelincir dan menyebabkan gempa bumi 18
Gambar 2.3	Ilustrasi Jenis-Jenis Bidang Gempa 22
Gambar 2.4	Ilustrasi Geometri Gempa..... 22
Gambar 2.5	Urutan waktu Satelit Penginderaan Jauh SAR dari tahun 1992 sampai 2024 23
Gambar 2.6	Perbandingan Citra SAR Tunggal, Dual, dan Multi-Polarisasi (kiri) serat Resolusi Spasial Tinggi (kanan).... 25
Gambar 2.7	Bagan Kerangka Pemikiran..... 34
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian 36
Gambar 3.2	Diagram alir metode hypoDD 43

Gambar 3.3	Tampilan <i>waveform editor</i> pada modul <i>scmtv</i> yang dapat digunakan untuk menganalisa bentuk gelombang dan secara interaktif memandu dan meningkatkan solusi Momen Tensor (MT).....	44
Gambar 3.4	Korelasi panjang <i>rupture</i> dengan besar magnitudo gempa bumi.....	45
Gambar 3.5	Diagram alir metode InSAR menggunakan <i>software</i> SNAP 8.0.....	46
Gambar 3.6	Diagram alir metode DInSAR menggunakan <i>software</i> SNAP 8.0.....	47
Gambar 4.1	Sinyal seismik dilihat dengan <i>software</i> SeiscomP3.....	48
Gambar 4.2	Contoh citra Sentinel-1A yang terdiri dari 3 <i>sub-swaths</i> (merah), hamburan (putih) dan lokasi yang dipilih (biru)	49
Gambar 4.3	Sebaran gempa bumi di sekitar PLTA Cirata periode April 2009 sampai Desember 2021	50
Gambar 4.4	(a). Sebaran gempa bumi di sekitar PLTA Cirata periode April 2009 – Desember 2021 sebelum relokasi; (b). Cross-section gempa bumi di sekitar PLTA Cirata periode April 2009 – Desember 2021 sebelum relokasi	52
Gambar 4.5	(a). Sebaran gempa bumi di sekitar PLTA Cirata periode April 2009 – Desember 2021 sesudah relokasi; (b). Cross-section gempa bumi di sekitar PLTA Cirata periode April 2009 – Desember 2021 sesudah relokasi.....	53
Gambar 4.6	(a). Sebaran gempa bumi di PLTA Cirata periode April 2009 – Desember 2021 sebelum relokasi; (b). Cross-section gempa bumi di PLTA Cirata periode April 2009 – Desember 2021 sebelum relokasi	53

Gambar 4.7	(a). Sebaran gempa bumi di PLTA Cirata periode April 2009 – Desember 2021 sesudah relokasi; (b). Cross-section gempa bumi di PLTA Cirata periode April 2009 – Desember 2021 sesudah relokasi	54
Gambar 4.8	Hasil pengolahan dengan metode InSAR periode bulan Januari 2020	56
Gambar 4.9	Hasil pengolahan dengan metode InSAR periode bulan Maret 2020.....	57
Gambar 4.10	Hasil pengolahan dengan metode InSAR periode bulan September 2020	57
Gambar 4.11	Hasil pengolahan dengan metode DInSAR periode bulan Januari 2020	58
Gambar 4.12	Hasil pengolahan dengan metode DInSAR periode bulan Maret 2020.....	58
Gambar 4.13	Hasil pengolahan dengan metode DInSAR periode bulan September 2020	59
Gambar 4.14	Hasil analisa mekanisme fokal gempa bumi Cirata 07 Desember 2021 dengan menggunakan modul scmtv dalam Software Seiscomp3.....	60
Gambar 4.15	Potensi magnitudo maksimum di sekitar PLTA Cirata	61

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Penelitian Terdahulu 28
Tabel 3.1	Jadwal Penelitian..... 37
Tabel 3.2	Populasi dan sampel penelitian 38
Tabel 3.3	Teknik pengumpulan data 39
Tabel 3.4	Instrumen penelitian 40
Tabel 3.5	Teknik pengolahan data 41
Tabel 3.6	Teknik analisa data..... 41
Tabel 4.1	Kejadian gempa bumi di PLTA Cirata..... 55

DAFTAR GRAFIK

	Halaman
Grafik 4.1	Jumlah kejadian gempa bumi periode April 2009 – Desember 2021 di sekitar PLTA Cirata 51
Grafik 4.2	Jumlah kejadian gempa bumi dangkal periode April 2009 – Desember 2021 di PLTA Cirata..... 55