

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Ilmu Pertahanan

Ilmu menurut Suriasumantri, J.S. (2009) adalah bagian dari cabang pengetahuan yang mempelajari kekhususan tertentu. Ilmu pada prinsipnya tidak ada perbedaan antara ilmu alam dan ilmu sosial, dimana keduanya sama-sama memiliki kekhususan keilmuan yang sama. Secara filsafat ilmu-ilmu pengetahuan tersebut berbeda sesuai dengan kekhususan keilmuannya. Pengetahuan ilmiah atau ilmu merupakan pengetahuan yang diproses berdasarkan kaidah-kaidah ilmiah dengan terpenuhinya syarat-syarat keilmuan.

Menurut Tippe, S. (2016) berdasarkan tinjauan ontologi, ilmu pertahanan merupakan sesuatu ilmu yang menggambarkan tindakan suatu negara dalam menjaga dan mempertahankan keberlangsungan suatu negara. Secara filosofis pertahanan muncul karena adanya suatu negara (*state*) dan suatu keharusan untuk mempertahankan diri (*survive*) dari segala jenis ancaman. Secara epistemologi, ilmu pertahanan merupakan ilmu yang saling terkait dengan disiplin ilmu lainnya atau tidak dapat berdiri sendiri (multidisiplin, interdisiplin dan transdisiplin). Tippe, S. (2016) menjelaskan bahwa ilmu pertahanan secara aksiologis merupakan suatu ilmu terkait pertahanan yang bermanfaat sekali dalam menentukan kebijakan dan strategi pertahanan suatu negara sejak abad ke-20.

Menurut Supriyatno, M. (2014), mendefinisikan ilmu pertahanan adalah suatu ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan cara mengatur sumber daya dan kekuatan nasional di waktu damai, perang dan sesudah perang dalam rangka menanggulangi segala jenis ancaman terhadap bangsa dan negara. Terdapat dua manfaat utama dari ilmu pertahanan bagi kehidupan berbangsa dan bernegara serta hubungan antar bangsa, yaitu menurut dimensi ruang dan waktu. Menurut dimensi ruang manfaat

ilmu pertahanan yaitu perang yang dilaksanakan di teritori negara sendiri dan perang yang dilaksanakan di luar negara sendiri. Kemudian manfaat ilmu pertahanan menurut dimensi waktu yaitu pertama pada masa damai, bagaimana mengelola sumber daya pertahanan pada saat damai atau jauh sebelum peperangan itu terjadi. Kedua, pada saat perang, dan yang ketiga adalah setelah peperangan selesai.

2.1.2 Teknologi Pertahanan

Perkembangan teknologi dari masa ke masa berkaitan erat dengan revolusi industri. Perkembangan diawali pada masa Revolusi Industri 1.0 sampai sekarang masa Revolusi Industri 4.0 menyebabkan perkembangan juga di dunia pertahanan. Hal tersebut sering dikenal dengan istilah *Revolution in Military Affairs* (RMA). RMA berkembang sangat cepat mengikuti perkembangan teknologi terkini, sehingga mengakibatkan berubahnya strategi dan kebijakan pertahanan suatu negara. Suatu negara harus cepat beradaptasi dengan perkembangan teknologi di bidang pertahanan guna merespon jenis ancaman yang semakin berkembang dan sangat kompleks. Respon yang tepat perlu dipersiapkan dengan matang seperti menyiapkan kemampuan sumber daya manusia untuk cepat menguasai teknologi terkini dan memaksimalkan sumber daya alam yang ada untuk mendukung sistem pertahanan. Perubahan lingkungan global yang berkembang dinamis dan kompleks perlu diantisipasi dengan kemampuan yang memadai dalam situasi global yang sulit ditebak. Dibutuhkan kemampuan pertahanan yang mengikuti perkembangan teknologi terkini, seperti teknologi siber, *artificial intelligence*, teknologi komputer, teknologi satelit dan *big data*. Dibutuhkan kemampuan menguasai teknologi-teknologi tersebut, sehingga tidak hanya menjadi pengguna saja, tetapi ikut sebagai pemain utama dalam perubahan teknologi dalam bidang pertahanan.

Oleh karena itu, diperlukan analisa yang mendalam terkait dengan perkembangan teknologi dan RMA secara berkesinambungan. Dalam

pembinaan industri pertahanan dalam merespon perkembangan teknologi menjadi tugas dari Kementerian Pertahanan yang tercantum dalam Peraturan Menteri Pertahanan No.15 Tahun 2009 tentang Pembinaan Teknologi dan Industri Pertahanan. Definisi RMA menurut pemerintah adalah suatu perubahan dan perkembangan teknologi di bidang militer yang memberikan pengaruh besar terhadap strategi, postur dan doktrin militer.

2.1.3 Objek Vital Nasional

Yang dimaksud dengan objek vital nasional menurut Keputusan Presiden Nomor 63 Tahun 2004 tentang Pengamanan Obyek Vital Nasional, Pasal 1, adalah suatu wilayah, gedung dan/atau usaha yang berkaitan dengan hajat hidup orang banyak, kepentingan negara dan/atau sumber pendapatan negara yang memiliki peran strategis. Menurut Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 159.K/90/MEM/2020 tentang Perubahan atas Keputusan Menteri ESDM Nomor 77K/90/Mem/2019 tentang Objek Vital Nasional Bidang Energi dan Sumber Daya Mineral, dijelaskan bahwa PLTA Cirata merupakan salah satu objek vital nasional dalam bidang energi dan sumber daya mineral.

Unit Pembangkit Cirata mengoperasikan PLTA Cirata dengan menggunakan air di Bendungan Cirata yang berasal dari sungai Citarum. Lokasi bangunan PLTA Cirata di Kecamatan Tegal Waru, Purwakarta, Jawa Barat, kurang lebih dari Bandung sekitar 60 km. Bendungan Cirata menempati lahan genangan seluas 6.200 hektar berada pada ketinggian 221 meter diatas permukaan laut. Bendungan Cirata terletak pada koordinat 6⁰42'2" S, 107⁰22'5". Lokasi Bendungan Cirata terletak di wilayah 3 Kabupaten, yaitu Kabupaten Purwakarta sekitar 21%, Kabupaten Cianjur sekitar 41%, dan Kabupaten Bandung Barat sekitar 38% di Provinsi Jawa Barat. PLTA Cirata terdapat 8 unit pembangkit yang dapat menghasilkan total kapasitas terpasang sebesar 1.008 MW.

Produksi listrik yang dihasilkan rata-rata per tahun sebesar 1.428 GWh. PLTA Cirata dibagi menjadi dua bagian yaitu Cirata I dan Cirata II. PLTA Cirata I mulai beroperasi tahun 1988 dengan 4 unit pembangkit yang memiliki kapasitas 504 MW, masing-masing unit beroperasi dengan kapasitas terpasang 126 MW. Kemudian PLTA Cirata II beroperasi mulai tahun 1997 dengan jumlah unit pembangkit sebanyak 4 unit yang memiliki kapasitas 504 MW. Listrik tersebut disalurkan melalui saluran transmisi tegangan ekstra tinggi ke sistem interkoneksi 500 kV Jawa-Madura-Bali (Jamali). PLTA Cirata termasuk salah satu PLTA terbesar di kawasan Asia Tenggara. *Power House* dari PLTA Cirata terletak di bawah tanah yang terdiri dari 4 lantai dengan letak di kaki gunung. PLTA Cirata menjadi andalan bagi sistem kelistrikan Jawa-Bali, karena bisa segera menyalurkan listrik saat sistem membutuhkan pasokan dalam waktu singkat. PLTA Cirata beroperasi pada saat beban puncak, yaitu pukul 17.00-22.00 WIB.

2.1.4 Kewaspadaan Bencana

Kewaspadaan menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) merupakan keadaan (hal) waspada; kesiapsiagaan. Kemudian arti dari waspada menurut KBBI adalah berhati-hati dan berjaga-jaga; bersiap siaga. Kemudian, kesiapsiagaan menurut Nick Carter dalam LIPI-UNESCO/ISDR (2006) adalah suatu tindakan atau respon pihak tertentu dalam menghadapi bencana secara cepat dan tepat, seperti dalam pembuatan rencana penanggulangan bencana, pelatihan tanggap darurat dan pemeliharaan sumber daya. Kesiapsiagaan erat kaitannya dengan rangkaian manajemen bencana. Kesiapsiagaan sangat diperlukan dalam situasi bencana terjadi, dimana diperlukan segala daya upaya secara cepat dan tepat dalam merespon sebelum, saat dan sesudah bencana. Diharapkan dengan respon yang cepat dan tepat tersebut dapat mengurangi korban dan dampak bencana.

Pengertian kesiapsiagaan dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana secara umum menjelaskan terkait dengan suatu rangkaian tindakan untuk mengantisipasi bencana dengan melakukan pengorganisasian secara tepat sasaran. Oleh karena itu, pada penanggulangan bencana diperlukan manajemen bencana dalam menyiapkan kesiapsiagaan terhadap ancaman bencana. Kemudian, pengertian bencana dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 merupakan suatu kejadian atau rangkaian kejadian yang dapat mengancam dan mengganggu masyarakat yang dapat disebabkan oleh faktor alam atau non-alam maupun faktor manusia yang dapat menimbulkan korban jiwa, korban harta benda, dampak psikologis dan kerusakan lingkungan. Kemudian, *World Health Organization* (WHO) mendefinisikan bencana (*disaster*) secara umum sebagai setiap kejadian yang menimbulkan kerusakan, terganggunya lingkungan ekologis, korban jiwa manusia atau menurunnya layanan kesehatan dalam indikator khusus yang membutuhkan tindakan dari pihak lain.

Untuk mengurangi risiko bencana tersebut maka diperlukan pencegahan. Pengertian pencegahan bencana dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, secara umum dijelaskan terkait suatu rangkaian tindakan untuk meminimalisir dampak dari bencana tersebut. Jadi, target utama dari pencegahan bencana ini adalah mengurangi ancaman bencana dan kerentanan dampak bencana. Dalam proses pencegahan bencana dapat dilakukan beberapa tindakan, seperti melakukan identifikasi terhadap potensi ancaman bahaya, pemantauan terhadap penguasaan dan penggunaan teknologi, melakukan pemantauan pengelolaan sumber daya alam, melakukan pemantauan penggunaan lingkungan dan tata ruang serta melakukan peningkatan kesadaran masyarakat terhadap bencana.

2.1.5 Teknologi Penginderaan

Perkembangan teknologi penginderaan mulai berkembang seiring dengan perkembangan teknologi fotografi. Orang pertama yang memperkenalkan teknologi fotografi adalah Daguerre tahun 1839. Kemudian foto udara dilakukan pertama kali di Paris pada tahun 1868 dengan menggunakan balon udara. Pada awalnya, sebelum dikenal foto udara dengan teknologi fotografi digunakan burung dara untuk melakukan pemotretan keadaan permukaan bumi dari langit. Kemudian, seiring perkembangan waktu digunakan satelit untuk melakukan pemotretan dari langit. Pada tahun 1972 Amerika Serikat meluncurkan satelit penginderaan jauh pertama yang dikenal dengan Landsat *Multispectral Scanner System* (MSS). Inilah tonggak awal dimulainya era modern penggunaan satelit sebagai penginderaan jauh. Teknologi penginderaan jauh pada mulanya digunakan untuk keperluan militer dalam mendukung pertempuran, seperti untuk mengetahui lokasi musuh, mengetahui bentuk medan pertempuran dan mengatur strategi pergerakan pasukan. Kemudian, perkembangan saat ini telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti pemetaan, mitigasi bencana, cuaca, perubahan tutupan lahan, pencemaran lingkungan, pertanian, dan lain sebagainya.

Pengertian penginderaan jauh menurut Lillesand (2015) adalah suatu ilmu dan seni untuk mendapatkan data dari suatu lokasi atau fenomena dengan menggunakan alat tanpa perlu bersentuhan secara langsung dengan objek yang diamati. Kemudian Sutanto (2016) mendefinisikan penginderaan sebagai suatu rangkaian kegiatan dengan memakai alat indera atau sensor (panca indera) untuk mendeteksi target yang ditentukan. Disini dapat diartikan bahwa penginderaan dapat dilakukan dengan penginderaan bawah bumi, penginderaan jauh, penginderaan bawah air dan lain sebagainya. Prinsip penginderaan yaitu mengindera dan merekam suatu energi dari objek yang di indera, baik itu energi yang dipantulkan maupun yang dipancarkan. Setelah tahap

pengambilan data dilanjutkan dengan tahap pengolahan data, analisa data dan interpretasi data.

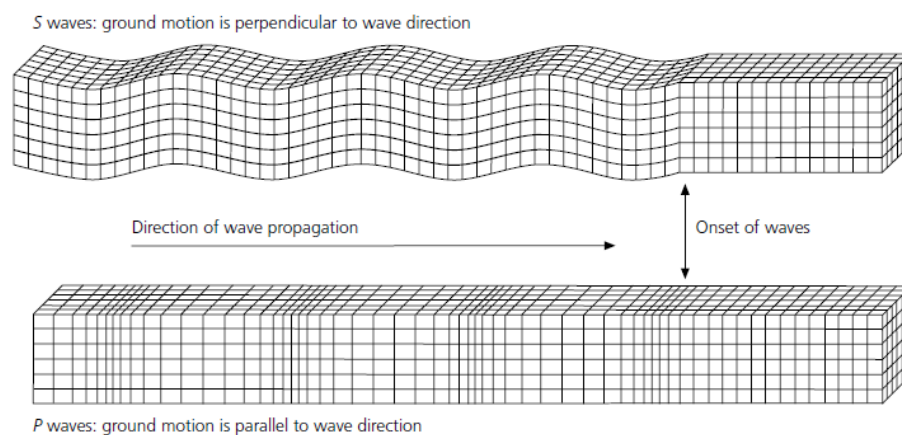
Pada penginderaan bawah bumi, data yang didapatkan berupa sinyal seismik. Sinyal seismik merupakan hasil proses dari gelombang seismik yang merambat di bawah permukaan bumi. Penginderaan seismik menurut Santos, dkk. (2019) merupakan suatu proses pengukuran dan proses analisa gelombang seismik. Alat yang digunakan untuk penginderaan seismik sangat spesifik, tergantung dengan rentang frekuensi dan periodenya. Menurut *New Manual of Seismological Observatory Practice* (NMSOP) (2012), rentang periode untuk gempa bumi lokal dengan gelombang seismik yang dekat berkisar antara 10^{-2} s sampai 10^0 s. Kemudian rentang periode untuk gempa bumi global dengan gelombang teleseismik berkisar antara 10^0 s sampai 10^{+2} s.

Kemudian pada penginderaan jauh, data yang yang didapatkan dalam bentuk citra atau gambar yang didalamnya terbentuk dari gabungan beberapa bagian yang sering dikenal sebagai piksel. Data piksel berhubungan dengan informasi terkait dengan resolusi data penginderaan jauh. Ada dua resolusi dalam data penginderaan jauh, yaitu resolusi spasial dan resolusi *temporal*. Resolusi spasial merupakan tingkat kedetailan suatu citra dengan ukuran piksel. Ukuran piksel menggambarkan kondisi sebenarnya suatu objek yang di indera. Misal suatu citra resolusinya 20 m, maka itu artinya ukuran citranya 20 m x 20 m dalam satu piksel. Kemudian, yang dimaksud dengan resolusi *temporal* adalah tingkat periode ulang dari satelit dalam melakukan pemotretan terhadap objek yang sama. Misal suatu data citra satelit memiliki resolusi *temporal* 12 hari, maka itu artinya satelit tersebut melakukan pemotretan objek yang sama dalam periode 12 hari sekali.

2.1.6 Penginderaan Bawah Bumi

2.1.6.1 Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan suatu kejadian perambatan gelombang mekanis yang terjadi karena adanya gempa bumi. Gelombang seismik dapat disebut juga dengan gelombang elastik, dimana terjadi interaksi antara gaya gangguan (*gradient stress*) dengan gaya elastik. Gelombang seismik yang berkaitan dengan gempa bumi adalah gelombang badan (*body wave*). Gelombang badan terjadi pada peristiwa gelombang yang merambat pada dua medium yaitu medium badan dan permukaan medium.



Gambar 2.1 Arah rambatan gelombang sekunder (atas) dan arah rambatan gelombang primer (bawah).

Sumber: Stein, S. and Wysession, M., 2015

Gelombang badan dibagi menjadi dua, yaitu:

a. Gelombang primer (P)

Gelombang P atau gelombang longitudinal (*compression wave*) adalah gelombang yang memiliki arah gerakannya sejajar dengan arah rambatannya. Gelombang P dapat merambat di medium padat dan cair. Semakin padat medium yang dilalui, semakin cepat rambatan gelombangnya.

b. Gelombang sekunder (S)

Gelombang sekunder (*shear wave*) adalah gelombang yang memiliki arah gerakannya tegak lurus dengan arah rambatannya. Gelombang sekunder tidak bisa merambat di medium cair.

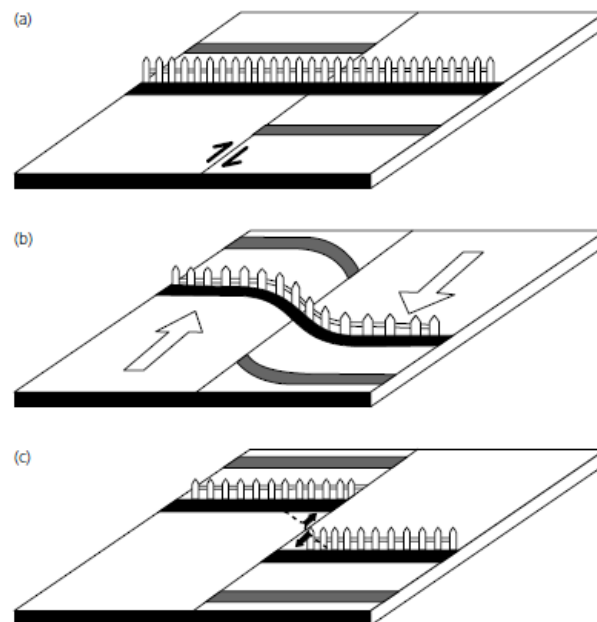
2.1.6.2 Gempa Bumi

Seismologi merupakan ilmu yang mempelajari struktur bumi dan gempa bumi. Dimana hal ini berkaitan dengan penjalaran gelombang seismik. Gempa bumi merupakan suatu peristiwa terlepasnya energi dalam bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan pada lapisan bumi yang terjadi secara cepat. Gempa bumi sering terjadi pada bidang patahan (*fault*), permukaan di bumi yang bergerak antar bidang yang satu dengan bidang yang lain. Gempa bumi yang terjadi di darat dengan kedalaman yang dangkal (0 sampai 60 km) dapat menyebabkan kerusakan yang terlihat di sepanjang patahan atau sesar. Kadang-kadang, gempa bumi terjadi pada lokasi patahan yang sudah diidentifikasi oleh ahli geologi yang tercantum pada peta geologi, yang hal ini menunjukkan bahwa pada masa lalu terjadi gempa bumi pada patahan tersebut.

Seorang ahli seismologi asal Amerika yang bernama Reid, mengusulkan teori *elastic rebound* gempa bumi yang terjadi pada suatu patahan (Stein, S. dan Wysession, M., 2015). Dimana dalam teori tersebut menjelaskan bahwa gempa bumi merupakan peristiwa alam yang terjadi karena adanya patahan yang bergerak relatif dari bagian satu ke bagian lainnya, dimana terjadi gesekan pada bidang patahan yang terkunci dan bidang patahan yang lain tergelincir (Gambar 2.2). Akibatnya terjadi penumpukan ketegangan (*stress*) pada bidang patahan yang tidak dapat di tahan oleh batuan, sehingga lama kelamaan menyebabkan patahan tersebut tergelincir dan mengakibatkan gempa bumi.

Gempa bumi yang terjadi di permukaan bumi menghasilkan sinyal seismik yang terekam oleh alat seismograf. Dari alat seismograf ini kemudian sinyal seismik yang terekam dikumpulkan, kemudian dilakukan

pengolahan sinyal seismik dan dilakukan analisa. Hasil akhir dari rangkaian proses tersebut adalah parameter gempa bumi.



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.

Sumber: Stein, S. and Wysession, M., 2015

a. Parameter Gempa bumi

Parameter gempa bumi merupakan hasil analisa dari sinyal seismik yang memberikan informasi terkait kejadian gempa bumi. Parameter gempa bumi terdiri dari waktu, lokasi, kekuatan dan kedalaman. Waktu (*origin time*) merupakan waktu terjadinya gempa bumi yang menunjukkan hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit dan detik dalam waktu *Universal Time Coordinated* (UTC). Lokasi menunjukkan posisi terjadinya gempa bumi di permukaan bumi atau lebih dikenal dengan sebutan episenter.

Satuan dari lokasi episenter ini dalam bentuk koordinat geografis berupa derajat lintang dan bujur. Kekuatan gempa bumi dikenal dengan magnitudo yang menunjukkan seberapa besar kekuatan gempa bumi tersebut. Kemudian yang terakhir adalah kedalaman gempa bumi. Kedalaman gempa bumi menunjukkan jarak antara posisi hiposenter tegak lurus dengan titik episenter di atas permukaan bumi. Satuan dari kedalaman gempa bumi adalah kilometer (km).

b. Sesar Aktif

Sesar aktif merupakan indikasi yang menunjukkan bahwa suatu patahan berpotensi terjadi gempa bumi. Ada beberapa pengertian sesar aktif menurut berbagai sumber. *United States Geological Survey* (USGS) dalam *Earthquake Glossary*, menjelaskan bahwa yang dimaksud dengan sesar aktif adalah sebuah patahan yang kemungkinan akan mengalami gempa bumi lagi di masa depan. Sesar biasanya dianggap aktif jika telah berpindah satu kali atau lebih dalam 10.000 tahun terakhir. Bukti geologis dapat digunakan untuk mengetahui kejadian gempa bumi besar yang terjadi berulang di sepanjang zona patahan aktif dengan melakukan kajian geologi permukaan (Wood, 1916). Selain itu adanya aktifitas dan bukti terjadinya deformasi di sepanjang zona patahan mengindikasikan bahwa patahan tersebut aktif (Allen, 1965). Sesar aktif biasanya berhubungan dengan satu atau lebih aktivitas, seperti sejarah patahan, kejadian gempa bumi di sepanjang patahan, bukti pergerakan geologis (beberapa ribu tahun terakhir) dan patahan yang tergelincir (*slip fault*) secara lambat (Cluff dan Bolt, 1969).

Menurut Marlyani (2016), penelusuran sesar aktif di suatu wilayah dapat dilakukan dengan pengamatan pada topografi berupa pergeseran sistematis komponen-komponen geomorfik, adanya deformasi pada batuan muda serta hadirnya gawir-gawir dan bidang sesar yang masih terlihat jelas. Aspek-aspek morfologi yang berasosiasi dengan sesar aktif dapat dikenali melalui data *Digital Elevation Model* (DEM) dan turunannya

(*hillshade, slope map, drainage patter*) seperti contohnya perubahan kelerengan topografi secara tiba-tiba (*significant topographic break*) yang membentuk kelurusan (*lineament*) (Hady&Marliyani, 2020). *Lineament* ini bisa dikenali dari adanya kelurusan sungai, lembah, punggung, dan muka bukit (Marliyani, 2016; Hady and Marliyani, 2020).

c. Relokasi Hiposenter

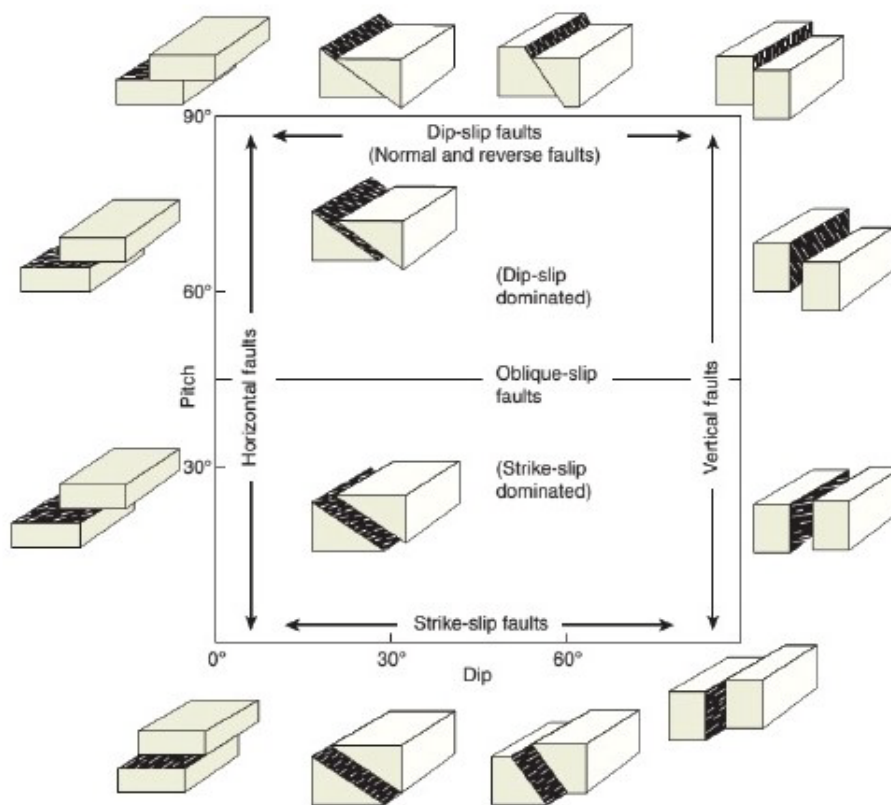
Relokasi hiposenter dilakukan untuk analisa seismisitas dan struktur kecepatan pada proses tektonik, baik dalam skala global maupun skala lokal agar dapat diketahui posisi hiposenter yang lebih akurat. Dengan dilakukan relokasi hiposenter bermanfaat untuk identifikasi sesar aktif pada patahan-patahan kecil yang belum terdeteksi. Dengan melakukan relokasi hiposenter sebaran kejadian gempa bumi dan kedalaman gempa bumi tersebut dapat terpetakan dengan baik. Permasalahan mendasar dari analisa seismisitas adalah masih adanya ketidakpastiaan akan posisi hiposenter yang sering tidak terdistribusi di sekitar zona patahan. Sehingga, hal ini akan sulit untuk dilakukan analisa penentuan letak pasti dari zona patahan tersebut.

Lokasi absolut hiposenter yang akurat ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu sebaran jaringan stasiun seismograf, fase sinyal seismik yang tersedia, akurasi analisa seismik gelombang datang dan pengetahuan tentang struktur kecepatan di kerak bumi (Gomberg, dkk., 1990). Dengan semakin banyak sinyal seismik yang terekam oleh jaringan seismograf maka pada suatu gempa bumi, maka keakuratan penentuan posisi hiposenter semakin meningkat. Kemudian untuk pembacaan gelombang datang dapat ditingkatkan dengan memahami ciri-ciri dari gelombang primer dan gelombang sekunder, sehingga analisa sinyal seismik dapat diminimalisir dari kesalahan. Sedangkan untuk struktur kecepatan bawah permukaan secara umum tidak dapat dipastikan secara baik, karena kompleksnya struktur bumi serta terbatasnya data.

Sehingga, dibutuhkan suatu model yang tepat guna meningkatkan keakuratan penentuan posisi hiposenter. Banyak metode yang dapat digunakan dalam penentuan posisi hiposenter dengan keakuratan tinggi. Metode yang digunakan untuk relokasi hiposenter tersebut adalah metode algoritma *double difference* (perbedaan ganda). Prinsip dasar dari metode algoritma *double difference* adalah pola pancaran gelombang seismik dianggap sama antara kedua hiposenter, jika hiposenter memiliki beda yang sangat kecil dibandingkan dengan jarak antara kedua hiposenter terhadap stasiun seismograf dan memiliki struktur kecepatan bumi yang relatif sama.

d. Mekanisme Fokal

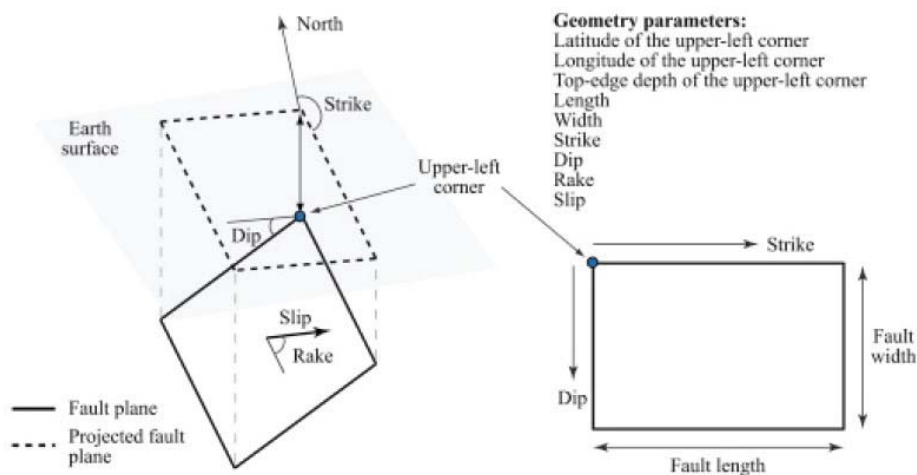
Jenis dan parameter gempa bumi yang dapat menyebabkan deformasi permukaan dapat diilustrasikan seperti di Gambar 2.3 dan Gambar 2.4. Terlihat bahwa ada tiga parameter dari geometri bidang gempa yang dapat diperkirakan, yaitu posisi kedalaman gempa, panjang bidang gempa, lebar bidang gempa, dan empat parameter untuk arah gerakan (dislokasi) gempa, yaitu arah patahan atau *strike* (dalam satuan derajat dihitung dari arah utara searah jarum jam), sudut kemiringan patahan atau *dip* (dalam satuan derajat dihitung dari sumbu horisontal), dan arah bidang realtif arah patahan atau *rake* yang menentukan jenis patahan apakah *strike-slip*, *dip-slip*, *tensile*, atau *inflation* (dalam satuan derajat) dan besarnya pergeseran atau *slip* (dalam satuan meter).



Gambar 2.3 Ilustrasi Jenis-jenis Bidang Gempa

Sumber: dimodifikasi dari *website Learning Geology*

(<http://geologylearn.blogspot.com/2015/08/fault-terminology.html>)



Gambar 2.4 Ilustrasi Geometri Gempa

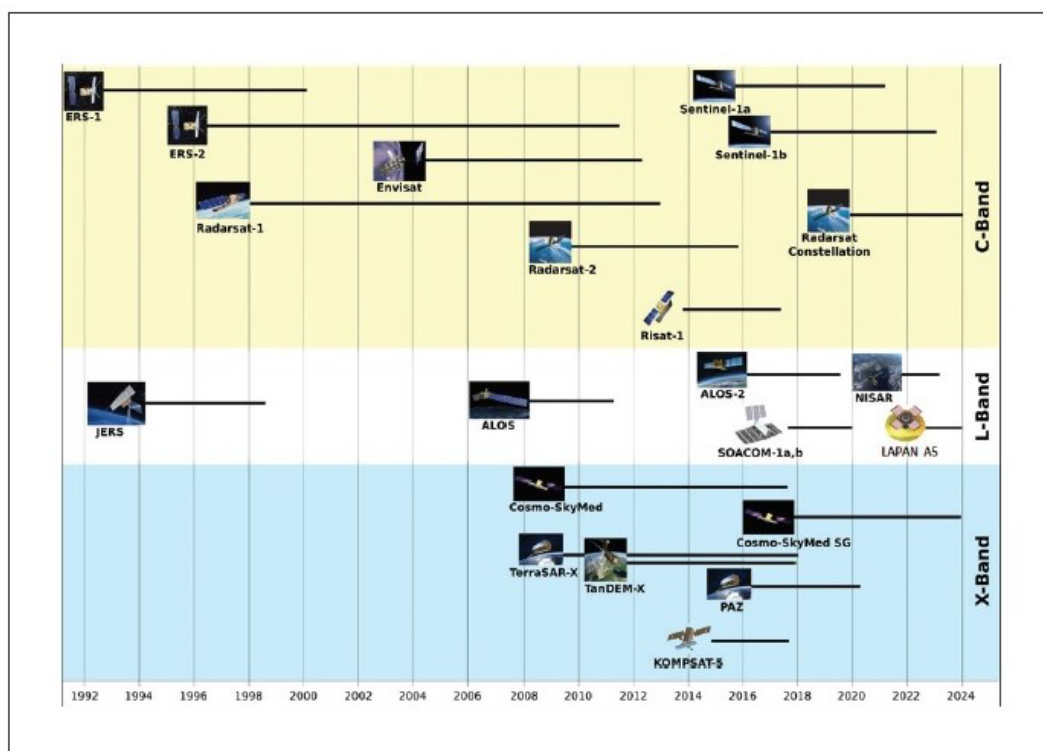
Sumber: dimodifikasi dari *website Learning Geology*

(<http://geologylearn.blogspot.com/2015/08/fault-terminology.html>)

2.1.7 Penginderaan Jauh

2.1.7.1 *Synthetic Aperature Radar (SAR)*

Letak geografis Indonesia yang terletak di katulistiwa menyebabkan tingginya tingkat liputan awan, sehingga pemanfaatan data penginderaan jauh sensor optik untuk pemantauan permukaan bumi sering mengalami kendala atmosfer. Satelit penginderaan jauh SAR bekerja pada panjang gelombang radar dan memiliki kelebihan dapat menembus awan yang merupakan masalah utama dalam pemantauan permukaan bumi di wilayah Indonesia.



Gambar 2.5 Urutan waktu Satelit Penginderaan Jauh SAR dari tahun 1992 sampai 2024

Sumber: UNAVCO, 2019

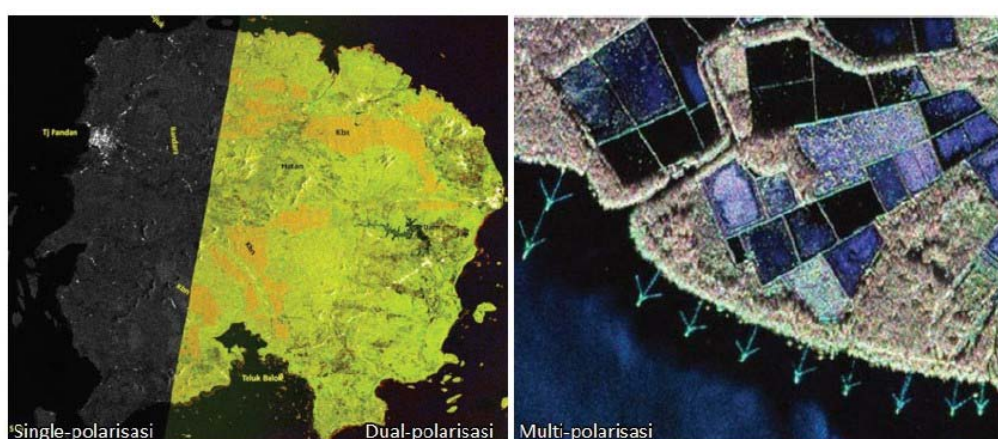
(<https://www.unavco.org/instrumentation/geophysical/imaging/sar-satellites/sar-satellites.html>)

Satelit penginderaan jauh SAR saat ini umumnya mengorbit rendah (*Low Earth Orbit/LEO*) melalui kutub (*polar orbiting*) dan dapat diakusisi datanya setiap saat tersinkronisasi matahari, siang atau malam, mengumpulkan data amplitudo dan fase dari permukaan bumi yang dilaluinya. Sejak sekitar 10 tahun yang lalu, satelit SAR mulai banyak dioperasikan, bahkan banyak perencanaan pengorbitan satelit SAR baru (Gambar 2.5).

Saat ini satelit SAR tidak hanya menghasilkan citra polarisasi ganda (*dual polarization*), multi-polarisasi (HH, HV, VV, dan VH), tetapi juga sudah tersedia satelit SAR pada frekuensi pita L (390-1.550 MHz), C (3.900-6.200 MHz), dan X (6.200-10.900 MHz). Satelit-satelit penginderaan jauh SAR tersebut dikembangkan dan dioperasikan oleh berbagai badan keantariksaan dunia, termasuk LAPAN. *European Space Agency* (ESA) mengembangkan dan mengoperasikan satelit ERS-1, ERS-2, Envisat dan Sentinel-1. *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) mengembangkan dan mengoperasikan satelit JERS-1, ALOS-1 dan ALOS-2. *Canadian Space Agency* (CSA) mengembangkan dan mengoperasikan satelit Radarsat-1, Radarsat-2 dan Radarsat Constellation. *Deutsches Zentrum fur Luft-und Raumfahrt e.V.* (DLR) mengembangkan dan mengoperasikan satelit TerraSAR-X dan TanDEM-X. *Indian Space Research Organization* (ISRO) mengembangkan dan mengoperasikan satelit RISAT-1. *Comision Nacional de Actividades Espaciales* mengembangkan dan mengoperasikan satelit SAOCOM. *Italian Space Agency* (ISA) mengembangkan dan mengoperasikan satelit COSMO-SkyMed. Instituto Nacional de Tecnica Aeroespacial (INTA) mengembangkan dan mengoperasikan satelit PAZ. *Korea Aerospace Research Institute* (KARI) mengembangkan dan mengoperasikan satelit KOMPSat-5. Selanjutnya NASA bersama ISRO mengembangkan dan mengoperasikan satelit NISAR. Kemudian Indonesia, LAPAN bersama Chiba University berencana mengembangkan satelit LAPAN A5.

2.1.7.2 Pemanfaatan Data Satelit SAR di Indonesia

Pemanfaatan penginderaan jauh untuk berbagai kebutuhan dengan menggunakan data SAR diperkirakan akan meningkat pada masa mendatang. Satelit SAR berorbit memiliki lintasan berulang pada daerah pengamatan yang sama sehingga dapat dihasilkan dua kumpulan (*set*) data satelit SAR. Dengan melakukan analisa *Interferometric Synthetic Aperature Radar* (InSAR) dari data dua data fase tersebut dapat diketahui perubahan di permukaan tanah dan pergeseran tanah. Dengan teknik tersebut, dapat diperoleh data *Digital Elevation Model* (DEM) yang menggambarkan bentuk lahan. Teknik InSAR yang dapat juga menghasilkan data pergeseran tanah ini dapat dimanfaatkan untuk identifikasi sesar aktif. Di sisi lain, dengan semakin berkembangnya teknologi sensor radar tersebut, resolusi spasialnya sudah ditingkatkan hingga 1 m. Gambar 2.6 menunjukkan tampilan perbedaan citra satelit SAR polarisasi tunggal (*single polarization*), *dual*, dan multi-polarisasi serta citra SAR resolusi spasial tinggi. Dengan tersedianya data satelit penginderaan jauh SAR yang semakin baik, identifikasi objek diharapkan lebih detail dan mudah sehingga pemanfaatan data satelit penginderaan jauh SAR di Indonesia akan semakin banyak.



Gambar 2.6 Perbandingan Citra SAR Tunggal, Dual, dan Multi-Polarisasi (kiri) serta Resolusi Spasial Tinggi (kanan)

Sumber: Kushardono, 2020

2.1.7.3 Data SAR untuk Identifikasi Sesar Aktif

Aplikasi InSAR dalam studi *crustal deformation* telah banyak dilakukan mulai awal 1989 (Gabriel A.K., et al., 1989). Dalam metode ini dilakukan pengukuran sudut horisontal, jarak, atau perbedaan ketinggian antara tolok ukur di lokasi studi. Dibandingkan dari waktu ke waktu, sehingga perbedaan perubahan itulah yang menunjukkan deformasi kerak (*crustal deformation*). Data perubahan pengukuran dari waktu ke waktu inilah yang sangat penting dalam mengembangkan dan meningkatkan pemahaman terkait mekanisme siklus gempa dan deformasi aktif di zona batas lempeng.

Analisa deformasi gempa bumi menggunakan InSAR mulai marak dilakukan semenjak kejadian gempa bumi Landers 1992, California, Amerika Serikat (Massonnet, D., et al., 1993). Gempa bumi Landers dan akibatnya dicitrakan dengan sensor ERS menunjukkan kemampuan unik InSAR berkontribusi pada studi deformasi kerak. Gempa bumi Landers 28 Juni 1992 adalah peristiwa tektonik pertama yang tertangkap dan dipelajari secara rinci dengan InSAR. Meskipun deformasi luas bidang ditangkap dengan baik oleh pengukuran GPS konvensional, citra InSAR memberikan banyak informasi tentang deformasi skala kecil di bidang dekat dan jauh dari objek tersebut. Massonnet, D., et al. (1993) melakukan penelitian dengan menggunakan data radar satelit ERS-1 dapat menggambarkan deformasi akibat gempa bumi Landers 1992, dengan mengumpulkan data citra satelit sebelum dan sesudah gempa bumi. Burgmann, R., et al. (2000) menyebutkan bahwa ciri-ciri luar biasa dari InSAR, yaitu pertama, permukaan peta InSAR deformasi pada jarak piksel padat 20-100 m di atas spasial yang hampir tidak terbatas jarak. Kedua, InSAR sangat sensitif terhadap perpindahan vertikal yang sebanding untuk ketepatan pengukuran *leveling*. Dan terakhir, InSAR membedakan sendiri dari semua teknik geodesi presisi lainnya karena merupakan alat penginderaan jauh yang tidak memerlukan kehadiran di lapangan dan tersedia secara praktis di seluruh dunia. Setelah itu, beberapa kajian

terkait parameter gempa bumi diturunkan dari deformasi yang terjadi melalui pemodelan dilakukan. Pemodelan untuk memperkirakan parameter bidang gempa bumi berupa geometri dan arah gerakan gempa bumi berdasarkan deformasi permukaan menggunakan prinsip dislokasi pada *elastic half-space* (Okada,1992) yang dapat dilakukan menggunakan *forward* atau *backward modeling*. Utomo, A.M., dkk. (2022) melakukan studi literatur terkait pemanfaatan citra SAR untuk mengidentifikasi potensi gempa bumi. Dapat dijelaskan bahwa teknik InSAR dapat digunakan untuk menganalisa karakteristik gempa bumi, khususnya untuk menentukan deformasi, distribusi *slip* dan geometri *slip*. Dimana, tingkat resolusi citra SAR sangat menentukan kedetailan dalam mengidentifikasi karakteristik gempa bumi.

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu terkait identifikasi sesar aktif dengan melakukan analisa seismisitas dan analisa citra satelit dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul	Metode	Hasil Penelitian	Perbedaan	Persamaan
1.	A. Soehaimi (JSDG Vol.20 No.6) Desember 2010	Patahan Aktif dan Kegempaan Daerah PLTA Cirata-Saguling dan Sekitarnya	Kuantitatif	Hasil penelitian menunjukkan PLTA Cirata dan Saguling berada di zona patahan aktif dan dapat membangkitkan gempa bumi dengan magnitudo Ms 7 dengan periode ulang 80 tahun. Sebaran gempa mikro dengan kedalaman < 10 km menunjukkan zona sesar yang aktif dengan mekanisme fokal sesar naik, sesar geser dan sesar turun.	Peneliti melakukan kajian mengenai analisa gaya berat dan kegempaan mikro.	Melakukan penelitian di lokasi kajian yang sama.
2.	Afnimar, Eko Yulianto, Rasmid (Geoscience Letters a SpringerOpen Journal) 07 Maret 2016	<i>Geological and tectonic implications obtained from first seismic activity investigation around Lembang fault</i>	Kuantitatif	Hasil penelitian menunjukkan bahwa stratigrafi daerah penelitian berdasarkan Vp, Vs dan Vp/Vs, yang terdiri dari tiga lapisan. Mekanisme sumber gempa di sepanjang sesar Lembang adalah sesar kiri-lateral.	Peneliti melakukan kajian mengenai penentuan lokasi gempa, perkiraan mekanisme gempa (momen tensor) dan struktur kecepatan.	Melakukan kajian dengan aktifitas seismik yang tercatat oleh jaringan seismograf.
3.	Pepen Supendi, Andri Dian Nugraha, Nanang T. Puspito, Sri Widiyantoro, Daryono (Geoscience Letters) 27 Desember 2018	<i>Identification of active faults in West Java, Indonesia, based on earthquake hypocenter determination, relocation, and focal mechanism analysis</i>	Kuantitatif	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola kegempaan menunjukkan beberapa klaster terletak di dekat sesar Lembang, Cimandiri, dan Baribis. Mekanisme fokal di sekitar sesar Lembang menunjukkan adanya <i>strike slip</i> kiri-lateral sesuai dengan penelitian sebelumnya. Di sekitar sesar Cimandiri mekanisme fokal juga menunjukkan <i>strike slip</i> kiri-lateral, tetapi berubah menjadi sesar dorong ke arah selatan. Sedangkan di sekitar zona sesar Baribis terlihat sesar naik, namun menjadi miring ke arah timur.	Peneliti belum melakukan kajian sebaran sesar, relokasi hiposenter dan analisa mekanisme fokal di daerah Cirata dan sekitarnya.	Melakukan analisa mekanisme fokal dan relokasi hiposenter.

4.	Hurien Helmi, Gayatri Marliyani, Siti Nur'aini (Majalah Geografi Indonesia Vol.35, No.1) Maret 2021	Identifikasi Sesar Aktif di Pulau Bali dengan Menggunakan Data Pemetaan Geologi Permukaan dan Morfologi Tektonik	Kuantitatif	Hasil penelitian menunjukkan bahwa di pulau Bali terdapat beberapa zona sesar aktif di darat yang didominasi oleh sesar geser dan <i>oblique</i> dengan beberapa struktur <i>minor</i> berupa sesar turun. Analisa data kegempaan menunjukkan asosiasi sebaran gempa dangkal dengan pola kelurusan dan struktur geologi. Berdasarkan pemahaman bahwa struktur sesar dapat dikategorikan sebagai sesar aktif jika deformasi terjadi pada batuan berumur Kuartar, serta asosiasi dengan kegempaan dangkal, maka bisa diinterpretasikan bahwa sesar-sesar yang teridentifikasi adalah sesar aktif.	Peneliti melakukan analisa sesar aktif di darat dengan melakukan metode penginderaan jauh dan survei lapangan.	Melakukan analisa sesar aktif dengan metode penginderaan jauh.
5.	G.I. Marliyani, J.R. Arrowsmith, K.X. Whipple (AGU Journal of Geophysical Research: Earth Surface) 10 Desember 2016	<i>Characterization of slow slip rate faults in humid areas: Cimandiri fault zone, Indonesia</i>	Kuantitatif	Hasil penelitian menunjukkan analisa penginderaan jauh dan penyelidikan lapangan tambahan menunjukkan bahwa pola spasial di sepanjang zona sesar konsisten dengan bukti geologis untuk pola pengangkatan batuan tinggi di sepanjang zona patahan. Ada enam bagian pada zona sesar Cimandiri, yaitu Loji, Cidadap, Nyalindung, Cibeber, Padalarang, dan Saguling. Peneliti menegaskan bahwa metode karakterisasi patahan yang diusulkan menggunakan kombinasi analisa morfometrik, pemetaan, dan pemodelan dapat diterapkan ke wilayah lain dengan pengaturan geologis dan geomorfik yang serupa dan di mana akses ke situs dan sumber daya di lapangan mungkin terbatas.	Peneliti melakukan kajian mengenai ketahanan litologi dan kontrol laju pengangkatan batuan relatif pada profil saluran batuan dasar di sepanjang sistem sesar Cimandiri untuk memahami sistem sesar Cimandiri serta untuk menilai metode untuk mengkarakterisasi sesar <i>slow slip rate</i> di zona yang sangat erosif dan di lingkungan yang lembab.	Melakukan analisa sesar aktif dengan metode penginderaan jauh.

6.	Aulia Kurnia hady and Gayatri Indah Marliyani (Journal of Applied Geology, Vol.5 No.2) 2020	<i>Updated Segmentation Model of the Aceh Segment of the Great Sumatran Fault System in Northern Sumatra, Indonesia</i>	Kuantitatif	Hasil penelitian menunjukkan bahwa segmen Sesar Aceh merupakan sesar aktif yang terdiri dari tujuh sub bagian, yaitu Beutong, Kuala Tripa, Geumpang, Mane, Jantho, Indrapuri, dan Pulo Aceh. Kinematika sesar yang teridentifikasi di lapangan konsisten dengan sesar lateral kanan.	Peneliti melakukan pemetaan secara mendetail sesar aktif dengan menggunakan data DEM dari DEMNAS dan dari fotogrametri dengan UAV.	Melakukan analisa sesar aktif dengan data <i>Digital Elevation Model</i> (DEM).
7.	Omer Emre, Tamer Y. Duman, Selim Ozalp, Fuat Saroglu, Seyda Olgun, Hasan Elmaci, Tolga Can (Springer Bulletin Earthquake Eng) 10 Desember 2016	<i>Active fault database of Turkey</i>	Kuantitatif	Hasil penelitian menunjukkan bahwa peta patahan aktif Turki yang diperbarui dan basis datanya memberikan karakteristik terbaru dari sumber seismik secara nasional. Sesar aktif diklasifikasikan menjadi empat jenis yang berbeda berdasarkan kriteria geokronologis. Basis data menyediakan informasi untuk mendukung strategi mitigasi bahaya untuk kebijakan nasional, strategi, dan perencanaan infrastruktur fisik dan parameter kesalahan penting untuk penilaian bahaya seismik skala regional. Evaluasi tambahan termasuk pertimbangan yang lebih rinci tentang kemungkinan patahan dan kelurusan Kuartar kemungkinan akan diperlukan untuk studi spesifik lokasi dari fasilitas penting.	Peneliti melakukan kajian mengenai klasifikasi sesar aktif dan meringkas parameter sesar aktif di Turki. Menyajikan database peta sesar aktif Turki yang diperbarui sebagai informasi dasar untuk penilaian bahaya gempa bumi, penelitian, perencanaan dan studi implementasi di seluruh negara dan daerah sekitarnya.	Melakukan analisa sesar aktif dengan parameter aktivitas, jenis dan tren bidang sesar.
8.	Monique Terrier-Sedan, Didier Bertil (Springer Nature:	<i>Active fault characterization and seismotectonic zoning of the</i>	Kuantitatif	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kajian sesar aktif sangat penting di daerah berisiko tinggi seperti ibu kota (Port-au-Prince dan Santo Domingo) dan perkotaan zona yang terpapar bahaya	Peneliti melakukan kajian mengenai peta seismotektonik Hispaniola dan sekitarnya, berdasarkan kompilasi dan sintesis data	Melakukan analisa sumber sesimik dengan pendekatan kegempaan, mekanisme sumber dan

	Journal Seismolog) 18 Februari 2021	<i>Hispaniola island</i>		seismik tinggi.	geologi, geofisika, geodesi, dan seismologi. Setiap sumber seismik dijelaskan menurut beberapa parameter, termasuk mekanisme dan laju deformasi saat ini, kegempaan terkait dan perkiraan maksimum kekuatannya.	penginderaan jauh.
9.	Takeshi Tsuji, Katsuya Yamamoto, Toshifumi Matsuoka, Yasuhiro Yamada, Kyosuke Onishi, Alfian Bahar, Irwan Meilano, Hasanuddin Z. Abidin (Earth Planets Space) 07 Agustus 2009	<i>Earthquake fault of the 26 May 2006 Yogyakarta earthquake observed by SAR interferometry</i>	Kuantitatif	Hasil penelitian menunjukkan sesar penyebab gempa bumi Yogyakarta sejajar dengan patahan sungai Opak. Dimana peta deformasi yang diperkirakan oleh InSAR menunjukkan bahwa deformasi permukaan terjadi 10 km sebelah Timur patahan sungai Opak, yang sebelumnya dianggap seismogenik patahan gempa Yogyakarta 2006.	Peneliti melakukan kajian mengenai sesar gempa bumi akibat gempa Yogyakarta 2006 dengan metode InSAR.	Melakukan analisa deformasi akibat gempa bumi dengan metode InSAR.
10.	Aprilia Puspita, Yosef Prihanto, Sukendra Martha, Rudy A.G. Gultom	Analisa Subsidence Menggunakan Metode Multitemporal DInSAR dan	Kuantitatif	Hasil penelitian menunjukkan lokasi yang terjadi <i>subsidence</i> (penurunan tanah) sebagian besar di sekitar DAS Mahakam yang merupakan pusat aktivitas penduduk dengan kerapatan bangunan tinggi.	Peneliti melakukan penelitian dengan metode penginderaan jauh dengan metode DInSAR dan dikombinasikan dengan metode gravitasi untuk	Melakukan analisa penginderaan jauh dengan memanfaatkan citra radar SAR (<i>Synthetic Aperture Radar</i>).

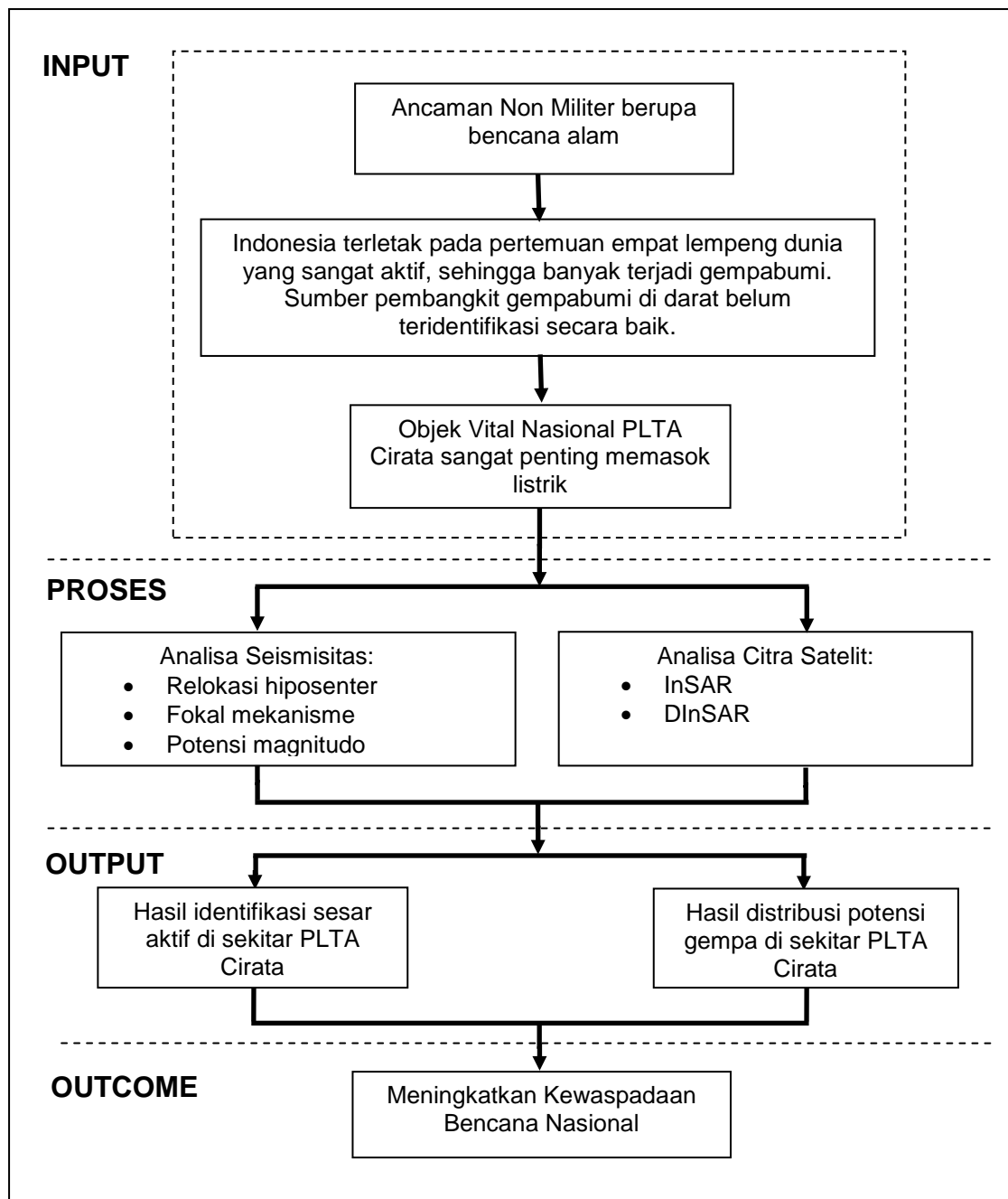
	(Geomatika Volume 27, No.1) Mei 2021	Anomali Bougeur di Wilayah Perkotaan: Studi Kasus Kota Samarinda.			mengidentifikasi <i>subsidence</i> .	
--	---	---	--	--	--------------------------------------	--

Sumber: diolah oleh peneliti

Dari 10 penelitian terdahulu pada Tabel 2.1 dipilih penelitian yang paling sesuai dengan penelitian Tesis ini, yaitu penelitian Supendi, P. dkk. (2018) dengan judul *Identification of active faults in West Java, Indonesia, based on earthquake hypocenter determination, relocation, and focal mechanism analysis*. Hasil penelitian Supendi, P., dkk. (2018) menunjukkan bahwa pola kegempaan teridentifikasi terjadi di dekat sesar aktif Lembang, Cimandiri, dan Baribis. Mekanisme fokal di sekitar sesar Lembang menunjukkan adanya *strike slip* kiri-lateral sesuai dengan penelitian sebelumnya. Di sekitar sesar Cimandiri mekanisme fokal juga menunjukkan *strike slip* kiri-lateral, tetapi berubah menjadi sesar dorong ke arah selatan. Sedangkan di sekitar zona sesar Baribis terlihat sesar naik, namun menjadi miring ke arah timur. Persamaan dari penelitian ini adalah melakukan analisa relokasi hiposenter gempa dan mekanisme kegempaan di suatu lokasi yang diduga sesar aktif. Perbedaan dengan penelitian Tesis ini adalah belum dilakukan kajian terkait potensi maksimum kegempaan di PLTA Cirata.

2.3 Kerangka Pemikiran

Indonesia terletak pada pertemuan empat lempeng dunia yang sangat aktif, sehingga banyak terjadi gempa bumi. Sumber pembangkit gempa bumi masih banyak yang belum teridentifikasi, khususnya di darat. Untuk mengidentifikasi sumber-sumber gempa bumi tersebut perlu dilakukan penelitian yang intensif untuk mengetahui sesar-sesar aktif yang ada di daratan. Identifikasi sesar aktif tersebut dapat dilakukan dengan pemanfaatan teknologi penginderaan jauh yang dikombinasikan dengan analisa terkait dengan seismisitas di suatu lokasi. Kemudian perlu juga dilakukan identifikasi jenis-jenis mekanisme gempa bumi tersebut agar dapat diketahui tipe-tipe gempa bumi tersebut. Dengan mengetahui tipe-tipe gempa bumi tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi seberapa besar potensi magnitudo gempa bumi yang dapat terjadi.



Gambar 2.7 Bagan Kerangka Pemikiran

Sumber: diolah oleh peneliti

Sehingga dengan mengetahui magnitudo maksimum dapat digunakan untuk memprediksi seberapa besar potensi kerusakan yang ditimbulkannya. Peta sumber pembangkit gempa bumi perlu dilakukan

pembaharuan yang sangat berguna untuk upaya mitigasi gempa bumi. Mitigasi gempa bumi diperlukan guna mengurangi risiko bahaya bencana gempa bumi di Indonesia. Informasi ini penting bagi pemerintah, masyarakat, pihak-pihak terkait dalam meningkatkan kewaspadaan bencana nasional. Gambar 2.7 merupakan bagan kerangka pemikiran peneliti secara keseluruhan.